

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E  
GEOGRAFIA - FAENG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS - PGRN**

**ÉVELYN CAMILA CASADIAS PINHEIRO**

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À REGULARIZAÇÃO  
AMBIENTAL DE IMÓVEIS RURAIS NO MATO GROSSO DO SUL**

**CAMPO GRANDE/MS**

**2018**

**ÉVELYN CAMILA CASADIAS PINHEIRO**

**SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À REGULARIZAÇÃO  
AMBIENTAL DE IMÓVEIS RURAIS NO MATO GROSSO DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (PPGRN – UFMS), para obtenção do título de Mestre.

Orientador Prof. Dr. José Marcato Junior-FAENG/UFMS

**CAMPO GRANDE/MS**

**2018**

## Sumário

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>4</b>
<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>1. CAPÍTULO I – CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR) NO MATO GROSSO DO SUL</b> .....	<b>9</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	9
1.2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
1.2.1 <i>Sensoriamento Remoto aplicado à estudos de uso e cobertura do solo</i> .....	12
1.2.2 <i>Cadastro Ambiental Rural</i> .....	16
1.3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
1.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	24
1.5. CONCLUSÕES .....	35
<b>2. CAPÍTULO II – VALIDAÇÃO DAS IMAGENS ORBITAIS PLANET</b> .....	<b>36</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	36
2.2. REVISÃO DA LITERATURA.....	37
2.3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
2.5. CONCLUSÕES .....	55
<b>3. CONCLUSÃO GERAL</b> .....	<b>56</b>
<b>4. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimento especial ao CNPq e à Fundect pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por ter me dado a oportunidade de cursar o  
Mestrado em Recursos Naturais.

A todos os professores e funcionários vinculados ao Programa de Pós-graduação em Recursos  
Naturais, por fazerem excelente trabalhos em prol do ótimo funcionamento do programa.

Ao meu orientador professor Dr. José Marcato Júnior, por ter me orientado a iniciar uma vida  
na carreira acadêmica e por me inspirar todos os dias.

Aos meus colegas do laboratório de Geomática e a todos meus colegas de turma do PGRN,  
por todo apoio fornecido.

À Planet pela disponibilização das imagens utilizadas.

Aos professores Doutores Roberto Macedo Gamarra, Paulo Tarso, Ana Paula Marques Ramos  
por fazerem parte das bancas de qualificação e defesa e por contribuírem imensamente com  
minha pesquisa e com meu aprendizado como pesquisadora.

À minha família que apoiou toda minha jornada.

## APRESENTAÇÃO

As legislações e normas ambientais direcionadas à preservação e monitoramento da utilização dos recursos naturais tem sido combustível para uma gama de pesquisas nas áreas das ciências ambientais. Dessa forma, existe uma vasta literatura sobre a utilização de sensoriamento remoto para fins de aplicação à regularização e monitoramento ambiental, caracterização ambiental e outros métodos de sustentação de políticas públicas ambientais. Apesar do Cadastro Ambiental Rural ser um registro exclusivo do Brasil, vários países possuem sua legislação ambiental específica que também determinam as diretrizes de regularização ambiental rural e urbana.

Um das principais informações necessárias ao cumprimento das obrigações ambientais é o conhecimento da cobertura e uso do solo. Diante das vastas técnicas de classificação do uso e cobertura do solo através de sensoriamento remoto, identificou-se a oportunidade de promover uma pesquisa que considere as peculiaridades das áreas de estudo.

Esta pesquisa investigou e validou a utilização de imagens de sensoriamento remoto aplicadas a regularização ambiental rural no Estado de Mato Grosso do Sul. Para isto, a priori, julgou-se necessário apresentar a atual situação dos Cadastros Ambientais Rurais no Estado, e partir da análise dos dados levantados, identificar os principais gargalos, discutidos de forma mais enfática no capítulo I. O capítulo II traz o resultado de uma investigação sobre a aplicabilidade das ortoimagens da constelação dos nano-satélites Planet a alguns dos gargalos apontados no primeiro capítulo. Para fins de comparação de resultados com imagens de acesso gratuito, também foram aplicados os mesmos métodos em uma cena de uma imagem da constelação Sentinel-2. As imagens Planet, foco desta pesquisa, ainda carecem de pesquisas que validem sua qualidade diante de suas possíveis aplicações. Diante disso, executamos a classificação de uso e cobertura do solo, segundo classes do CAR-MS, utilizando o *software Google Earth Engine*. A validação foi realizada com ortofotos geradas a partir de um VANT (Veículos Aéreos Não-Tripulados) eBee RTK.

Outra lacuna que motivou a definição dos objetivos, foi a ausência de pesquisas sobre a validação da acurácia posicional das imagens Planet. Esta etapa foi executada utilizando-se a marcação de pontos homólogos às imagens Planet, nas ortofotos do Município de Campo Grande-MS.

Este estudo contribuiu para as recorrentes pesquisas que estão emergindo sobre classificação do uso e cobertura solo no que tange a regularização ambiental de áreas rurais no

Brasil, devido a robustez dos dados utilizados. A proposição de metodologias de classificação do uso e cobertura do solo, principalmente na identificação da vegetação nativa, é aplicável tanto para a construção quanto para a análise de mapas. Destarte, ao se conhecer com mais acuidade as ferramentas de sensoriamento remoto propostas, é possível que se monitore, autorize e fiscalize o desmatamento da vegetação nativa no Cerrado e no Pantanal de forma mais ágil e satisfatória. Toda contribuição torna mais competente o planejamento ambiental e territorial e integra a necessidade de manter os biomas preservados dentro das exigências estabelecidas pela legislação à necessidade de planejamento do uso alternativo do solo na produção de insumos.

## **RESUMO**

As legislações e normas ambientais direcionadas à preservação e monitoramento da utilização dos recursos naturais tem sido combustível para uma gama de pesquisas nas áreas das ciências ambientais. Uma das principais informações necessárias ao cumprimento das obrigações ambientais é o conhecimento da cobertura e uso do solo. O objetivo desta pesquisa foi investigar e validar a utilização de imagens de sensoriamento remoto aplicadas a regularização ambiental rural no Estado de Mato Grosso do Sul. Para tanto, o primeiro capítulo apresenta a atual situação dos Cadastros Ambientais Rurais no Estado de Mato Grosso do Sul. A partir da análise dos dados levantados, os principais gargalos foram identificados e discutidos. Os destaques se concentram na identificação dos passivos ambientais e como estes são afetados pelas definições do Código Florestal, além de ter sido possível verificar que o Bioma que mais possui passivos declarados é o Cerrado. Após diagnosticar a situação das áreas declaradas no CAR, o segundo capítulo teve o objetivo de investigar e validar a utilização de imagens da constelação de nanosatélites Planet aplicadas a regularização ambiental rural no Estado de Mato Grosso do Sul. Para fins de comparação de resultados com imagens de acesso gratuito, também foram aplicados os mesmos métodos em uma cena de uma imagem da constelação Sentinel-2. Foi executada a classificação de uso e cobertura do solo, segundo classes do Cadastro Ambiental Rural, utilizando o software Google Earth Engine. A validação foi realizada com ortofotos geradas a partir de um VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado) eBee RTK. A partir do método de treinamento de algoritmos no Google Earth Engine, obteve-se um resultado de exatidão global de 99,98% e uma validação que resultou em um índice Kappa de 86,16%. Os destaques são para as áreas de vegetação nativa e para as áreas de ocupação, ou seja, duas das mais importantes classes para o CAR. Outra lacuna identificada e investigada foi a ausência de pesquisas sobre a validação da acurácia posicional das imagens Planet. Esta etapa foi executada utilizando-se a marcação de pontos homólogos às imagens Planet, nas ortofotos do Município de Campo Grande-MS. A definição da resultante planimétrica de 4,65 m, se mostrou satisfatória quanto as previsões Planet, em 90% dos pontos. Ao se conhecer com mais acuidade as ferramentas de sensoriamento remoto propostas, é possível que se monitore, autorize e fiscalize o desmatamento da vegetação nativa de forma mais ágil e satisfatória.

**Palavras-chave:** Cadastro Ambiental Rural, Sensoriamento Remoto, Planet.

## **ABSTRACT**

Legislation and environmental standards aimed at the preservation and monitoring of the use of natural resources have been fuel for a range of research in the areas of environmental sciences. One of the key information needed to meet environmental obligations is knowledge of land cover and use. The objective of this research was to investigate and validate the use of remote sensing images applied to rural environmental regularization in the State of Mato Grosso do Sul. The first chapter presents the current situation of rural environmental registries in the state of Mato Grosso do Sul. From the analysis of the data collected, the main bottlenecks were identified and discussed. The highlights are the identification of environmental liabilities and how these are affected by the definitions of the Forest Code, and it has been possible to verify that the Biome that has the most declared liabilities is the Cerrado. After diagnosing the situation of the areas declared in the CAR, the second chapter had the objective of investigating and validating the use of images of the constellation of Planet nano-satellites applied to rural environmental regularization in the State of Mato Grosso do Sul. For purposes of comparison of results with free access images, the same methods were also applied in a scene from an image of the Sentinel-2 constellation. The classification of land use and land cover, according to classes of the Rural Environmental Registry, was performed using the Google Earth Engine software. The validation was performed with orthophotos generated from an eBee RTK (Unmanned Aerial Vehicle). From the algorithm training method in Google Earth Engine, we obtained a global accuracy score of 99.98% and a validation that resulted in a Kappa index of 86.16%. The highlights are for the areas of native vegetation and for the areas of occupation, that is, two of the most important classes for the CAR. Another gap identified and investigated was the lack of research on the validation of the positional accuracy of the Planet images. This step was performed using the marking of homologous points to the Planet images, in the orthophotos of the Municipality of Campo Grande-MS. The definition of the planimetric result of 4.65 m, was satisfactory as for the predictions Planet, in 90% of the points. By knowing more about the proposed remote sensing tools, it is possible to monitor, authorize and control deforestation of native vegetation in a more agile and satisfactory way.

**Key words:** Rural Environmental Cadastre, Remote Sensing, Planet.

# **1. CAPÍTULO I – CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR) NO MATO GROSSO DO SUL**

## **1.1. Introdução**

A Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, cria e define, em seu art. 29, o Cadastro Ambiental Rural - CAR, no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, como um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, que objetiva integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais. O CAR compõe uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Como ferramenta de regularização ambiental, o CAR contribui efetivamente para a manutenção e cumprimento das obrigações ambientais intrínsecas aos imóveis rurais, e conseqüentemente para a preservação mínima dos biomas. Contribui também para a manutenção das áreas em quantidade superior ao mínimo exigido, como por exemplo, na criação de Cotas de Reserva Ambiental (CRA), incentivando a preservação dos biomas.

A partir da necessidade de criar políticas públicas e procedimentos de controle e monitoramento do uso do solo nos Biomas brasileiros, e uma conseqüente aplicação às particularidades de cada um, é impreterível que se deva investigar, levantar e aplicar metodologias e ferramentas de sensoriamento remoto aos diversos contextos de preservação ambiental.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2004), define Bioma como um conjunto de vida (vegetal e animal) formado pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e mesma história de mudanças, resultando em uma diversidade biológica própria.

De acordo com o mapa de biomas do IBGE, o Mato Grosso do Sul é contemplado por três dos seis Biomas brasileiros: Mata Atlântica, Cerrado e Pantanal. Este último é regulamentado pelo Decreto Estadual nº 14.273, de 8 de outubro de 2015, que dispõe sobre a Área de Uso Restrito da planície inundável do Pantanal, no Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Enquanto isso, o Bioma Mata Atlântica, é ainda resguardado pela Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências.

De acordo com o IBGE (2006), o Mato Grosso do Sul possui uma área de 1.190.206 hectares de agricultura familiar e 28.866.741 hectares de agricultura não familiar. Unindo a necessidade de manter os biomas preservados dentro das exigências estabelecidas pela legislação à necessidade de planejamento do uso alternativo do solo na produção de alimentos, o CAR se torna mais uma ferramenta competente para o planejamento territorial.

Além disso, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), o CAR proporciona, através de programas de apoio, incentivos à participação dos produtores, principalmente aqueles de agricultura familiar, em programas de apoio a regularização ambiental. Dois exemplos destes programas, que contemplam o Mato Grosso do Sul, são o CAR-FIP, que tem por objetivo apoiar a implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no bioma Cerrado e o projeto Fundo Amazônia, que tem o mesmo objetivo, mas direcionado aos pequenos produtores dos municípios do estado não incluídos no CAR-FIP.

Entretanto, o CAR como ferramenta de planejamento territorial somente será efetivo se o uso do sensoriamento remoto for satisfatório a ponto de contemplar análises seguras do uso e ocupação do solo. Assim, além de dar segurança ao planejamento, a correta aplicação do sensoriamento remoto poderá fornecer suporte, num contexto regional, para o planejamento da paisagem, formação de corredores ecológicos, reconhecimento de matrizes, criação de unidades de conservação, entre outros.

Para Savian et al. (2014), a quantificação e a localização das áreas de uso alternativo do solo e das APPs, Reservas Legais e áreas de uso restrito são fundamentais para a garantia da sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira. Após a integração dos dados dos imóveis rurais do país, será possível identificar a cobertura vegetal do território brasileiro e suas condições, e a partir disso promover o planejamento de paisagens e a formação de corredores ecológicos priorizando a conectividade das Reservas Legais e APPs, além de subsidiar a implementação de políticas de fomento e de pagamentos por serviços ambientais.

Deste pressuposto deriva a problemática apresentada neste capítulo. É evidente que toda essa contribuição do CAR para a gestão sustentável do território só será efetiva se o levantamento, e principalmente a fiscalização e validação das áreas declaradas como áreas de interesse ambiental estiverem corretas. Diante disso, expõe-se duas situações: a primeira, oriunda da etapa de inscrição de um imóvel no CAR, responsável pela elaboração do mapa do imóvel, possui uma série de gargalos devido às metodologias diversas empregadas para o levantamento das informações de interesse ambiental, que derivam desde a classificação das

áreas com visita à propriedade e coleta de dados, até a elaboração do mapa exclusivamente por sensoriamento remoto.

A segunda situação se trata dos problemas enfrentados pelo órgão ambiental ao analisar um processo de CAR e validar as informações declaradas. Essa etapa consiste em conferir se as áreas de interesse ambiental estão declaradas de forma satisfatória e se o devido processo de regularização ambiental do imóvel está sendo executado.

O levantamento ou fiscalização de informações no campo é menos comum devido ao alto custo de aplicação dessa metodologia, tanto para o proprietário ou profissional técnico, quanto para o órgão fiscalizador.

Os problemas mais comuns encontrados, nas duas situações, para o tipo de levantamento por sensoriamento remoto são:

- a) Imagens de resolução espacial e temporal insatisfatória para identificação de determinadas áreas;
- b) Dificuldade de acesso a imagens de melhor qualidade;
- c) Desconhecimento de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG);
- d) Dificuldade de acesso a imagens de resolução espacial satisfatória de datas anteriores para comparação da mudança nos padrões de vegetação nativa e uso do solo;
- e) Dificuldade de interpretação visual de áreas de vegetação nativa dos imóveis rurais.

Os principais gargalos e oportunidades de pesquisa identificados nas discussões recorrentes ao CAR estão vinculados a necessidade de se conhecer melhores métodos de classificação do uso e cobertura do solo, principalmente da identificação da vegetação nativa. Isso se aplica tanto às inscrições, para que sejam feitas com as técnicas que permitam um mapa mais próximo possível da realidade, quanto para os órgãos públicos, que validam estes cadastros e monitoram o desmatamento e a regularização ambiental dos imóveis rurais.

Este capítulo objetiva apresentar a atual situação do CAR no Estado do Mato Grosso do Sul. Através da revisão da literatura e do conhecimento das condições atuais dos cadastros, espera-se, respectivamente, conhecer processos de identificação de áreas de interesse ambiental em várias regiões do mundo e conhecer a atual situação das áreas de interesse ambiental declaradas no Estado de Mato Grosso do Sul.

## 1.2. Revisão da Literatura

### 1.2.1 Sensoriamento Remoto aplicado à estudos de uso e cobertura do solo

A revisão apresentada nesta etapa objetiva elencar alguns dos principais gargalos encontrados por elaboradores de mapa de uso e cobertura do solo e as soluções que suas pesquisas trouxeram. Assim como no Brasil, outros países investem e fomentam a aplicação do sensoriamento remoto na sua regularização ambiental. Sendo assim, essa pesquisa considerou imprescindível destacar como este tema vem sendo tratado em outros países e quais as principais técnicas utilizadas.

Para Altamirano (2013), a aplicação de ferramentas e estratégias de conservação geralmente são limitadas em cinco maneiras potencialmente significativas. A primeira é a escolha dos dados, que as vezes é restringida pela disponibilidade ou por critério político/administrativo, e não pelo uso apropriado ao qual está sendo destinado. Em segundo lugar, os dados geralmente são empregados a representarem um momento no tempo ou a comparação de duas imagens num período. Em terceiro lugar, aplicam-se geralmente imagens de satélite de uma única resolução, limitando a interpretação da área. Em quarto lugar, os detalhes temáticos fornecidos por uma classificação podem ser pouco específicos e pouco detalhados, dificultando para realizar distinções necessárias. Em quinto lugar, a dependência de métricas de paisagem, pode restringir e mascarar informações importantes no tempo e no espaço.

Altamirano (2013) investigou se os padrões de cobertura e uso da terra e de estrutura espacial, como são usados geralmente, são capazes de detectar a natureza da mudança da paisagem no nível local, utilizando dados de resolução espacial fina derivados de uma série de imagens de satélite na região temperada da Araucanía do Chile. Foram utilizadas imagens de Landsat Thematic Mapper (TM, 1986), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +, 1999) e ASTER (Radiação Espacial Avançada de Emissão e Reflexão Térmica 2008) para caracterizar a mudança ao longo de 22 anos, divididos em dois períodos: 1986-1999 E 1999-2008.

Couturier et al. (2009) dispõem de duas perguntas, aplicáveis a um produtor de mapas florestais, que motivam o objetivo de sua pesquisa. A primeira questiona se *“algum classificador mais sofisticado terá um desempenho melhor do que os classificadores automáticos comuns em escalas regionais ou nacionais, para um conjunto mais amplo de*

*classes de floresta*”. A segunda questiona “*para qual conjunto de classes de floresta vale a pena procurar algoritmos melhores e mais sofisticados em vez de resolver os classificadores comumente usados (ou disponíveis)?*” As perguntas se aplicam principalmente em regiões de alta biodiversidade. Com base nesses questionamentos os autores propõem uma estrutura baseada em inventário de parcelas florestais, medições de solo e imagens simuladas, a fim de testar um desempenho de alguns classificadores em pares de classes entre um conjunto dado de tipos de floresta e aplicável a qualquer plataforma de sensoriamento remoto. Este quadro foi aplicado a 6 tipos de florestas: carvalho, pinheiro, abeto, florestas tropicais altas primárias e secundárias, e plantação de abacate.

Couturier et al. (2009) examinam a utilidade de um modelo estrutural 3D com suposições gerais sobre o dossel, para testar a correspondência de tal modelo geral com a informação estrutural dada por 4 m de imagens multi-espectrais de uma variedade de tipos de florestas. O objetivo foi estudar de forma sistemática as ambiguidades entre esses tipos de floresta em imagens de sensoriamento remoto. Foram selecionados para a estimativa de ambiguidade relativa a classificadores comuns, clusters de classificadores usualmente disponíveis não supervisionados como ISODATA ou K-means, organizados em torno do princípio da distância mínima (MD) e o classificador de máxima verossimilhança (MAXVER).

A comparação de cada imagem simulada com a sua cena IKONOS correspondente possibilitou que os autores detectassem os efeitos atmosféricos e calculassem as propriedades ópticas das folhas de cada tipo de floresta através de um processo de calibração de imagens. Finalmente, os autores defendem que as técnicas de classificação automática e de sensoriamento remoto ideais para gerar um mapa florestal mais preciso é utilizar diretamente sinais inter-classe e intra-classe a partir de uma imagem do sensor em questão e testar várias técnicas de classificação usando um conjunto de dados de campo de referência para determinar a técnica mais adequada para cada caso.

Cabral et al. (2011) tiveram como objetivo obter uma visão geral das tendências de mudança da cobertura da terra na província do Huambo, no período de 1990 a 2009. A pesquisa deu base para a concepção e desenvolvimento futuro de um sistema de monitoramento de apoio ao manejo florestal sustentável. Foram utilizadas imagens Landsat e observações de campo para produzir e validar mapas de cobertura de terra para três datas, visando principalmente obter taxas históricas de desmatamento no Huambo. Ainda comparam as mudanças de cobertura terrestre observadas e interpretadas nesta escala com outras obtidas a partir de mapas de cobertura do solo de imagens de 1 km de resolução espacial, dos conjuntos de dados IGBP1,

GLC20002 e MODIS3, de datas aproximadas as anteriores. Para o período de 1990 e 2000 foram utilizadas imagens Landsat Thematic Mapper (TM), para o período 2008 e 2009, dados Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Para ter um diagnóstico inter-decadal, foram montados mosaicos dos anos de 1990, 2000 e 2009.

Para a classificação dos mosaicos das imagens Cabral et al. (2011) utilizaram uma técnica de classificação supervisionada, que envolveu três etapas: a primeira foi o treinamento, a segunda foi a construção de um classificador e a terceira, a classificação para a saída com uma avaliação de precisão subsequente. Uma interpretação visual foi feita utilizando-se de várias combinações de bandas RGB das cenas do Landsat combinadas com mapas de vegetação, descrições pormenorizadas das formações de vegetação no Huambo, respectiva localização e conhecimentos especializados sobre a distribuição espacial e o padrão de vegetação em Angola.

Através dos dados auxiliares foi possível conferir que a resposta espectral das imagens era compatível. Esses dados são fundamentais para apoiar e orientar a classificação de imagens e fornecer informações preliminares sobre os tipos de cobertura e a respectiva proporção de extensão na área. Foram gerados três mapas de cobertura do solo para as três datas utilizando-se um classificador de máxima verossimilhança. Cabral et al. (2011) concluíram que as principais alterações observadas nas duas décadas analisadas, quando se utilizam mapas de resolução de 30 m, estão relacionadas à expansão e dinâmica da classe solo nu / agricultura. Eles destacam que os resultados da pesquisa reforçam a importância do uso de sensoriamento remoto de média a alta resolução como ferramenta para monitorar as mudanças na cobertura florestal.

Zanardo et al. (2016) associaram a utilização de geotecnologias de baixo custo aplicáveis a gestão ambiental agrícola municipal. Foram obtidos dados estatísticos e censitários da cidade de Vitória, no Brasil, logo após foi construído um banco de dados georreferenciado a partir de dados e informações cartográficas e sensoriamento remoto, que foram processadas com o *software gvSIG* (gvSIG CE, 2013). Foram utilizados arquivos digitais para a composição da base cartográfica referente ao limite da área de estudo e um modelo de elevação digital do Município, gerado pelo Projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Também foram utilizadas imagens de satélite RapidEye e fotografias aéreas ortorectificadas obtidas em uma pesquisa entre 2010 e 2011 com 4,5 GSD (Ground Sample Distance). O levantamento preliminar do uso e da ocupação do solo foi feito através da classificação não supervisionada (algoritmo de agrupamento) do *software gvSIG*, que gerou e identificou várias classes

temáticas, utilizadas como parâmetros para limitar as amostras espectrais selecionadas no processamento de classificação supervisionada.

Neste estudo, foram realizadas vistorias a campo e entrevistas sobre o período da data das imagens com a finalidade de validar os dados resultantes da classificação. Esses dados ajudaram na geração da classificação final da cobertura do solo, sendo delineados manualmente na respectiva classe temática. A precisão das classes de ocupação do solo, gerada pela classificação supervisionada da imagem de satélite RapidEye, foi avaliada pelas métricas de Precisão Global (GA) e índice Kappa de 36 amostras distribuídas aleatoriamente pelo município de Vitória. A partir das comparações entre os dois mapas (temática e referência) foi desenhada a Matriz de erros, calculou os valores do índice Kappa, a Precisão Global e os erros de omissão e comissão, usados para dar o tamanho da precisão da classificação (Zanardo, et al., 2016).

Para Schmidt et al. (2016) devido ao impacto que a técnica de classificação selecionada para um estudo pode causar nos resultados, é essencial delimitar o problema, selecionar as imagens adequadas, coletar dados amostrais e finalmente escolher o método mais apropriado. Diante disso, os autores apresentaram e compararam uma variação dos métodos de classificação a partir do mesmo conjunto de amostras sobre uma série de combinações de bandas espectrais em uma imagem Landsat 8, com a finalidade de identificar áreas de vegetação em uma bacia hidrográfica. Os métodos de classificação utilizados neste estudo foram a Paralelepípedo, Máxima Verossimilhança, Distância de *Mahalanobi*. O *software* utilizado foi o ENVI 4.5.

Para avaliar a sensibilidade dos métodos de classificação, as amostras foram selecionadas contendo 1, 3 e 5% do número total de pixels na imagem considerando oito áreas de vegetação mista (pastagens, mata e florestas) selecionadas. O estudo concluiu que a combinação infravermelha apresentou uma qualidade significativamente menor que a dos outros métodos. Esta pesquisa revelou que a mesma combinação de métodos de classificação, bandas de imagens, tamanho de amostra e distribuição nem sempre pode ser aplicada para todos os fins de identificação do uso do solo, e por isso o uso de classificação supervisionada deve levar em conta, além das combinações de bandas, o método classificador e o número de amostras, visando um resultado mais representativo da realidade (Schmidt et al., 2016).

É conhecido que a maior parte das pesquisas consultadas têm em comum metodologias que objetivam identificar a variação do uso e cobertura do solo, em especial a cobertura vegetal, ao longo do tempo. Elas convergem também nas investigações que tratam a classificação de uso e cobertura do solo como um método que deve respeitar as peculiaridades das regiões estudadas, buscando sempre o método mais adequado e dando a importância necessária para a

validação dos dados. Contudo, evidenciou-se que nem todos os estudos utilizaram métricas na validação dos resultados. Além disso, as pesquisas frequentemente exploraram a utilização de dados auxiliares e de imagens de acesso gratuito. Os estudos divergiram principalmente no que concerne aos *softwares* e aos algoritmos classificadores escolhidos.

### **1.2.2 Cadastro Ambiental Rural**

O Brasil possui suas peculiaridades no que concerne aos recursos naturais, sua legislação ambiental própria e seus critérios de regularização ambiental. Atualmente a regularização ambiental de áreas rurais é regida pelo CAR.

A Instrução Normativa nº 2 do Ministério do Meio Ambiente, de 06 de maio de 2014, regulamenta o CAR ao dispor sobre os procedimentos para a integração, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e definir sobre os procedimentos de inscrição, registro e análise dos imóveis rurais no Cadastro Ambiental Rural.

O Decreto Estadual nº 13.977, de 5 de junho de 2014 dispõe e estabelece procedimentos sobre o Cadastro Ambiental Rural do Estado de Mato Grosso do Sul (CAR-MS), e sobre o Programa de Regularização Ambiental denominado *Programa MS Mais Sustentável*, em conformidade com a Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012; com o Decreto Federal nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, e o Decreto Federal nº 8.235, de 5 de maio de 2014.

Em seu art. 3º, ele caracteriza o CAR-MS como instrumento administrativo de registro obrigatório para todos os imóveis rurais situados em Mato Grosso do Sul, destinado ao controle e regularização ambientais, com ênfase na manutenção das Áreas de Preservação Permanente (APPs), das áreas de Reserva Legal (RL) e das Áreas de Uso Restrito. O art. 4º atribui ao Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) esta operacionalização e o controle. No Estado, o CAR é um cadastro disponibilizado em sistema informatizado próprio, sendo um módulo do Sistema IMASUL de Registros e Informações Estratégicas do Meio Ambiente (SIRIEMA).

Essa condição de cadastramento particular do Mato Grosso do Sul, não se aplica a todos os Estados, pois o Decreto Federal 7.830 de 17 de outubro de 2012, em seu artigo 3º, cria o SICAR (Sistema de Cadastro Ambiental Rural), destinado a receber, gerenciar e integrar os dados do CAR de todos os Estados. Assim, os entes federativos que não possuíssem sistema para o cadastramento de imóveis rurais poderiam utilizar o módulo de cadastro ambiental rural

disponível no SICAR ou poderiam desenvolver módulos complementares para atender a peculiaridades locais.

A única desvantagem, neste caso, é que de acordo com o mesmo decreto, para os Estados que aderiram ao SICAR, o Ministério do Meio Ambiente disponibiliza imagens destinadas ao mapeamento das propriedades e posses rurais para compor a base de dados do sistema de informações geográficas do SICAR. Além disso, foi disponibilizada também uma ferramenta de desenho destinada aos usuários que permite que os polígonos das propriedades sejam desenhados dentro do *software* do SICAR, dispensando a necessidade de conhecimento de outras de ferramentas de SIG para elaboração do CAR.

Isso fez com que o Mato Grosso do Sul não ofereça essa alternativa aos cadastrantes, ficando por responsabilidade do próprio a seleção da imagem de satélite para identificação das áreas de interesse ambiental e conhecimento de outros SIGs para construção do mapa do imóvel. Vale ressaltar que mesmo para os Estados que optaram por utilizar o SICAR, as imagens disponibilizadas pelo MMA estão obsoletas. Isso se deve ao fato das imagens, provenientes do sistema de satélites RapidEye, serem de datas dos anos de 2011, 2012, 2013 e 2014.

O Decreto Federal nº 7.830, de 17 de outubro de 2012 destaca que a inscrição deverá conter, no mínimo, as seguintes informações:

Art. 5º - O 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.

As áreas declaradas através desta planta georreferenciada, ou seja, do mapeamento, feito por diversos meios de levantamento, constitui a principal ferramenta de monitoramento do imóvel após inscrição, visto que a partir dele é possível executar atividades de monitoramento através do sensoriamento remoto.

Assim, as etapas de inscrição no CAR-MS constituem as seguintes fases:

- 1) Levantamento de informações geográficas e mapeamento do imóvel utilizando-se das seguintes alternativas:
  - a) Coordenadas que constam na matrícula do imóvel;
  - b) Mapa georreferenciado da certificação do perímetro imóvel no INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Ressalta-se aqui que a

certificação do imóvel no INCRA não é pré-requisito para inscrição no CAR-MS;

- c) Levantamento de campo com GPS (Global Positioning System);
  - d) Levantamento por imagens de satélite e sensoriamento remoto;
  - e) Arquivos pré-existentes de informações geográficas do imóvel, entre outros.
- 2) Construção do arquivo vetorial de acordo com normas da resolução estadual SEMAC nº 12 de 17 de julho de 2014, que aprova a Norma Técnica para Georreferenciamento de Áreas de Interesse Ambiental e de atividades sujeitas ao Licenciamento e Regularização Ambiental no IMASUL.
- 3) Lançamento do arquivo shape e de dados cadastrais no sistema SIRIEMA, dotado das seguintes etapas:
- a) Dados gerais: contendo nome do imóvel, localização e roteiro de acesso;
  - b) Documentação: dados cartoriais, proprietários/posseiros/concessionários e processos de reserva legal já aprovados ou em andamento no IMASUL, quando houver;
  - c) Georreferenciamento: lançamento do mapa do imóvel (arquivo shape) e cálculos das áreas declaradas, em hectares;
  - d) Regularização de passivos: onde são informadas, com base em cálculos feitos pelo sistema, de acordo com as informações declaradas, se o imóvel possui passivos ambientais, como APPs ou reservas legais degradadas ou inexistentes, multas e termos de ajuste de condutas. No caso de existência de passivos, nesta etapa também são apresentadas as alternativas de regularização destes passivos e a possibilidade de adesão ao Programa MS mais sustentável.

Após a inscrição do imóvel no CAR, este passará por análise e validação pelo órgão ambiental, que avaliará as informações ambientais declaradas nas etapas descritas anteriormente e irá sugerir, caso necessário, correção dessas informações. O art. 9º do Decreto nº 7.830, dispõe que a regularidade do imóvel perante o CAR-MS será caracterizada pela emissão digital do Certificado de Regularidade após a validação do cadastro do imóvel.

Alves et al. (2011), averiguaram os mapeamentos de áreas de preservação permanentes de imóveis que estão sendo validados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Mato Grosso (SEMA). Posteriormente mapeou as mesmas áreas com imagens de satélite SPOT dos anos de 2007 e 2009, com resolução espacial de 2,5 m e 10 m respectivamente, e fez a confrontação de dados. A conclusão da pesquisa foi que a análise feita pela SEMA está

insatisfatória, considerando que foram identificadas áreas não declaradas como preservação permanente e que ainda assim foram aprovadas no CAR.

Laudares et al. (2014), reuniram e analisaram as informações técnicas disponíveis na literatura a respeito do CAR, explorando em sua pesquisa as dificuldades de aplicação desta ferramenta, bem como as comparações entre aspectos do antigo e do novo código florestal. Os autores exploram com maior ênfase os problemas ambientais das mudanças nas medidas das APPs, que passaram a ser contadas a partir da calha do leito regular, ao mesmo tempo que considera que esta metodologia de medição é mais fácil tecnicamente do que a anterior. Outra crítica é sobre a flexibilização da recuperação das áreas de preservação permanente e da recuperação da reserva legal na Lei Federal nº 12.651, quando são partes de áreas já consolidadas.

Farinaci et al. (2013), acreditam que através do CAR, o monitoramento de áreas rurais por sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para a gestão ambiental. Laudares et al. (2014) ainda destacam os benefícios dos programas de compensação de reserva legal, através de Cotas de Reserva Ambiental (CRA), e do Programa de Regularização Ambiental (PRA), instituído para dar apoio e fomentar ações que facilitem a regularização ambiental.

Pantoja et al. (2015) realizaram um levantamento de dados por meio de geoprocessamento de 15 cadastros ambientais rurais do município de Igarapé-Açu (PA), propondo verificar a consistência das informações frente ao Código Florestal Brasileiro, levando em consideração a importância da manutenção de Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Reserva Legal. Foram observadas várias inconsistências nas informações declaradas, como por exemplo, pastagens e áreas agrícolas definidas como áreas de reserva legal, sobreposições de polígonos de diferentes áreas e não declaração de APPs existentes nos imóveis.

Neto et al. (2017), reforça que o novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651) não apresenta critérios que possam direcionar a avaliação da qualidade posicional dos dados utilizados para cadastramento do imóvel no CAR, ou seja, não define tolerâncias posicionais aplicáveis aos dados espaciais utilizados. Os autores avaliam a acurácia posicional planimétrica de um produto gerado utilizando o aerolevante feito por VANT. A metodologia envolveu aplicação dos métodos de feições pontuais e lineares, de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro, considerando como referência um levantamento topográfico executado utilizando a tecnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) e método de posicionamento RTK (Real Time Kinematic). Os resultados obtidos mostraram discrepâncias

médias similares, da ordem de 20 cm, sendo o produto acurado posicionalmente para a escala 1:1000, em ambos os métodos.

Santos (2015) defende que CAR, para a política ambiental brasileira, é um marco de transição do mero comando para um geodireito planejado. Ele se ampara em uma análise histórica das legislações florestais, analisando conceitos e preconceitos que permearam a vigência de leis ambientais repressivas e, por outro, a forma como o Código Florestal e o CAR oferecem outra visão sobre o problema ambiental, partindo de pressupostos socioeconômicos preocupados com o planejamento territorial. O debate ocorre também ao relacionar o CAR como um amadurecimento administrativo que traz a questão ambiental como um espaço econômico a necessitar de múltiplos instrumentos estatais, principalmente aqueles chamados de incentivos econômicos pela Lei Federal nº 12.651/2012. Ele ainda se propõe a refletir sobre os passos ainda a serem trilhados para a efetivação do Cadastro Ambiental Rural no Brasil.

Savian et al. (2014) analisam as contribuições do CAR para a melhoria da gestão e do planejamento agroambiental. São apresentadas algumas experiências de adequação ambiental no CAR, as disposições deste instrumento no novo Código Florestal e as perspectivas de sua implementação. Discute-se também a inserção do cadastro nas políticas de desenvolvimento rural e as possibilidades do aprimoramento destas políticas com a implementação do CAR. Para este trabalho, o CAR derivou de ferramentas e metodologias de sensoriamento remoto desenvolvidas e utilizadas para identificar, monitorar e intensificar as medidas de combate aos desmatamentos na região da Amazônia Legal a partir de imagens de satélite. Essas metodologias possibilitaram identificar com precisão a localização dos desmatamentos e identificar os agentes responsáveis. Isso levou a aplicação destas metodologias como instrumento de regularização ambiental.

Já a luz de alguns anos de implantação do CAR, Jung et al. (2017) destacam que o CAR facilita o monitoramento e aplicação do Código Florestal e outras legislações ambientais, o que pode, por sua vez, afetar direta ou indiretamente as atividades que os proprietários rurais podem realizar em suas terras e seus meios de subsistência, devido às exigências que agora podem ser melhor monitoradas afim de cobrar resultados na prestação de serviços ecossistêmicos. Foram investigadas e estabelecidas teorias de mudança nos meios de subsistência como resultado do CAR e dos programas relacionados a ele. Para tal, os autores entrevistaram (em 2011, 2015 e 2016) agricultores, governos e agências de financiamento. Eles destacam, nos dois biomas estudados (Cerrado e Amazônia), as alterações dos ativos de capital físicos naturais, humanos, financeiros e sociais dos agricultores. Entre os principais impactos positivos identificados

estão: o aumento da provisão de serviços ecossistêmicos; aumento do capital humano através do fornecimento de conhecimentos sobre o código florestal aos agricultores; preparação dos agricultores para maiores demandas do mercado por produtos produzidos de forma sustentável.

Entre os destaques dos impactos negativos, está o aumento dos custos de produção, o que reforça que os governos e as agências de financiamento que estão implementando o CAR precisam considerar os possíveis impactos de subsistência, devido às altas taxas de pobreza em muitos estados nos biomas Amazônia e Cerrado. Por fim, os autores sugerem a inclusão de atividades para aumento de renda após o registro do CAR.

Tupiassu et al. (2017) apresentam algumas das principais incongruências da implementação do CAR no Estado do Pará, analisando suas consequências em relação à regularização fundiária, como o desvio de finalidade do CAR no que diz respeito à configuração da posse e propriedade no contexto amazônico. Os autores expõem também os efeitos negativos da má utilização do sistema nas políticas ambientais de rebate territorial, como o ICMS Verde paraense, a partir da introdução do CAR como critério, mesmo com a defasagem de cadastros validados. As análises realizadas indicaram que a prioridade que foi dada ao incentivo às adesões, deixou em segundo plano o rigor no controle dos dados e da própria documentação apresentada. Além disso, a precariedade das condições técnicas, físicas e financeiras para a validação dos cadastros contribuem para que os dados registrados ainda sejam inconsistentes. Assim, as discussões convergem sobre a insegurança dos cadastros, por suas sobreposições, pelas ocorrências de fraude da posse de imóveis rurais e pelas limitações administrativas de controle e monitoramento desses documentos.

Os vários gargalos apresentados nestas pesquisas reforçam o quanto é importante dar celeridade ao processo de validação dos cadastros. Isso reafirma o sensoriamento remoto como uma ferramenta aliada fortíssima, pois quanto mais tempo economizado numa validação que atualmente é feita com análise meramente visual, mais tempo os órgãos ambientais terão disponível para análises documentais que precisam ser mais ágeis para suprir alguns problemas apresentados até aqui.

A legislação que envolve o CAR é clara quanto ao uso dos SIGs ser fundamental no processo de cadastramento e validação, e conseqüentemente, na identificação das áreas de interesse ambiental, objeto de principal interesse do CAR. Assim, entende-se que quantos mais exploradas as ferramentas de SIG em ambos procedimentos, mais sofisticados e efetivos serão o conhecimento destas áreas de interesse.

As pesquisas verificadas nesta seção procuram conhecer o processo de cadastramento realizados em suas regiões de estudo, que aliado ao conhecimento ou investigação de fatores geográficos da região, abre mais possibilidades e uma maior clareza para identificação de gargalos. Isso se aplica tanto aos gargalos no processo de inscrição ou análise, quanto nos gargalos relativos aos insumos necessários para se ter um processo de análise mais ágil.

Uma parte significativa das pesquisas investigaram a consistência de dados declarados no CAR e até mesmo a consistência de algumas análises. Esta segunda, por sua vez, reforça a necessidade de se investir em tecnologias de SIGs nos órgãos estaduais de meio ambiente. As pesquisas analisam e discutem também, com frequência, as inconsistências ou alterações significantes na legislação, assim como os impactos delas, principalmente no meio físico.

### **1.3. Materiais e Métodos**

As informações e situações do Cadastro Ambiental Rural no Mato Grosso do Sul foram fornecidas pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, através de relatórios das áreas cadastradas. As informações solicitadas requeriam tanto as quantidades de inscrições cadastradas quanto as já validadas. Foram solicitados também os arquivos georreferenciados dos imóveis cadastrados com todas suas áreas.

A partir dos arquivos foi possível realizar primeiro a seleção por atributos, com a finalidade de filtrar apenas as classes de interesse para esta pesquisa. Elencadas na Resolução Estadual SEMAC nº 12 de 2014, as classes utilizadas são as seguintes:

1. Área Total do Imóvel;
2. Área de Remanescente de Vegetação Nativa;
3. Área de Ocupação Agrossilvipastoril, Ecoturismo e Turismo Rural Anterior à 22/07/2008;
4. Área de Ocupação por Outras Atividades;
5. Área de Atividade Agrossilvipastoril no Período de 22/07/2008 à 28/05/2012;
6. Área de Servidão Administrativa - Reservatório d'água Artificial Destinado à Geração de Energia ou Abastecimento Público;
7. Área do Curso d'água Efêmero;
8. Área do Curso d'água Natural Perene ou Intermitente com Largura Inferior à 10 m;
9. Área do Curso d'água Natural Perene ou Intermitente com Largura de 10 à 50 m;

10. Área do Curso d'água Natural Perene ou Intermitente com Largura Superior à 50 e até 200 m;
11. Área do Curso d'água Natural Perene ou Intermitente com Largura Superior à 200 e até 600 m;
12. Área do Curso d'água Natural Perene ou Intermitente com Largura Superior à 600 m;
13. Área do Lago e Lagoa Natural;
14. Área do Reservatório d'água Artificial Decorrente de Barramento ou Represamento de Cursos d'água Naturais;
15. Área do Reservatório d'água Artificial Destinado à Geração de Energia ou Abastecimento Público;
16. Área da Nascente e Olho d'água Perene;
17. Área da Encosta com Declividade Superior à 45 Graus;
18. Área da Borda de Tabuleiro e Chapadas;
19. Área do Topo de Morro;
20. Área Superior à 1.800 m;
21. Área da Vereda;
22. APP do Reservatório d'água Artificial Decorrente de Barramento ou Represamento de Cursos d'água Naturais;
23. APP do Reservatório d'água Artificial Destinado à Geração de Energia ou Abastecimento Público;
24. Área de Uso Restrito com Inclinação de 25 à 45 Graus de Declividade;
25. Área de Remanescente de Vegetação Nativa Proposta para Constituição de Reserva Legal;
26. Área de Restauração de Vegetação Proposta para Constituição de Reserva Legal;
27. Área de Reserva Legal Aprovada e Averbada em Matrícula;
28. Área para Constituição de Reserva Legal em Condomínio;
29. Área para Constituição de CRAE.

Com os *layers* selecionados, foi realizada a seleção por localização, onde foram feitas várias intersecções. Entre as principais está o levantamento de informações de passivos por bioma. Também foram geradas informações de passivos ambientais, por bioma, tanto de área de preservação permanente, quando de reserva legal. O *software* utilizado para estas ações foi o QGIS (versão 2.14.11).

#### 1.4. Resultados e Discussões

No Brasil, a área estimada passível de cadastro no CAR, considerando o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE), é de 397.836.864 hectares. A área cadastrada, em 31 de agosto de 2018, é de 463.133.803 hectares, ou seja, mais de 100% da estimativa de área passível de cadastro (Serviço Florestal Brasileiro, 2018).

A tabela 1 apresenta informações gerais dos cadastros nas regiões do Brasil até a data de 31 de agosto de 2018. Os dados contabilizam os cadastros do SiCAR somados aos sistemas estaduais de São Paulo e do Mato Grosso do Sul. A área passível de cadastrado é estimada com base no Censo Agropecuário de 2006 (IBGE). Os subtotais consideram o número de beneficiários dos Assentamentos da Reforma Agrária e o número de famílias inscritas em Territórios de Povos e Comunidades Tradicionais. As Unidades de Conservação contabilizam apenas dados cadastrados no SiCAR e consideram aquelas de Uso Sustentável.

**Tabela 1 – Extrato do CAR nas regiões brasileiras**

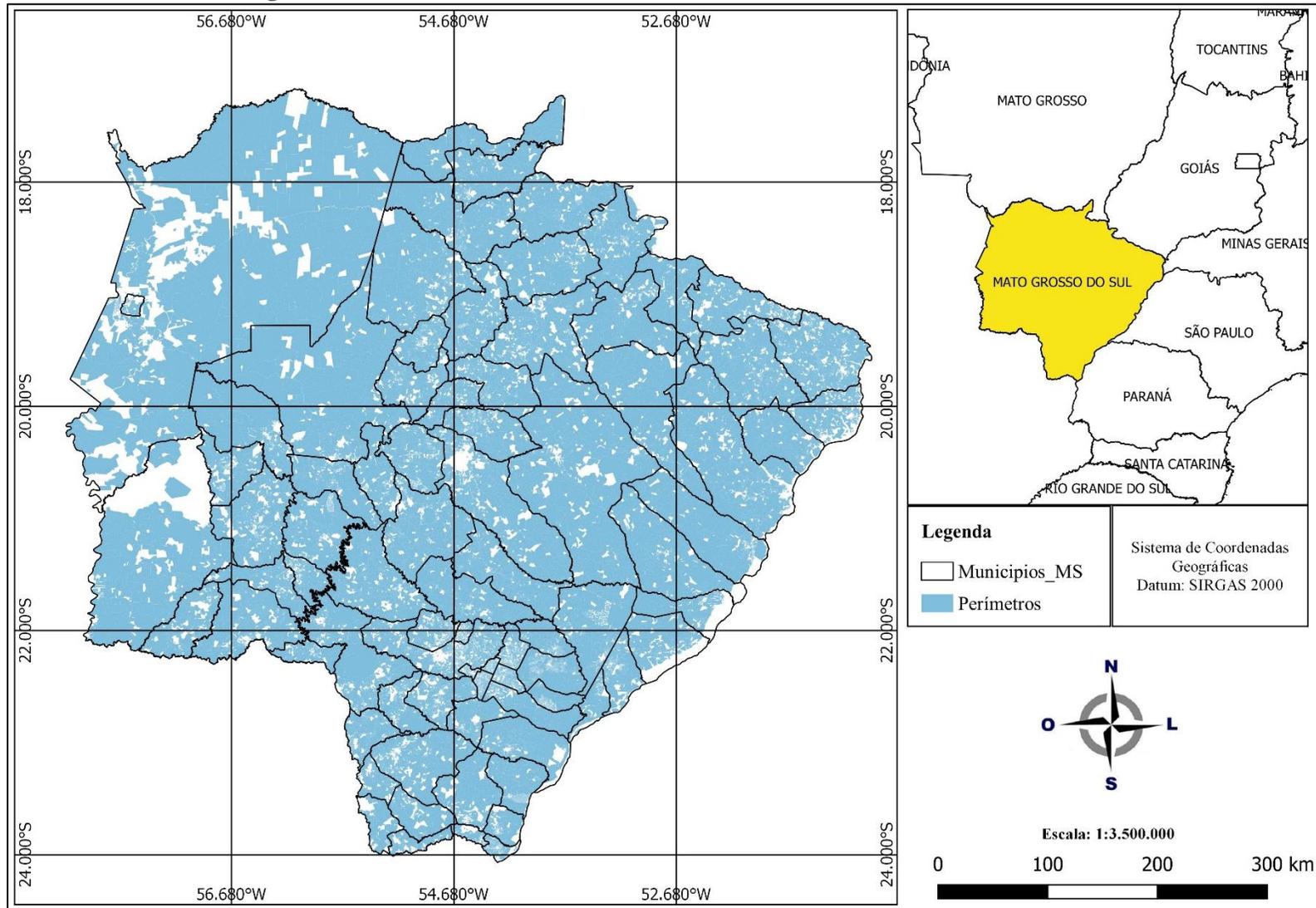
<b>Região</b>	<b>Área Passível de Cadastro (ha)</b>	<b>Área Cadastrada (ha)</b>	<b>Imóveis Cadastrados</b>
Norte	93.717.515	139.628.815	715.226
Nordeste	76.074.156	76.930.685	1.684.059
Centro-Oeste	129.889.570	133.481.334	435.025
Sudeste	56.374.996	68.081.493	1.179.350
Sul	41.780.627	45.011.475	1.308.082
<b>Subtotais</b>	<b>397.836.864</b>	<b>463.133.803</b>	<b>5.321.742</b>
Unidades de Conservação		32.836.553	26.586
<b>Total</b>	<b>430.673.417</b>	<b>495.970.356</b>	<b>5.348.328</b>

Fonte: Adaptada do Serviço Florestal Brasileiro (2018).

No Mato Grosso do Sul, a área passível de cadastro é de 30.274.975 hectares (Serviço Florestal Brasileiro, 2018), e a área cadastrada, até agosto de 2018, segundo dados fornecidos pelo próprio Estado, é de 31.287.990,42 ha. A quantidade de cadastros ativos é de 62.082 imóveis.

A figura 1 representa os polígonos dos perímetros dos imóveis cadastrados no CAR. Os polígonos para confecção do mapa foram fornecidos pelo IMASUL.

**Figura 1 – Perímetros dos Imóveis declarados no CAR no Mato Grosso do Sul**



Fonte: Própria autora (2018)

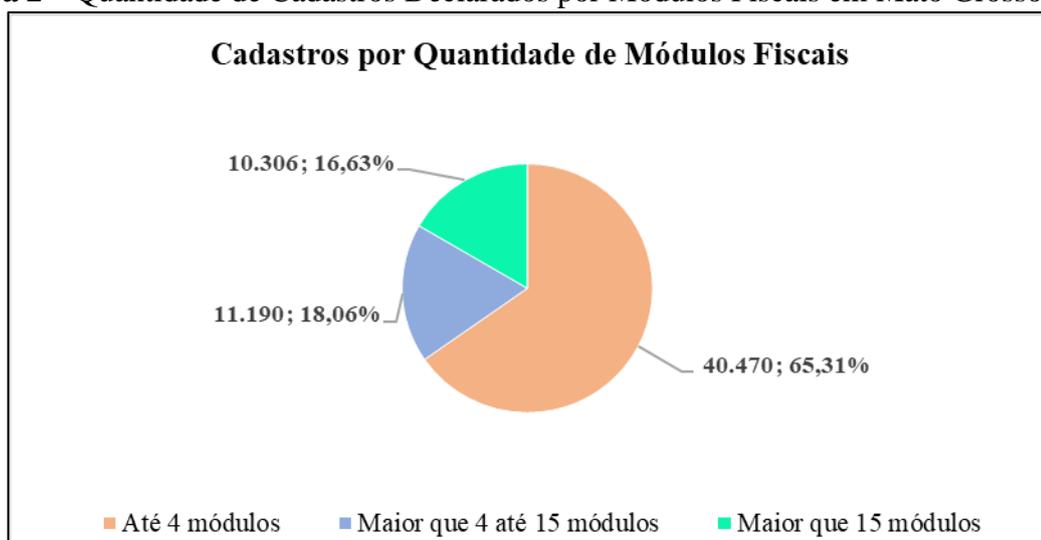
A mapa apresentado anteriormente representa o quanto já se conhece das áreas de interesse ambiental dos imóveis rurais no Mato Grosso do Sul. Este panorama, nunca viabilizado antes da criação do CAR, fornece a possibilidade de realizar o planejamento da paisagem em nível estadual.

A seguir serão apresentados alguns gráficos julgados importantes para as análises realizadas nesta pesquisa. Todos os dados utilizados para a confecção dos gráficos foram fornecidos pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Priorizou-se as áreas de interesse ambiental, como APPs, reservas legais, Cotas de Reserva Ambiental, áreas de passivos e as áreas que mais afetam a disponibilidade destas citadas acima, como é o caso das áreas de ocupação agrossilvipastoril. É importante ressaltar que estes levantamentos foram feitos a partir de áreas declaradas nos cadastros, correspondendo ao princípio declaratório do CAR. Sendo assim, estas informações não expõem necessariamente um panorama preciso da situação ambiental das propriedades rurais no MS. Esta condição torna ainda mais importante a validação dos cadastros já inscritos.

Todas as áreas calculadas para esta pesquisa consideram o Datum SIRGAS 2000.

A figura 2 apresenta a quantidade de cadastros distribuídos pela quantidade de módulos fiscais dos imóveis. 40.470 (65,31%) são imóveis de até quatro módulos fiscais, 11.190 (18,06%) são imóveis entre quatro e quinze módulos, e 10.306 (16,63%) são imóveis maiores que quinze módulos fiscais.

**Figura 2** – Quantidade de Cadastros Declarados por Módulos Fiscais em Mato Grosso do Sul

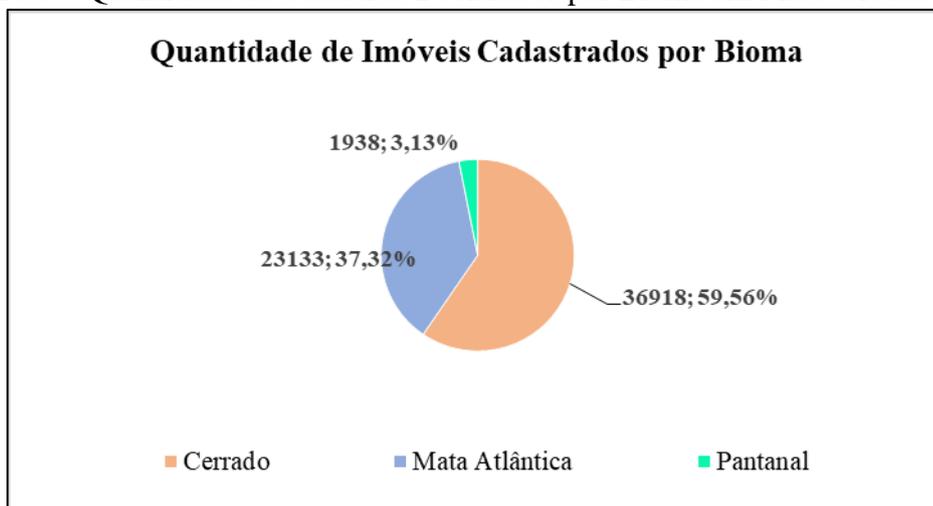


Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

A quantidade discrepante de imóveis com até 4 módulos fiscais se explica por dois motivos principais. O primeiro se justifica pela quantidade de pequenas propriedades no Estado, estimado pelo INCRA (2016) em 59.718 imóveis, de um total de 87.164 imóveis no geral. O segundo motivo se explica pelo fomento dado pelo governo aos pequenos produtores para cadastramento gratuito do CAR.

A figura 3 mostra a quantidade de imóveis cadastrados por bioma. A quantidade muito inferior de cadastros no Pantanal (1.938 CARs - 3,13%) se explica principalmente devido ao tamanho das propriedades neste bioma, que se destacam, em sua maioria, por serem grandes propriedades. O Cerrado é o bioma com maior número de cadastros, com um total de 36.918 CARs (59,56%), seguido da Mata Atlântica, com 23.133 cadastros (37,32%).

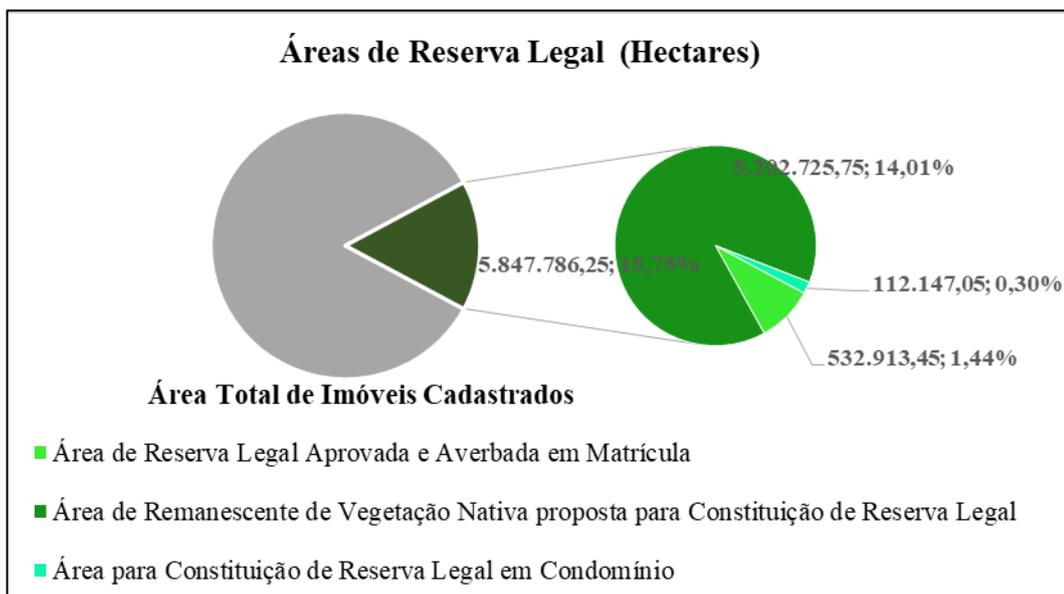
**Figura 3** – Quantidade de Cadastros Declarados por Bioma em Mato Grosso do Sul



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

A figura 4 apresenta a quantidade de áreas declaradas como reserva legal, com a devida tipificação. Este gráfico elenca apenas aqueles tipos de reserva legal consideradas como existentes, ou seja, não contabiliza as áreas de restauração de reserva legal declaradas. Dos 31.287.990,42 ha da área total dos imóveis cadastrados, 5.847.786,25 hectares (15,75%) pertencem às classes de reserva legal. Destes, 5.202.725,75 hectares (14,01%) pertencem à classe Área de Remanescente de Vegetação Nativa proposta para Constituição de Reserva Legal, ou seja, reservas legais propostas pela primeira vez no CAR. 112.147,05 hectares (1,44%) são área de reserva legal aprovada e averbada em matrícula, ou seja, reservas de imóveis que já haviam sido aprovadas antes da criação do CAR. Por fim, 532.913,45 hectares (0,30%) são área para constituição de reserva legal em condomínio.

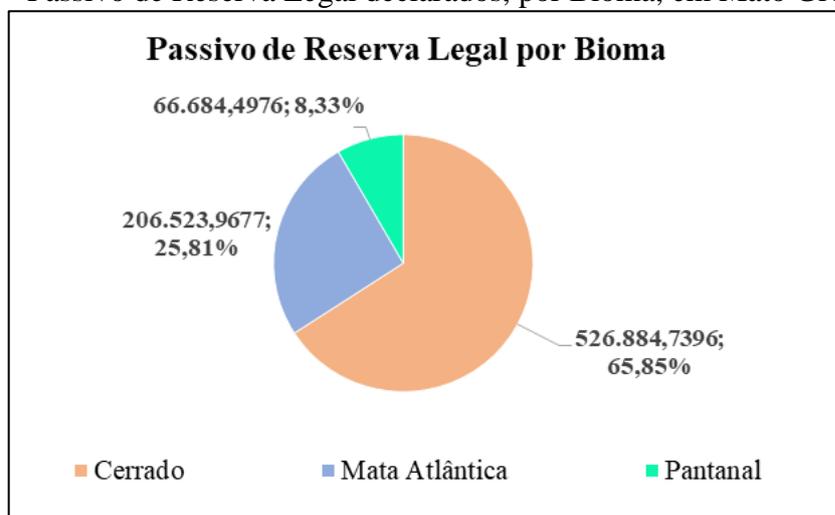
**Figura 4** – Áreas de Reserva Legal declaradas em Mato Grosso do Sul



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

Uma observação importante a ser feita nesta representação é que entre os imóveis cadastrados, o estado apresenta menos de 20% de áreas de reserva legal. É fundamental considerar que, a partir do novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/12), muitas áreas menores que quatro módulos fiscais passaram a não precisar recuperar seus passivos de reserva legal em áreas consolidadas anteriormente a 22 de julho de 2008. Essa situação afeta diretamente as quantidades de área proposta para constituição de reserva legal no CAR e as áreas de passivo apresentadas a seguir. A figura 5 apresenta a quantidade, em hectares, de passivos de reserva legal declarados, por bioma, no Estado.

**Figura 5** – Passivo de Reserva Legal declarados, por Bioma, em Mato Grosso do Sul



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

Foram calculados 20% da área de cada Bioma presente no Mato Grosso do Sul. A tabela a seguir mostra as comparações feitas entre as áreas que seriam passivo caso não existisse anistia e as áreas de passivo realmente declaradas, considerando áreas que tiveram a anistia mencionada acima.

**Tabela 2** – Comparação entre os passivos de reserva legal quando se considera anistia e quando não se considera anistia:

<b>Bioma</b>	<b>20% - Sem anistia (ha)*</b>	<b>Com anistia (ha)</b>
Cerrado	4.517.802,48	526.884,7396
Mata Atlântica	1.292.581,98	206.523,9677
Pantanal	1.844.035,98	66.684,4976
<b>Total</b>	<b>7.654.420</b>	<b>800.093,2049</b>

Fonte: Adaptada do Imasul (2018).

\* Os cálculos feitos acima não descontam das áreas dos Biomas nenhuma outra área, como por exemplo, terras indígenas, áreas urbanas, unidades de conservação, entre outras.

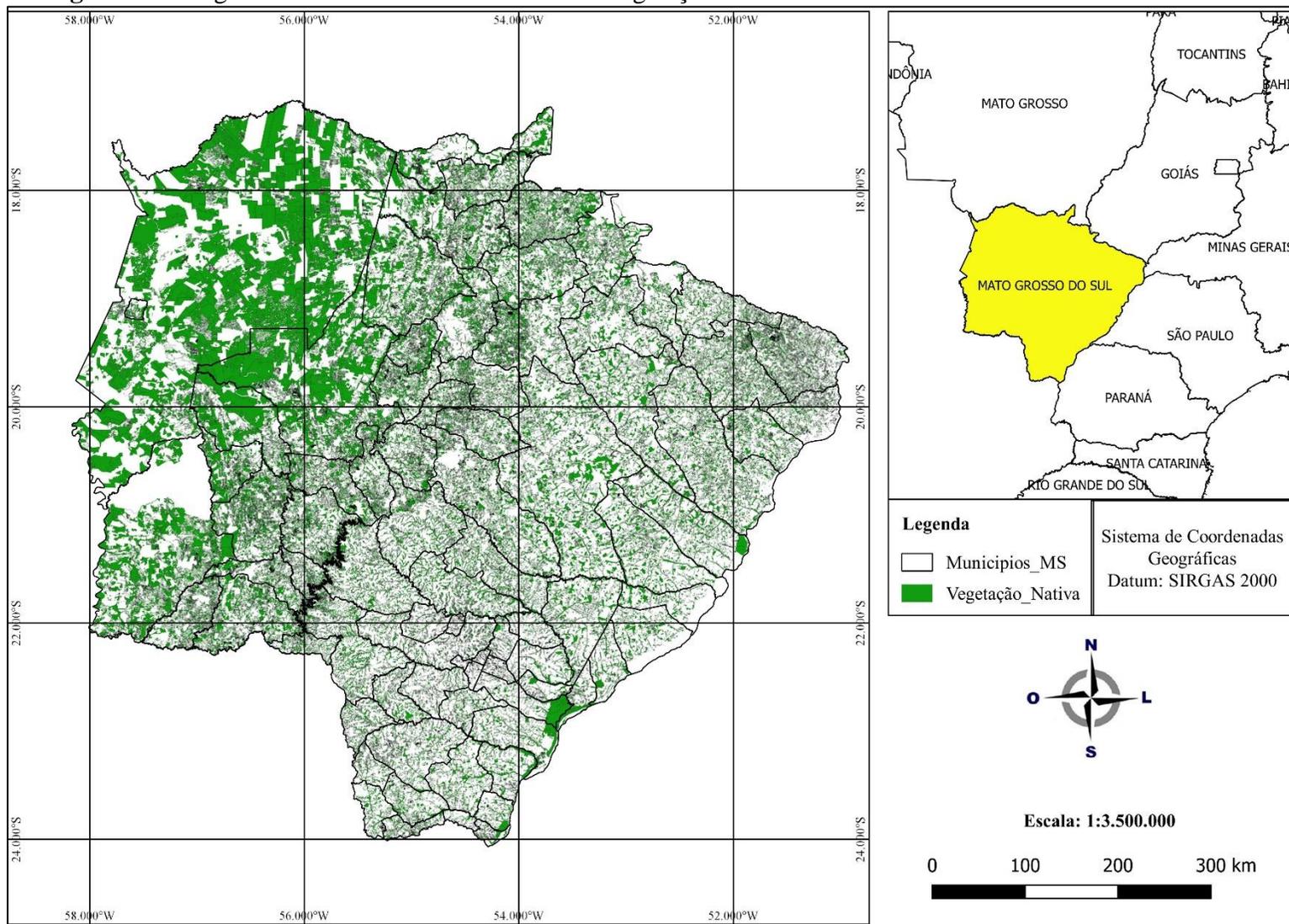
Dentre as informações acima, o MS apresenta 288.258,66 ha de área de restauração de vegetação proposta para constituição de reserva legal. Isso significa que alguns imóveis que possuem passivos de reserva legal optaram por fazer regeneração ou recomposição de áreas dentro do próprio imóvel para sanar o passivo ambiental. Outra alternativa aos passivos de reserva legal é a compensação, que pode ser feita por aquisição de títulos de cota de reserva ambiental ou por doação de área localizada no interior de unidades de conservação de domínio público pendentes de regularização fundiária (Mato Grosso do Sul, 2014).

Neste sentido, o MS apresenta uma área de 414.501,60 hectares de proposta para constituição de Títulos de Cotas de Reserva Ambiental Estadual (TCRAE), com a finalidade e atender aos passivos de reserva legal dos imóveis que precisam se regularizar.

Contudo, é fundamental discutir aqui que apesar das áreas de passivos inferiores após a aplicação da anistia para imóveis de até 4 módulos fiscais, o Mato Grosso do Sul possui 5.847.786,25 de hectares de área de reserva legal, entre aprovadas e propostas. Isso se explica devido a não contabilização das áreas menores que 4 módulos fiscais nas informações de passivos fornecidas pelo Imasul. Apesar disso, os imóveis de até 4 módulos fiscais que apresentam área de vegetação nativa, devem apresentar proposta de reserva legal, mesmo que o imóvel seja parcialmente consolidado. Isso acontece porque a anistia aplica-se apenas às áreas já consolidadas.

A área total de vegetação nativa declarada no Estado é de 10.799.011,77, ou seja, 34,51% da área total cadastrada. A figura 6 representa os polígonos das áreas de remanescente de vegetação nativa dos imóveis cadastrados no CAR-MS. Os polígonos para confecção do mapa foram fornecidos pelo IMASUL.

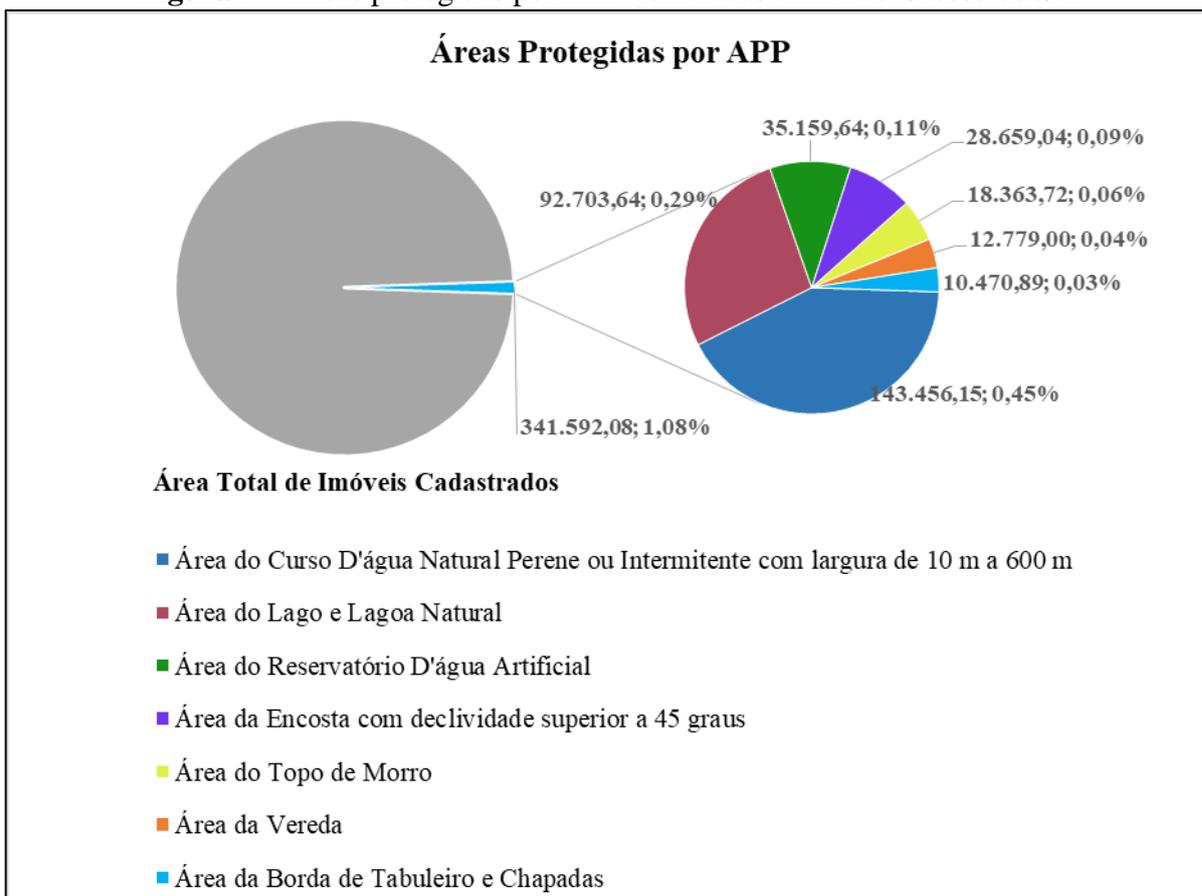
**Figura 6** – Polígonos de Área de Remanescente de Vegetação Nativa declarados no CAR no Mato Grosso do Sul



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

A figura 7 apresenta as áreas protegidas por APP declaradas no CAR-MS, ou seja, 341.592,08 (1,08%) das áreas cadastradas são áreas protegidas por APP. No gráfico não são representadas as áreas de nascente declaradas, pois estas são representadas por pontos, e por isso não podem ter suas áreas calculadas. A quantidade de pontos declarados é de 7.820 nascentes.

**Figura 7 – Áreas protegidas por APP declaradas em Mato Grosso do Sul**

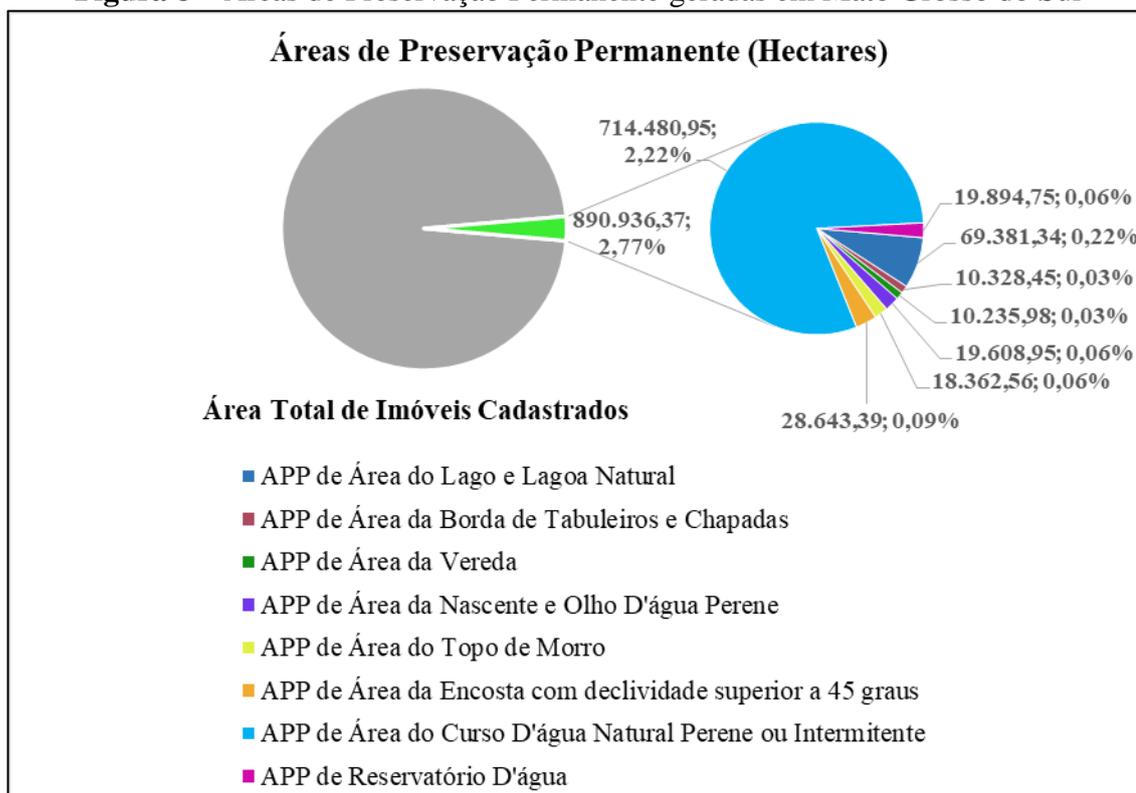


Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

A figura 8 apresenta todos os tipos de APP declaradas e geradas no CAR. Elas contabilizam os polígonos ideais de preservação permanente, não considerando os passivos ambientais. Do total de 31.287.990,42 hectares cadastrados, 890.936,37 (2,77%) são áreas de preservação permanente. O predomínio das APPs declaradas são aquelas correspondentes aos cursos d'água, com 714.480,95 hectares (2,22%).

Destaca-se aqui que, com exceção das APPs de reservatórios, os polígonos de APP são gerados pelo próprio sistema do CAR-MS, obedecendo as regras do Código Florestal, a partir das áreas protegidas declaradas pelo proprietário do imóvel.

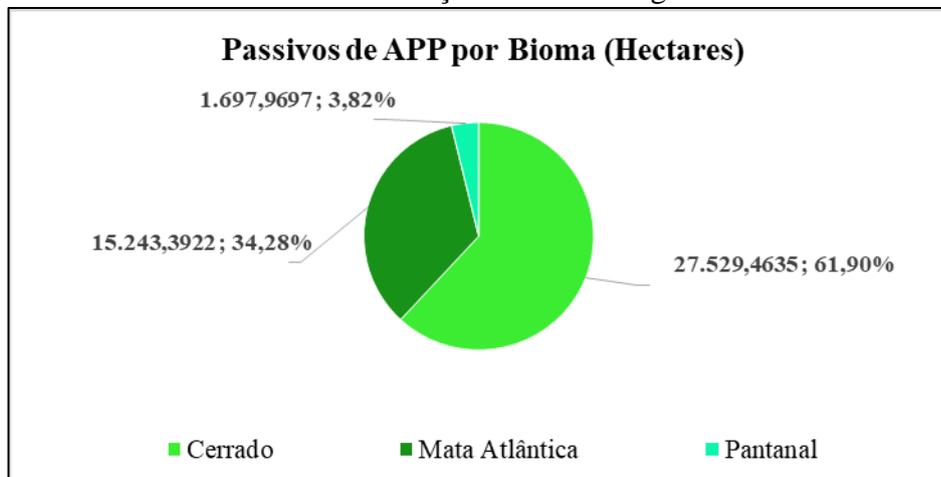
**Figura 8 – Áreas de Preservação Permanente geradas em Mato Grosso do Sul**



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

A figura 9 apresenta os passivos de APP por bioma, também gerados pelo sistema, a partir do cruzamento das APPs ideais e dos arquivos vetoriais (shapefile) de vegetação nativa declarados pelos requerentes. Esse cálculo considera as regras do Art. 61-A do Código Florestal, que define os tamanhos de APPs a serem recuperadas ou restauradas em áreas consolidadas até 22 de julho de 2008.

**Figura 9 – Passivos de Áreas de Preservação Permanente gerados em Mato Grosso do Sul**

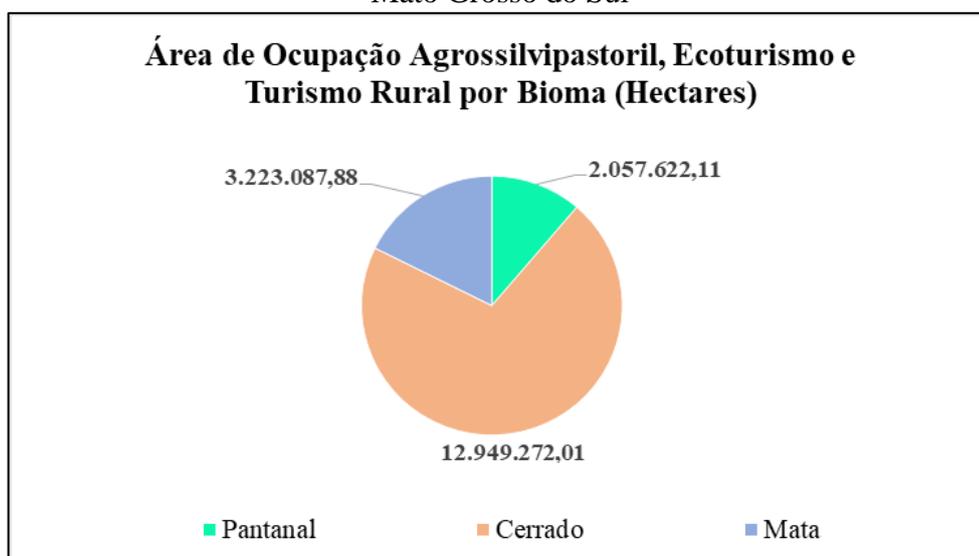


Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

Nota-se que tanto para áreas de preservação permanente quanto para reserva legal, o Cerrado é o bioma com maior área de passivo, seguido da mata Atlântica e do Pantanal.

A figura 10 apresenta a quantidade de áreas de ocupação agrossilvipastoril, ecoturismo e turismo rural, tanto aquelas consolidadas até 22 de julho de 2008, quanto aquelas abertas após esta data, divididas também por Bioma.

**Figura 10** – Área de Ocupação Agrossilvipastoril, Ecoturismo e Turismo Rural declaradas em Mato Grosso do Sul



Fonte: Adaptado de Imasul (2018)

Um dado importante a ser mencionado é que dos 62.082 cadastros realizados, apenas 500 foram validados pelo Imasul em 4 anos de implantação no MS. Se mantido o mesmo ritmo de validação (125 CARs por ano) e o mesmo cenário, a estimativa é de aproximadamente 496 anos para a validação dos cadastros existentes até então. Porém, o que deixa a situação um pouco menos pessimista, mas ainda muito preocupante, é que o cenário atualmente está ligado a validações de imóveis que solicitaram processos de supressão vegetal ou que estão instituindo Cota de Reserva Ambiental Estadual. Dessa forma, a maior parte dos cadastros validados são de imóveis médios e grandes, ou seja, cadastros que levam mais tempo de análise técnica. Considerando que a maior parte dos imóveis do MS são áreas de até quatro módulos fiscais (65,31%), provavelmente esse cálculo seja otimizado ao se dedicar às validações de imóveis menores e relativamente mais simples.

## 1.5. Conclusões

Este capítulo apresentou a atual situação dos imóveis declarados CAR no Estado do Mato Grosso do Sul. Conclui-se que o CAR tem se mostrado uma ferramenta efetiva no conhecimento do território, pois a partir da sua alta adesão por parte dos proprietários de imóveis rurais, mesmo com informações declaratórias, tem-se um panorama das áreas de interesse ambiental no Estado. Conhecer estas áreas possibilita que o governo identifique os principais gargalos e oportunidades de melhorias e investimentos na validação dos cadastros.

Os destaques se concentram principalmente na identificação dos passivos, tanto de reserva legal, quanto de APP. Uma das principais discussões é sobre como os passivos são afetados pelas definições do código florestal sobre continuidade de atividades agrossilvipastoris em áreas de uso consolidado até 22/07/2008, diminuindo drasticamente as áreas de reserva legal a serem restauradas ou compensadas. O mesmo impacto é refletido nas APPs, visto que em áreas de uso consolidado anteriormente a data mencionada acima, o código florestal possibilita a recuperação parcial da APP, independentemente do tamanho do imóvel.

Outra situação que se destacou foi a identificação do Bioma Cerrado com as maiores áreas de passivo de reserva legal, seguido da Mata Atlântica e do Pantanal, respectivamente. Esta situação se repetiu para os passivos de APP.

Deve-se dar a devida relevância a situação apresentada sobre a morosidade no processo de validação dos CARs, pois daí parte a necessidade de se investigar métodos de acelerar este processo de validação. Parte da relevância social desta dissertação está empregada neste gargalo.

Após diagnosticar a situação das áreas declaradas no CAR, o próximo capítulo pretende contribuir para a melhor aplicação de ferramentas e imagens de sensoriamento remoto voltadas ao CAR para oferecer suporte científico à regularização ambiental no Mato Grosso do Sul e no Brasil e para fomentar métodos para a criação de um banco de dados com informações geoespacializadas sobre as áreas de interesse ambiental dos imóveis rurais.

## **2. CAPÍTULO II – VALIDAÇÃO DAS IMAGENS ORBITAIS PLANET**

### **2.1. Introdução**

O monitoramento das áreas de interesse ambiental no contexto rural vem sendo foco de políticas públicas ambientais que pretendem atenuar as ocorrências do desmatamento da vegetação nativa. Para isso, ferramentas que permitem uma compreensão mais abrangente da paisagem são aliadas deste tipo de monitoramento. Destaca-se aqui, ao se considerar a extensão territorial brasileira, a aplicação das imagens orbitais.

A aplicação, com êxito, de dados ópticos de sensoriamento remoto para monitorar aspectos dos ecossistemas terrestres globais, demanda que os dados atendam a padrões de resolução espacial, temporal, radiométrica e espectral para permitir uma caracterização precisa das características e dinâmicas observadas. Esses requisitos motivam o desenvolvimento de tecnologias de sensores e capacidades de aquisição nas últimas quatro décadas. Estima-se que o sensoriamento remoto óptico por satélite continue a fornecer a maior parte dos dados necessários para o monitoramento dos ecossistemas terrestres globais (Dash; Ogotu, 2016).

Para Malingreau (1985), a necessidade de aprimorar a gestão dos recursos naturais a favor do atendimento do crescimento da população e de monitorar os efeitos desta exploração, incitou a necessidade da coleta de grande quantidade de dados sobre recursos naturais, o que consequentemente sustentou o desenvolvimento da detecção remota orbital. Além disso, a utilização de satélites contribuiu para reduzir a incerteza resultante das situações de mudança no uso de recursos naturais em países em desenvolvimento, tornando o sensoriamento remoto orbital parte importante do ambiente de informação.

Neste contexto, no atual cenário das políticas públicas ambientais no Brasil, temos o novo Código Florestal, a Lei Federal nº 12.651 de 25 de maio de 2012, que apresenta as condições e normas para a proteção da vegetação nativa, que apresenta como uma das principais abordagens, a regularização ambiental de imóveis rurais através do Cadastro Ambiental Rural - CAR. De acordo com o Código Florestal, o CAR é um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, que objetiva integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais. Ele compõe uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

O CAR, como ferramenta de regularização ambiental, é uma nova aposta quanto ao cumprimento das obrigações ambientais dos imóveis rurais e do monitoramento ambiental

subsequente, além de ser um importante aliado ao monitoramento de desmatamentos futuros e de constatação de passivos ambientais antecedentes a ele. Diante do exposto, é fundamental que sejam investigadas e validadas ferramentas de sensoriamento remoto aplicáveis às interpretações do uso e cobertura do solo e à preservação ambiental dos recursos naturais.

Por conseguinte, escolhemos apostar no potencial do *software Google Earth Engine*, por ser uma ferramenta de processamento em nuvem, com vários algoritmos classificadores, onde foi possível testar e escolher o que trouxe os melhores resultados para o tipo de uso e cobertura do solo presentes no Mato Grosso do Sul. Além disso, escolhemos investigar o potencial de imagens de sensoriamento remoto provenientes de nano-satélites para a aplicação em áreas rurais, considerando parâmetros importantes para o CAR, que serão melhores discutidos na seção de resultados.

O objetivo deste capítulo consiste em investigar a utilização e aplicação das imagens Planet ao Cadastro Ambiental Rural no Mato Grosso do Sul.

Busca-se conhecer a aplicação do *software Google Earth Engine* para realizar o mapeamento do uso e cobertura do solo a partir de imagens da constelação de nano-satélites Planet, e além disso, comparar os resultados realizando as mesmas aplicações em uma imagem do satélite Sentinel-2. Outra aplicação importante para o CAR também investigada nesta pesquisa será a de avaliar a qualidade posicional e geométrica das imagens Planet.

## **2.2. Revisão da Literatura**

No Brasil, alguns programas de monitoramento por imagens orbitais são conduzidos no intuito de se monitorar áreas de relevante interesse ecológico. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2018), coordena projetos como o PRODES e o DETER, ambos direcionados ao monitoramento e a fiscalização por satélite do desmatamento na Amazônia. O primeiro monitora o desmatamento por corte raso na Amazônia Legal, produzindo, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região, amparando o governo na criação de políticas públicas. As imagens utilizadas são da série LANDSAT, com resolução espacial de 30 metros, combinadas para minimizar o problema da cobertura de nuvens e garantir critérios de interoperabilidade.

O programa DETER é um levantamento rápido de alertas de evidências de alteração da cobertura florestal na Amazônia, em execução desde 2004, com dados do sensor MODIS do satélite Terra, de resolução espacial de 250 m. O programa mapeia o corte raso da floresta, a degradação florestal preparativa para o desmatamento, cicatrizes de incêndios florestais e

atividades de exploração madeireira. Apesar da capacidade de observação diária, devido à cobertura de nuvens e à baixa resolução espacial, nem todas as alterações são identificadas, prejudicando tanto a comparação entre dados de diferentes meses quanto o mapeamento de uma área amostral mínima mensal, principalmente nos meses chuvosos (INPE, 2018).

Os satélites de dados livres, apesar de apresentarem evolução na obtenção de dados, ainda respaldam em algumas dificuldades na obtenção de imagens sem nuvens, principalmente em áreas tropicais, diante da resolução temporal existente. Além disso, imagens com baixa resolução espacial por vezes impedem uma análise mais precisa das áreas dessas pequenas propriedades. Jain et al. (2013) expõem que as técnicas atuais podem não ser apropriadas para mapear práticas de cultivo de pequenas propriedades, onde frequentemente o perímetro do imóvel é menor que a resolução espacial de dados de satélite prontamente disponíveis.

Gao et al. (2006) ressaltam que o ciclo de revisita de Landsat de 16 dias e a presença frequente de nuvens limitam a aplicação destas imagens na detecção de mudanças rápidas da superfície, cruciais para algumas aplicações, tais como o monitoramento do crescimento das culturas e a detecção de perturbações intrasazonáticas do ecossistema.

A missão Sentinel-2 tem um período de revisita de 10 dias no equador, com um satélite, e 5 dias com 2 satélites, considerando condições livres de nuvens (ESA, 2018). O CBERS 4, apesar de possuir alto valor de resolução espacial (5 metros), tem um ciclo de 26 dias de resolução temporal (INPE, 2018).

Dados do ano de 2016 do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) contabilizam um total de 87.164 imóveis rurais no estado do Mato Grosso do Sul, totalizando uma área de 33.832.199,59 de hectares, dos quais 59.718 imóveis – 2.558.019 hectares – são consideradas pequenas propriedades, ou seja, menores de 4 módulos fiscais. Mais do que as grandes propriedades, as pequenas e médias têm maiores possibilidades de serem afetadas pela intensa cobertura de nuvens, devido ao perímetro menor, que pode ser totalmente coberto. Estes exemplos reforçam a afirmação de McCabe et al. (2017), sobre o compromisso entre a resolução e a frequência de observação, ou seja, quanto maior o detalhe espacial, menor a taxa de repetição temporal.

Em contrapartida, os avanços dos micro-satélites de baixo custo permitem coletar dados globais em altas resoluções espaciais e temporais, viabilizando a produção de mapas de uso e cobertura do solo de maior qualidade, pois a frequência de cobertura aumenta a possibilidade de obtenção de dados livres de nuvens. Além disso, os dados de alta resolução temporal tornam possível extrair informações fenológicas, que podem ser incorporadas no processo de

classificação do uso do solo (Dash; Ogotu, 2016). Esses avanços mostraram que a demonstração da capacidade da pequena plataforma e operação de constelação resultou recentemente na geração de constelações multi-planos maiores de satélites menores (Crisp et al., 2015). As constelações compõem teias de formação de elementos de vôo, orientação, navegação e controle interligados com sensores remotos avançados (Esper, et al., 2003).

A tecnologia de miniaturização em sistemas microeletromecânicos (MEMS), isto é, aparelhos com características de microescala ( $\mu\text{m}$ ), oferecem maior precisão e menor consumo de energia em comparação aos sistemas convencionais de espaçonave, o que os torna até cem vezes menos custosos (Boshuizen et al., 2014). Outra vantagem relacionada ao consumo é que possuem tempo de desenvolvimento mais curto e várias oportunidades de lançar, em satélites maiores, grande número de micro e nano-satélites (Esper et al., 2000).

No Brasil, o projeto CONASAT (Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais), direcionado a formação, qualificação e a capacitação de recursos humanos em áreas estratégicas do setor espacial, tem o objetivo de conceber uma solução, baseada em nano satélites, para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais – SBCD. A execução do projeto também possibilita o desenvolvimento de tecnologias espaciais, amparadas nos avanços da nanotecnologia, informática, microeletrônica e telecomunicações, que estão facilitando o desenvolvimento de uma constelação de nano satélites de baixo custo (INPE, 2018).

Neste sentido, em 2011, surge a empresa Planet Labs, atualmente denominada Planet, que utiliza uma abordagem aeroespacial ágil para o projeto de seus satélites, controle de missões e sistemas operacionais. Aplica a mesma abordagem ao desenvolvimento de sua plataforma baseada na *web* para processamento e entrega de imagens. A Planet opera atualmente três constelações satélites de imagens: *PlanetScope*, *RapidEye* e *SkySat*. Cada satélite *PlanetScope* é um *CubeSat* 3U (10 cm por 10 cm por 30 cm). A constelação contempla aproximadamente 175 satélites com capacidade de cobertura de toda a superfície terrestre e coleta diária de 300 milhões de  $\text{km}^2$  / dia (Planet Team, 2018).

Steiner et al. (2017) utilizaram modelos digitais de elevação e imagens Landsat em combinação com imagens de alta resolução da constelação de satélites Planet para quantificar as mudanças de altitude e velocidades de fluxo durante um surto de geleira do Glaciar Khurdopin em 2017. Burke e Lobell (2017) avaliaram o potencial de rastrear a variação de rendimento de milho de pequenos produtores no oeste do Quênia, usando uma combinação de imagens de Terra Bella de 1 m e amostragem de campo intensiva e comparam o potencial de

resoluções mais grosseiras (5, 10 e 30 m) para o mesmo fim. Representando 5 m, os sensores como RapidEye e Planet Scope mostraram ainda serem úteis para o monitoramento de culturas.

Altena et al., (2017) discutiram o potencial e as limitações da fotometria baseada em satélites usando a constelação de *CubeSats* da Planet, explorando a possibilidade de fotometria, com e sem correção atmosférica, nas regiões de geleiras de Nyainqentanglha e Tyndall, respectivamente. Asner et al., (2017) testaram a precisão dos dados dos *CubeSats* Planet, para o mapeamento de recifes de coral e ervas marinhas em um atol no arquipélago de Spratly, e em comparação com levantamentos fotográficos subaquáticos, constataram que a classificação não supervisionada das imagens Planet forneceu uma precisão média de 92% na detecção da extensão dos recifes de coral rasos, porções observáveis de recifes de coral profundos e areia.

Houborg e McCabe (2016), exploraram a alta qualidade radiométrica e a capacidade de imagem do infravermelho próximo do Landsat-8 para maximizar a utilidade das imagens de séries temporais RGB da Planet para aplicações agrícolas. Desenvolveram uma estrutura operacional capaz de traduzir séries temporais densas de imagens RGB brutas em estimativas Landsat consistentes e corrigidas atmosféricamente de NDVI a uma resolução de 3-5 m. Foi empregada uma técnica de mineração de dados para construir um conjunto de modelos de regressão multi-variável específicos para cada cena Planet, evitando possíveis incertezas induzidas por variações nas características de calibração e aquisição de cada sensor de satélite Planet. O resultado final foi um mapa NDVI baseado em imagens Planet de alta resolução.

McCabe et al. (2017) exploraram alguns exemplos de mapeamento baseados em *CubeSat* recentemente desenvolvidos. O foco foi direcionado à estimativa da dinâmica da vegetação e evaporação terrestre, com destaque para a vantagem espaço-temporal dos emergentes sistemas *CubeSat*. Neste estudo foram utilizados os sensores *PlanetScope* da Planet, onde a percepção espacial fornecida ilustrou um nível de detalhe incomparável, dentro e entre campos, com informações sobre o estágio de corte, distribuiu padrões de uso de água em escala de fazenda e a identificação de áreas impactadas por estresse de nutrientes ou de água. A mesma percepção deste elemento foi mascarada pelos mapeamentos Landsat em comparação às imagens Planet.

A escassez de pesquisas que abordam a qualidade das imagens Planet em suas possíveis aplicações foi uma das lacunas que motivaram a definição do objetivo desta pesquisa, que visa investigar o potencial de utilização de imagens orbitais de constelações de nano-satélites de modo a contribuir para um novo tipo de percepção na observação da Terra. Além disso, este estudo contribui para as recorrentes pesquisas que estão emergindo sobre classificação do uso

e cobertura do solo no que tange a regularização ambiental de áreas rurais no Brasil, devido a robustez da qualidade dos dados utilizados.

Um grande desafio na utilização de dados de detecção remota óptica para o monitoramento de ecossistemas terrestres é o custo da análise de dados, devido aos requisitos logísticos, hardware, *software* e treinamento de analistas qualificados. Estas limitações podem dificultar a aceitação desses conjuntos de dados, e a computação em nuvem pode ser uma alternativa para reduzir os custos de instalação de *hardwares* necessários para processar dados de observação da Terra, levando a um aumento na absorção e uso de dados de detecção remota óptica, vantagem ainda maior para países de baixa renda (Dash; Ogotu, 2016).

O *Google Earth Engine* é uma plataforma de computação baseada em nuvem que permite aos usuários executar análises geoespaciais na infraestrutura do Google. Entre a variedade de maneiras de interagir com a plataforma, a interface *Explorer*, que foi utilizada neste trabalho, é uma interface *web* simples e livre para a API (*Application Programming Interface*) *Earth Engine*. É possível que qualquer pessoa visualize os dados no catálogo de dados públicos e importar dados, executar análises espaciais, salvar e exportar os resultados (Gorelick et al., 2017). As possibilidades que os mecanismos do *Google Earth Engine* oferecem para analisar dados detectados remotamente em escala global com o poder da computação em nuvem do Google são substanciais (Stevens et al., 2014). O processamento e a implementação em um ambiente de nuvem permitem um dimensionamento consistente dos esforços computacionais ao lidar com áreas geográficas amplas (Patel et al., 2015).

O *Google Earth Engine* foi utilizado nesta pesquisa para aplicar os algoritmos de classificação nas imagens Planet, e para fins de comparação dos resultados, nas imagens de acesso gratuito, Sentinel-2.

Outro desafio considerado importante neste trabalho foi o de investigar a acurácia posicional das imagens Planet, uma vez que esta validação não foi identificada na literatura consultada. Para Marcato Junior et al. (2015), a investigação da acurácia posicional é um processo que investiga a qualidade posicional das imagens e corrobora para as suas diversas aplicações.

### **2.3. Materiais e Métodos**

A constelação *PlanetScope* possui uma altitude orbital de 400km da Estação Espacial Internacional, com distância amostral do solo de aproximadamente 3m e imageamento máximo

de 8.100 km<sup>2</sup>. Na órbita síncrona ao Sol, são 475km de altitude, com distância amostral do solo de 3,5 a 4m (GSD de 3,7 m) e imageamento máximo de 20.000 km<sup>2</sup>. As bandas espectrais são o *Blue* (455-515 nm), o *Green* (500-590 nm), o *Red* (590-670 nm) e o NIR (780-860 nm). O tempo de revisita é diário na órbita síncrona ao Sol, com uma capacidade de 340 milhões de km<sup>2</sup> por dia (Planet Team, 2018).

São oferecidas três linhas de produtos para imagens *PlanetScope*: a *Basic Scene*, a *Ortho Scene* e a *Ortho Tile*. Neste trabalho será utilizada a *Ortho Scene*, um produto ortorretificado em projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e Datum horizontal WGS84, que foi processado para remover distorções causadas pelo terreno. São produtos corrigidos radiometricamente e geometricamente. A correção geométrica usa modelos digitais de elevação (DEMs) com um espaçamento entre 30 e 90 metros e pontos de controle de solo (GCPs), derivados de imagens de satélite e aéreas de alta resolução (ALOS de 2,5 m). Experimentos internos realizados em vários locais em todo o mundo indicam que a exatidão posicional normalmente será (80% das vezes) melhor que 7 m (Planet Team, 2018).

A ortorretificação é um processo que remove as distorções do terreno, dividida em 2 etapas: O processo de retificação em que os pontos de ligação são identificados através das imagens de origem e uma coleção de imagens de referência (NAIP, OSM, Landsat, entre outras) e RPC (*Rational Polynomial Coefficients*) são gerados. A segunda etapa consiste na ortorretificação real das cenas usando os RPC, que removem as distorções do terreno. O modelo de terreno usado para o processo é derivado de várias fontes (SRTM, Intermap, entre outros) que são atualizados periodicamente (Planet Team, 2018).

### **2.3.1. Área de estudo**

A área de estudo utilizada para a classificação do uso e cobertura do solo é a Fazenda Escola da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, também denominada Fazenda Jaraguá, localizada no Município de Terenos/MS. A Fazenda Escola UFMS possui uma área de 308,1855 hectares. Para a validação posicional das imagens Planet utilizou-se imagens aéreas de alta resolução da área urbana do Município de Campo Grande/MS.

As imagens Planet avaliadas foram obtidas através da disponibilização gratuita a partir do programa de educação e pesquisa da Planet. Para a validação da acurácia posicional foram usadas imagens da data de 24 de março de 2018. E para a classificação do uso e cobertura do

solo, foram usadas imagens de 23 de fevereiro de 2018. As imagens Sentinel-2 foram adquiridas da mesma data.

### 2.3.2. Classificação das imagens

Julgou-se necessário compor um mosaico com 2 cenas da região da Fazenda Escola UFMS, visto que ao se tratar de imagens de nano-satélites de extensão relativamente curta (26,5 km x 8,5 km), considerou-se que apenas uma imagem seria insuficiente para treinar uma quantidade satisfatória de polígonos para a classificação da imagem. Devido à proximidade da região de estudo com a área urbana, o mosaico ainda foi recortado, aproveitando-se apenas a área rural para o prosseguimento do treinamento da classificação. A imagem Sentinel-2 utilizada teve o recorte da cena com o mesmo tamanho do recorte das cenas Planet.

A escolha das classes para a classificação do uso e cobertura do solo realizada fundamentada na Resolução Estadual SEMAC nº 12 de 17 de julho de 2014, que dispõe sobre as normas técnicas para georreferenciamento de áreas de interesse ambiental e de atividades sujeitas ao licenciamento e regularização ambiental no Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Esta norma faz a especificação da classificação que deve ser utilizada para o uso e cobertura do solo quanto ao Cadastro Ambiental Rural no Estado de Mato Grosso do Sul. As classes utilizadas foram: Área de Remanescente de Vegetação Nativa (classe 103), Benfeitorias (classe 116), Área de Ocupação Agrossilvipastoril, Ecoturismo e Turismo Rural (classes 104 e 106), na mesma categoria também foi incluída a classe de Área de Ocupação por Outras Atividades (classe 105), e área de acumulações de água, onde se enquadram as classes de Área do Reservatório d'água Artificial Decorrente de Barramento ou Represamento de Cursos d'água Naturais (classe 127), Área do Reservatório d'água Artificial Destinado a Geração de Energia ou Abastecimento Público (128) e Área de Lago e Lagoa Natural (classe 126).

Foram criados 70 polígonos para o treinamento dos algoritmos de classificação, todos fora da área da Fazenda Escola. Destes, 21 são polígonos de vegetação nativa, 24 de área de ocupação, 11 de benfeitorias e 14 de acumulações de água.

Todos os algoritmos classificadores do *software Google Earth Engine* foram testados: *Fast Naive Bayes*, *GMO Max Entropy*, *Winnnow*, *Perceptron*, *Pegasos*, *CART*, *Random Forests*, *IKPAmir*, *Voting SVM* e *Margin SVM* (Shelestov et al., 2017). Os melhores valores de exatidão global para esta pesquisa foram atribuídos a *GMO Max Entropy*, *CART* e *Randon Forest*.

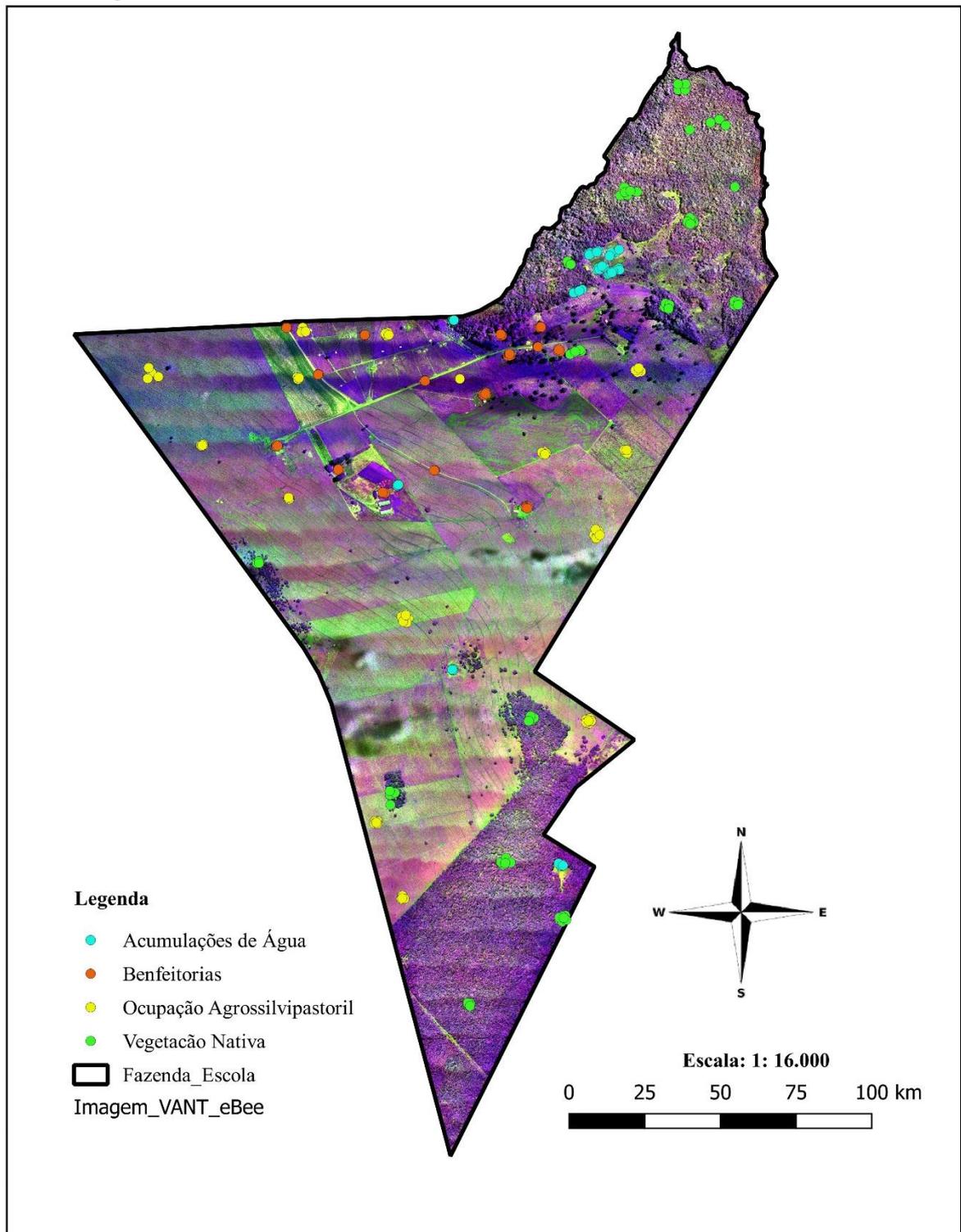
Com a finalidade de comparar a classificação de uso e ocupação do solo das imagens Planet com uma classificação de imagens de disponibilização gratuita, foram realizados os mesmos procedimentos em um recorte de uma cena Sentinel-2. Segundo a ESA (2018), a missão Sentinel-2 compreende uma constelação de dois satélites em órbita polar colocados na mesma órbita, divididos em 180 ° entre si. O principal objetivo desta constelação é monitorar a variabilidade nas condições da superfície terrestre e as mudanças na vegetação dentro da estação de crescimento.

A validação da classificação, tanto da imagem Planet quanto da Sentinel-2 foi realizada utilizando-se ortofotos geradas a partir de VANT (Veículos Aéreos Não-Tripulados) *eBee RTK* (Company SenseFly AS, 2017). Ressalta-se que o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial - RBAC-E nº 94, aborda os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas.

O VANT *eBee RTK* possui envergadura de 96 cm, uma câmera WX RGB (18.2 MP), e as câmeras opcionais G9X, S110 NIR/RE e thermoMAP. O software de planejamento e controle de voo é o *eMotion 3*, e o software de processamento de imagem é o *Pix4Dmapper Pro*. O tempo de voo máximo é de 40 minutos e uma faixa de operação de 8 km<sup>2</sup>. As imagens possuem distância de amostragem do solo de até 1,5 cm (Company SenseFly AS, 2017).

Foram distribuídos 240 pontos de verificação na imagem de VANT dentro da Fazenda Escola. Após a distribuição dos pontos, foi feita a comparação visual destes pontos com as áreas classificadas e foi construída uma matriz de erros. A figura 11 apresenta a distribuição dos pontos nas imagens *eBee*.

**Figura 11** – Pontos Coletados no Mosaico eBee da Fazenda Escola-UFMS



Fonte: Própria autora

### 2.3.3. Validação de acurácia posicional

Foi feita a extração das coordenadas UTM (E e N) de 110 pontos de verificação das imagens Planet, e posteriormente, foram extraídos pontos homólogos nas ortofotos aéreas da área urbana de Campo Grande/MS, com GSD de 10 cm, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal. Ressalta-se que a ordem seguida para a marcação de pontos correspondentes foi essencial a qualidade da medição, posto que alguns pontos que eram satisfatoriamente visíveis nas ortofotos do município de Campo Grande/MS, não tinham uma correspondência satisfatória equivalente nas imagens Planet, devido a diferença de resolução espacial. A partir disso, optou-se por selecionar primeiro os pontos de mais fácil identificação nas imagens Planet, e posteriormente, fazê-lo nas ortofotos aéreas. O *software* utilizado nesta etapa foi o Qgis (versão 2.14.11) (QGIS Development Team, 2017). A Figura 12 ilustra os pontos, distribuídos homogeneamente em um mosaico de quatro cenas da constelação Planet. A Figura 13 apresenta um exemplo de pontos correspondentes nas imagens Planet e nas ortofotos do município de Campo Grande/MS.

**Figura 12** – Pontos de verificação nas imagens Planet



Fonte: Própria autora

**Figura 13** – Exemplo de pontos homólogos nas imagens Planet e nas ortofotos do município de Campo Grande/MS.



Figura 13: Medição de pontos correspondentes no QGIS: (a) Imagem Planet (GSD de 3,7 metros); (b) Ortoimagem aérea (GSD de 10 cm). Fonte: Própria autora.

## 2.4. Resultados e Discussões

### 2.4.1. Classificação e validação da classificação de imagens Planet e Sentinel-2

A classificação das imagens Planet no *software Google Earth Engine* apresentou um valor de exatidão global de 99,98% com o algoritmo *Random Forest*. A Vegetação Nativa (99,97%) apresentou confusão de 0,03% com a Área de Ocupação. As áreas de Benfeitorias (97,34%) resultaram a maior porcentagem de confusão, com 2,66% em relação a Área de Ocupação. As Acumulações de Água e a Área de Ocupação não apresentaram confusão com nenhuma outra área. Ressalta-se que a Área de Ocupação se refere a áreas onde são desenvolvidas atividades como agricultura, pecuária, silvicultura, ecoturismo e turismo rural.

A escolha da classificação das Acumulações de Água, ao invés de recursos hídricos em geral, se deu devido a região da Fazenda Escola apresentar uma variedade de cursos d'água não visíveis na resolução espacial de 3m. A tabela 3 apresenta a matriz de confusão para esta classificação. A figura 14 apresenta a classificação do mosaico Planet e o perímetro da área da Fazenda Escola-UFMS.

**Tabela 3** – Matriz de Confusão do algoritmo *Random Forest* da classificação das imagens Planet.

Overall validity: 99.98%

	# Points	Vegetação Nativa	Área de Ocupação	Benfeitorias	Acumulações de Água
■ Vegetação Nativa	91968	99.97%	0.03%	0%	0%
■ Área de Ocupação	221600	0%	100%	0%	0%
■ Benfeitorias	1276	0%	2.66%	97.34%	0%
■ Acumulações de Água	4040	0%	0%	0%	100%

Fonte: (Google Earth Engine)

Os outros algoritmos que se destacaram pelos melhores resultados de valores de exatidão global têm sua matriz de confusão apresentadas nas tabelas 4 e 5.

**Tabela 4** – Matriz de Confusão do algoritmo *GMO Max Entropy* da classificação das imagens Planet.

Overall validity: 94.17%

	# Points	Vegetação Nativa	Área de Ocupação	Benfeitorias	Acumulações de Água
■ Vegetação Nativa	83802	91.69%	8.31%	0%	0%
■ Área de Ocupação	221600	4.35%	95.65%	0%	0%
■ Benfeitorias	1276	0%	78.61%	16.3%	5.09%
■ Acumulações de Água	4040	0%	10.79%	0%	89.21%

Fonte: (Google Earth Engine)

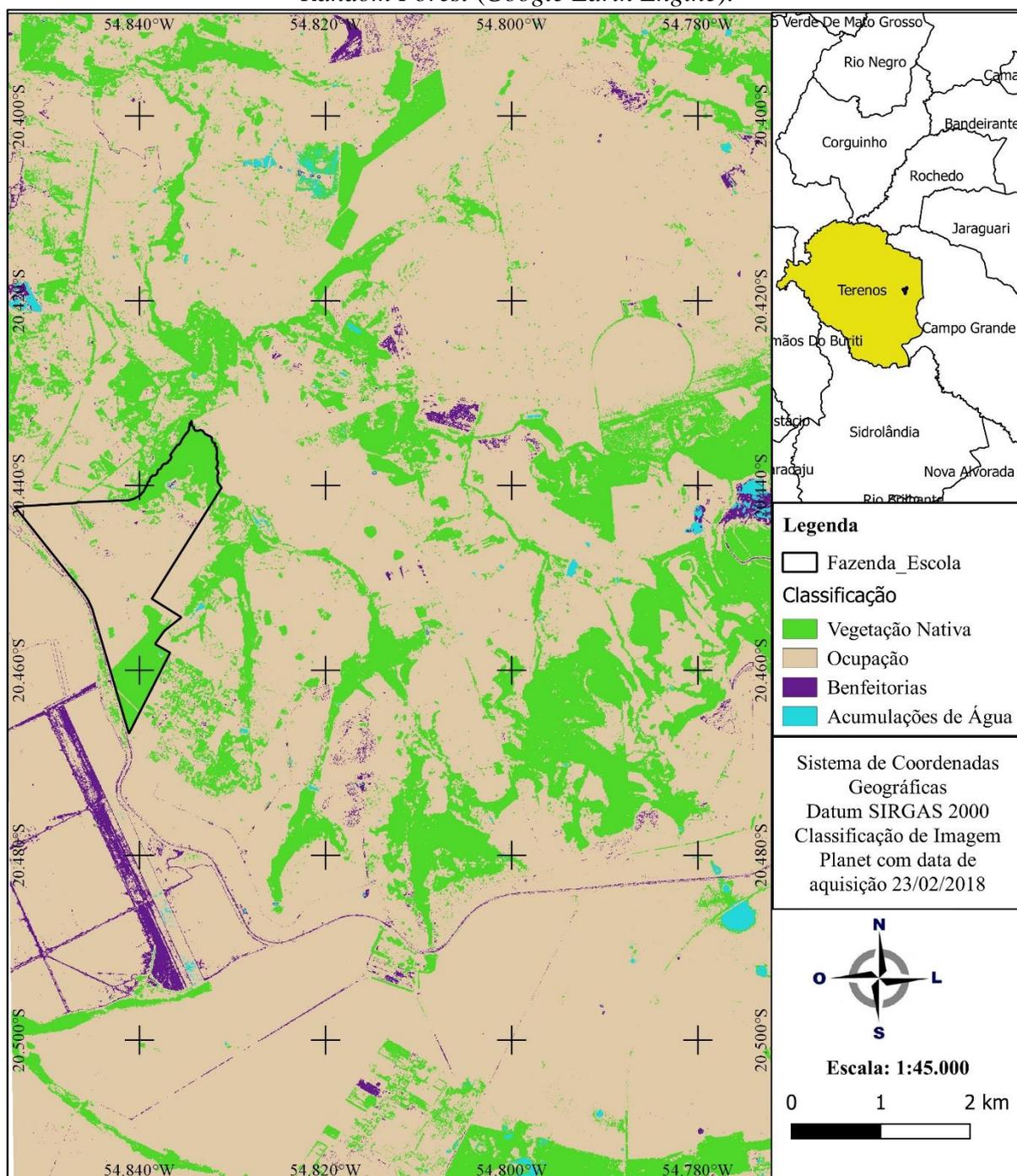
**Tabela 5** – Matriz de Confusão do algoritmo *CART* da classificação das imagens Planet.

Overall validity: 99.93%

	# Points	Vegetação Nativa	Área de Ocupação	Benfeitorias	Acumulações de Água
■ Vegetação Nativa	83802	99.88%	0.12%	0%	0%
■ Área de Ocupação	221600	0%	99.99%	0%	0%
■ Benfeitorias	1276	0%	9.4%	90.6%	0%
■ Acumulações de Água	4040	0%	0%	0%	100%

Fonte: (Google Earth Engine)

**Figura 14** – Classificação do mosaico Planet na região da Fazenda Escola com algoritmo *Random Forest* (Google Earth Engine).



Fonte: Própria autora

A classificação da imagem Sentinel-2 apresentou um valor de exatidão global de 99,97% com o algoritmo *Random Forest*. A Vegetação Nativa (99,97%) apresentou confusão de 0,03% com a Área de Ocupação. As áreas de Benfeitorias (97,46%) resultaram a maior porcentagem de confusão, com 2,54% em relação a Área de Ocupação. A Área de Ocupação (99,99%), apresentou confusão de 0,01% com a Vegetação Nativa. As Acumulações de Água não apresentaram confusão com nenhuma outra área. A tabela 6 apresenta a matriz de confusão para esta classificação e a figura 15 apresenta a classificação da imagem Sentinel-2 e o perímetro da Fazenda Escola-UFMS.

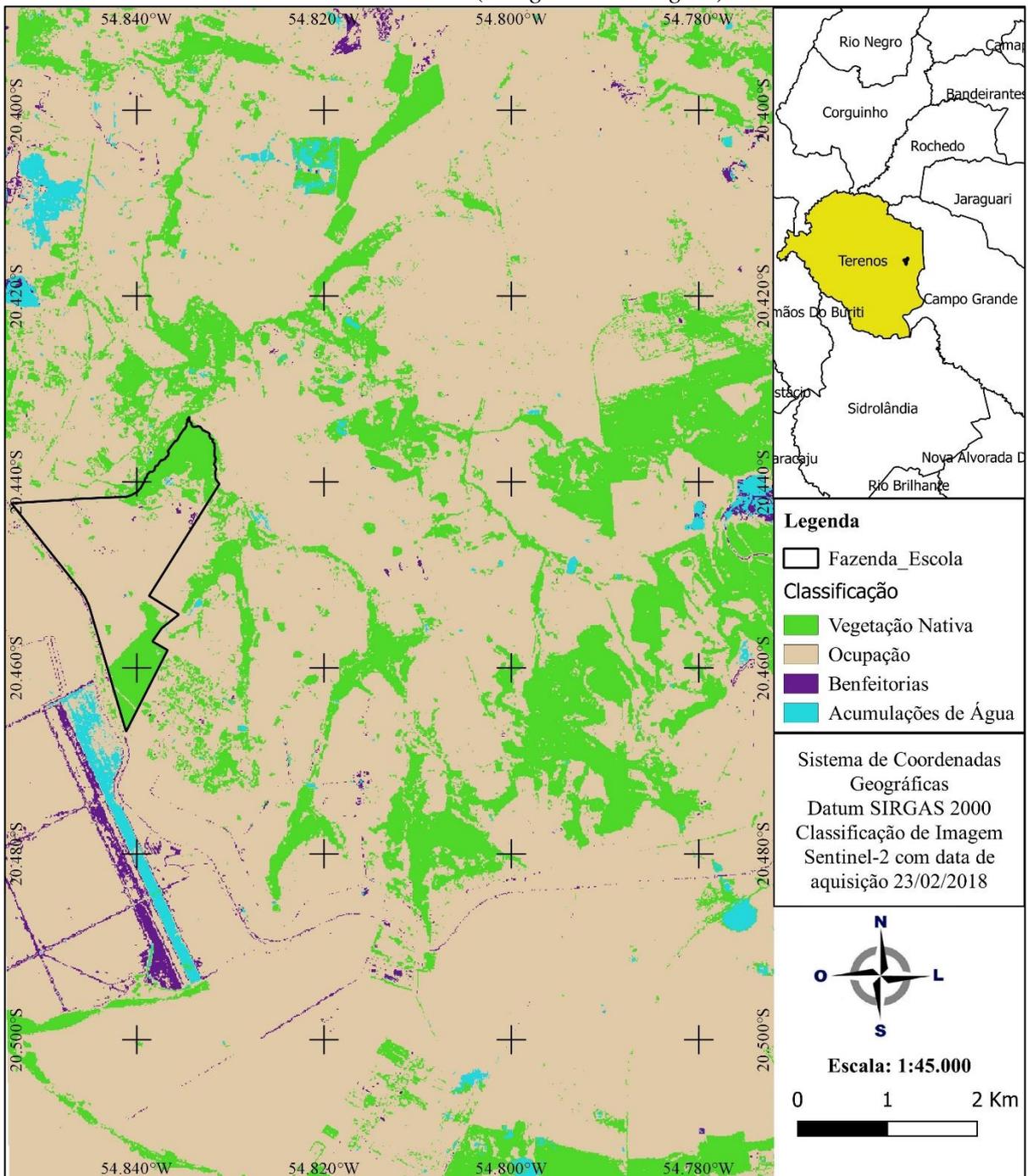
**Tabela 6** – Matriz de Confusão da classificação das imagens Sentinel-2 (*Random Forest*).

Overall validity: 99.97%

	# Points	Vegetação Nativa	Área de Ocupação	Benfeitorias	Acumulações de Água
■ Vegetação Nativa	7426	99.97%	0.03%	0%	0%
■ Área de Ocupação	19920	0.01%	99.99%	0%	0%
■ Benfeitorias	118	0%	2.54%	97.46%	0%
■ Acumulações de Água	357	0%	0%	0%	100%

Fonte: (*Google Earth Engine*)

**Figura 15** – Classificação da imagem Sentinel-2 na região da Fazenda Escola com algoritmo *Random Forest* (Google Earth Engine).



Fonte: Própria autora

Constatou-se que as áreas úmidas da região da Fazenda Escola na cena escolhida são compostas por vegetação nativa rasteira ou arbustiva, por áreas de ocupação agrossilvipastoril e também por vegetação nativa arbórea. Devido a essa diversidade de feições e coberturas, verifica-se aqui uma robusta oportunidade de pesquisa, para investigar os métodos mais adequados de classificação dessas áreas, considerando sua relevância ecológica.

A classificação de acumulações de água é uma ferramenta valiosa na identificação de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, perenes ou intermitentes. Isso contribui para a identificação da necessidade de licenciamento ambiental destes barramentos e da fiscalização.

Para a validação das classificações apresentadas acima foram distribuídos 240 pontos de verificação em uma imagem de VANT da área da Fazenda Escola. É importante evidenciar que para a garantia da validação, ao criar os polígonos de treinamento das imagens, não foram selecionadas áreas dentro do perímetro da Fazenda Escola.

Após a distribuição dos pontos, foi feita a comparação destes com as áreas classificadas, resultando na construção de duas matrizes de confusão apresentadas na tabela 7 para a imagem Planet e na tabela 8 para imagem Sentinel-2.

**Tabela 7** – Validação da classificação das imagens Planet com VANT.

		Dados de Referência			
		Acumulações de Água	Benfeitorias	Ocupação	Vegetação
Comparação	Acumulações de Água	82,5%	0%	0%	0%
	Benfeitorias	5%	66%	0%	0%
	Ocupação	7,5%	22%	100%	0%
	Vegetação	5%	12%	0%	100%

Fonte: própria autora

**Tabela 8** – Validação da classificação da imagem Sentinel-2 com VANT.

		Dados de Referência			
		Acumulações de Água	Benfeitorias	Ocupação	Vegetação
Comparação	Acumulações de Água	90%	0%	0%	0%
	Benfeitorias	0%	60%	6,67%	0%
	Ocupação	7,5%	40%	93,33%	2,67%
	Vegetação	2,5%	0%	0%	97,33%

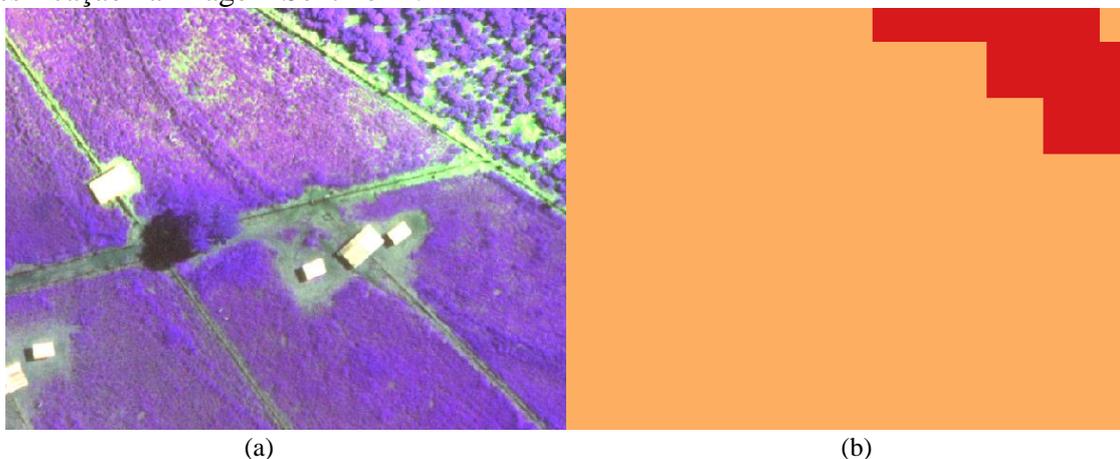
Fonte: própria autora

As principais constatações que podemos ter é sobre a efetividade das imagens Planet (100%) para classificação das áreas de vegetação nativa. Do ponto de vista de importância ambiental, esta é a classe com maior necessidade de identificação e com maior importância ao considerar que é a partir dela que são classificadas as áreas de reserva legal e de preservação permanente. Apesar do desempenho inferior, as imagens Sentinel-2 também apresentaram um bom resultado (97,33%) na validação.

O desempenho das imagens Planet também se destacou na classificação das áreas de ocupação agrossilvipastoril, ecoturismo e turismo rural. Ao criarmos os polígonos de treinamento destas áreas, obedeceu-se às classes do CAR, considerando áreas de pastagem, de agricultura e de silvicultura dentro da mesma categoria, e conseqüentemente dentro dos mesmos polígonos de treinamento. Apesar disso, o resultado para estas áreas nas imagens Planet foi de 100%, isso manifesta a capacidade dos métodos utilizados em classificar áreas não tão homogêneas, mas com respostas espectrais ainda próximas. Para as imagens Sentinel-2, o resultado também foi satisfatório (93,33%).

As áreas de benfeitorias, na classificação Planet, apresentaram uma precisão de 66%, e uma confusão de 22% com área de ocupação e 12% com área de vegetação nativa. Na classificação Sentinel-2, as benfeitorias (60%) mostraram confusão grande com área de ocupação (40%). Foi possível notar que algumas benfeitorias identificadas e marcadas nas imagens de validação não foram classificadas nas imagens Sentinel-2. Supõe-se que isso se deve aos tamanhos pequenos dessas benfeitorias em relação aos pixels desta imagem. A figura 16 apresenta a comparação de uma área de validação de benfeitorias com o resultado de sua classificação na imagem Sentinel-2.

**Figura 16** – Comparação de uma área de validação de benfeitorias com o resultado de sua classificação na imagem Sentinel-2.



(a)

(b)

(a) Imagem Vant; (b) Imagem Sentinel.

Fonte: Própria autora.

Nota-se, tanto na figura 15, quanto na tabela 8, que a imagem Sentinel-2 apresentou melhor resultado para classificação de áreas de acumulações de água, 90%, contra 82,5% das imagens Planet. Além disso, algumas das áreas classificadas como acumulações de água na imagem Sentinel-2 foram analisadas e constatou-se que se tratam de área úmida. Diante destas avaliações destaca-se as imagens Sentinel-2 como mais adequadas para classificações que envolvem espelhos d'água (açudes, tanques, reservatórios e barramentos de cursos d'água).

Foram calculados também o índice Kappa para os dois resultados. Para a validação da classificação das imagens Planet o índice Kappa foi de 86,16%, enquanto para as imagens Sentinel-2 o resultado do índice foi de 82,17%. Ambos resultados, de acordo com Landis & Koch (1977) são considerados muito bons.

A validação de imóveis inscritos no CAR, por parte dos técnicos do órgão ambiental estadual, depende atualmente de uma análise visual do uso e ocupação do solo e das áreas de passivo ambiental. Essa etapa consiste principalmente em validar se as áreas de interesse ambiental estão declaradas corretamente e se o processo de regularização ambiental do imóvel está sendo executado. Destarte, a partir da validação da classificação das imagens Planet utilizando o *Google Earth Engine* feitos nesta pesquisa, será possível pensar uma nova forma de acelerar e aprimorar as técnicas de análise do uso do solo e da cobertura vegetal.

#### **2.4.2. Validação da acurácia posicional das imagens Planet**

Para a validação da acurácia posicional das imagens Planet foram calculadas o RMSE (*Root Mean Square Error* - Raiz quadrada do Erro Quadrático Médio) e a média das discrepâncias usando como referência as coordenadas dos pontos de verificação oriundas das ortofotos aéreas da área urbana de Campo Grande/MS, com GSD de 10 cm, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal.

Foi feita a extração das coordenadas UTM (E e N) de 110 pontos de verificação das imagens Planet, e posteriormente, foram extraídos pontos homólogos nas ortofotos. A Tabela 9 apresenta o RMSE, a média das discrepâncias, e as discrepâncias máximas e mínimas.

**Tabela 9** – RMSE, média das discrepâncias, e discrepâncias máximas e mínimas.

	E	N
Média* (m)	1,03	-0,78
RMSE** (m)	3,36	3,21
Discrepância Máxima (m)	9,09	10,09
Discrepância Mínima (m)	-7,59	-7,90

\*Média das discrepâncias

\*\*RMSE: Raiz quadrada do Erro Quadrático Médio

Ao analisar a Tabela 9 verifica-se que o RMSE em E e N foi em torno de 1 GSD. A resultante planimétrica foi de 4,65 m, ou seja, inferior a 2 GSD. Sendo assim, nesta pesquisa, a exatidão posicional apresentou-se dentro da resultante planimétrica em 90% dos pontos, atendendo ao previsto nas especificações Planet (80% das vezes até 7 m).

## 2.5. Conclusões

Este capítulo mostrou a efetividade das imagens Planet para sua aplicação ao Cadastro Ambiental Rural. Entre as principais contribuições, destaca-se o sucesso da investigação da classificação do uso e cobertura do solo, quanto as classes atualmente definidas pela legislação. A partir do método de treinamento de algoritmos em um *software* em nuvem, obteve-se um resultado de exatidão global de 99,98% e uma validação que resultou em um índice Kappa de 86,16% para imagens Planet e 82,17% para Sentinel-2. Os destaques são para as áreas de vegetação nativa e para as áreas de ocupação, ou seja, duas das mais importantes classes para o CAR.

Outra importante contribuição se deve a definição da resultante planimétrica de 4,65 m, satisfatória quanto as previsões Planet, em 90% dos pontos, informação até então não validada na literatura. Essa contribuição também atende ao objetivo do capítulo, visto que devido aos procedimentos de inscrição e validação dos CARs serem feitos a partir de ferramentas de sensoriamento remoto, é fundamental que se conheça a precisão e acurácia dos dados utilizados.

### 3. Conclusão Geral

Além das principais contribuições apresentadas no capítulo anterior, vale ressaltar o conhecimento da atual situação dos cadastros ambientais rurais declarados no estado de Mato Grosso do Sul. Os benefícios apresentados até aqui, somados, conseqüentemente irão fomentar, tanto o monitoramento do desmatamento, uma das principais funções do CAR, quanto a regularização ambiental das pequenas propriedades rurais e de agricultura familiar. Assim, além de dar segurança ao planejamento, a correta aplicação do sensoriamento remoto poderá fornecer suporte, num contexto regional, para o planejamento da paisagem, formação de corredores ecológicos, reconhecimento de matrizes, criação de unidades de conservação, entre outros.

O CAR, como ferramenta do PRA (Programa de Regularização Ambiental) se apresenta como uma importante ferramenta para diagnosticar a situação da vegetação nativa no Brasil e para convocar os proprietários e posseiros rurais para regularizarem seus passivos ambientais. A partir disso e de um diagnóstico mais preciso e eficiente com a utilização do sensoriamento remoto, enxergamos uma gama de novos gargalos e oportunidades de pesquisa para as etapas de regularização ambiental pós CAR. Alguns exemplos são o monitoramento das áreas de restauração de vegetação nativa em APPs, reservas legais e áreas de uso restrito e identificação de áreas potenciais para instituição de Cotas de Reserva Ambiental a partir da identificação de excedentes de vegetação nativa nos imóveis.

Outro potencial de pesquisa é a identificação de áreas de uso consolidado anteriores a 22 de julho de 2008. A identificação destas áreas por meio de classificação semi-automática tem um potencial para facilitar e acelerar o diagnóstico dos desmatamentos ocorridos até esta data e que influenciam diretamente na largura das APPs a serem recuperadas e na definição dos imóveis que têm anistia da recuperação da reserva legal.

A investigação de metodologias de mapeamento dos cursos d'água também oferece uma ótima oportunidade de pesquisa, pois é a partir dos cursos d'água que se define as APPs. Sendo assim, é essencial que o mapeamento deles seja mais fiel possível à realidade do território.

Além das possibilidades apresentadas acima é impreterível destacar que algumas regiões do território sul matogrossense tenham um olhar especial e metodologias específicas para classificação, como é o caso do Pantanal, também considerado um forte objeto de pesquisa.

A relevância científica desta pesquisa está na definição da resultante planimétrica das imagens Planet, ainda não validadas na literatura consultada e na classificação do uso e

ocupação do solo a partir de um *software* em nuvem, ainda pouco explorado e aberto ao mundo acadêmico. Além disso, este novo e potencial de instrumento de gestão ambiental que é o CAR, explorado nesta dissertação, apresentou-se ainda pouco explorado no meio científico diante de tantas oportunidades de pesquisa.

#### 4. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial - RBAC-E nº 94. Disponível em: [http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf)

ALTAMIRANO, A. *et al.* High rates of forest loss and turnover obscured by classical landscape measures. **Applied Geography**, v. 40, p. 199-211. 2013. ISSN 01436228 (ISSN). Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84876303090&doi=10.1016%2fj.apgeog.2013.03.003&partnerID=40&md5=e0f5aa00fa2854057dac0e498c49886d>.

ALTENA, B. *et al.* Potential and limitations of photometric reconstruction through a flock of dove cubesats. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3/W3, 2017 Frontiers in Spectral imaging and 3D Technologies for Geospatial Solutions**, 25–27 October 2017, Jyväskylä, Finland. 2017. Disponível em <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W3/7/2017/isprs-archives-XLII-3-W3-7-2017.pdf>. Acesso em 12/11/2017.

ALVES, H. Q.; JUNQUEIRA, R. G. P.; BELLEI, F. Geoprocessamento como ferramenta para averiguar o cadastro ambiental rural realizado no estado de Mato Grosso. **Anais do XV SBSR**, p. 4225-4232, 2011.

ASNER, G.; MARTIN, R. E.; MASCARO, J. Coral reef atoll assessment in the South China Sea using Planet Dove satélites. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**. 2017. Disponível em <https://zslpublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rse2.42>. Acesso em 12/01/2018.

BOSHUIZEN, C. R. *et al.* Results from planet labs flock constellation. **28 Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites**. 2014. Disponível em <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3016&context=smallsat>. Acesso em 23/01/2018.

BRASIL. **Decreto federal nº7830, 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 nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. 2012.

BRASIL. **Decreto federal nº8235 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 federal nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. D.O.U. DE 26/12/2006, P. 1. 2006. Disponível em: [http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw\\_Identificacao/lei%2011.428-2006?OpenDocument](http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/lei%2011.428-2006?OpenDocument)

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. CIVIL, C. 2012.

BURKE, M.; LOBELL, D. B. Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. **PNAS.** 2017. Disponível em <<http://www.pnas.org/content/114/9/2189>>. Acesso em 22/02/2018.

CABRAL, A. I. R. *et al.* Spatial dynamics and quantification of deforestation in the central-plateau woodlands of Angola (1990-2009). **Applied Geography**, v. 31, n. 3, p. 1185-1193, 2011. ISSN 01436228 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79956035161&doi=10.1016%2fj.apgeog.2010.09.003&partnerID=40&md5=f8b1c77ce99d90ac567e1b93f2dab195>>. Acesso em 13/08/2017.

Company SenseFly AS. eBee RTK - The survey-grade mapping drone. 2017. Disponível em <<https://www.sensefly.com/drones/ebec-rtk.html>>. Acesso em: 23/05/2018.

COUTURIER, S. *et al.* A model-based performance test for forest classifiers on remote-sensing imagery. **For Ecol Manage.** 2009; 257(1):23-37.

CRISP, N. H.; SMITH, K.; HOLLINGSWORTH, P. Launch and deployment of distributed small satellite systems. **Acta Astronautica**, v. 114, n. Supplement C, p. 65-78, 2015/09/01/2015. ISSN 0094-5765. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457651500171X>>. Acesso em: 20/10/2018.

DASH, J.; OGUTU, B. O. Recent advances in space-borne optical remote sensing systems for monitoring global terrestrial ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 40, n. 2, p. 322-351, 2016. ISSN 03091333 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84964053683&doi=10.1177%2f0309133316639403&partnerID=40&md5=fd55ab3f21673555569d10ec569be4d4>>. Acesso em 15/12/2017.

ESA. Sentinel-2. **ESA - Sentinel Online**, 2018. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 22/01/2018.

ESPER, J. *et al.* Nano/micro satellite constellations for earth and space science. **Acta Astronautica**, v. 52, n. 9-12, p. 785-791, 2003. ISSN 00945765 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0038239876&doi=10.1016%2fS0094-5765%2803%2900054-7&partnerID=40&md5=8680fafc3210d81f560d28e690fef00a>>. Acesso em: 03/12/2017.

ESPER, J. *et al.* NASA-GSFC Nano-satellite technology for Earth Science missions. **Exeter, United Kingdom**, v. 46, n. 2, p. 287-296, 2000. ISSN 00945765 (ISSN). Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0033886707&doi=10.1016%2fS0094-5765%2899%2900214-3&partnerID=40&md5=2530153aab8c0465a3e3c3760432a5f4>>. Acesso em: 20/12/2017.

FARINACI, J. S.; FERREIRA, L. C.; BATISTELLA, M. Transição florestal e modernização ecológica: a eucaliptocultura para além do bem e do mal. **Ambiente & Sociedade**, 16(2), 25-46, 2013.

GAO, F. *et al.* On the Blending of the Landsat and MODIS Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance. **Geoscience And Remote Sensing**. 2006. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1661809/?part=1>>. Acesso em 29/03/2018.

GORELICK, N., *et al.* Google Earth Engine: análise geoespacial de escala planetária para todos. **Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente**. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>>. Acesso em 29/03/2018.

HOU Borg, R.; MCCABE, M. High-resolution ndvi from planet's constellation of earth observing nano-satellites: a new data source for precision agriculture. **Remote Sensing**. 2016. Disponível em <<http://www.mdpi.com/2072-4292/8/9/768/html>>. Acesso em 08/11/2017.

IBGE, **Censo agropecuário**. ISSN 0103-6157, Rio de Janeiro, p.1-267, 2006. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro\\_2006\\_agricultura\\_familiar.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf). Acesso em: 15/04/2017.

IMASUL. Diretoria de Licenciamento Ambiental. **Relatório**. Campo Grande. 2018. Relatório.

INCRA. **SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO RURAL**. DF 2016. Disponível em <[http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/estat-sticas-de-im-veis-rurais-/cadastro\\_imoveis\\_rurais\\_ms\\_geral\\_pub\\_e\\_priv.pdf](http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/estat-sticas-de-im-veis-rurais-/cadastro_imoveis_rurais_ms_geral_pub_e_priv.pdf)>. Acesso em 05/05/2017.

INPE. **Câmeras Imageadoras CBERS-3 e 4. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. 2018. Disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers3-4.php> >. Acesso em: 11/01/2018.

INPE. **DETER. Sistema DETER - Deteção de Desmatamento em Tempo Real**. 2018. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/deter> >. Acesso em: 08/01/2018.

INPE. **PRODES. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. 2018. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> >. Acesso em: 14/05/2018.

INPE. **Projeto CONASAT - Estudo de uma Missão Espacial para Coleta de Dados Ambientais baseada em Nano Satélites. Constelação de Nano Satélites Ambientais – CONASAT**. 2018. Disponível em: < <http://www.crn2.inpe.br/conasat1/projconasat.php> >. Acesso em: 06/02/2018.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 19/05/2017.

JAIN, M., *et al.* Mapping cropping intensity of smallholder farms: a comparison of methods using multiple sensors. **Remote Sensing of Environment**. 2013. Disponível em

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425713000783>>. Acesso em 13/11/2017.

JUNG, S. et al. Brazil's national environmental registry of rural properties: implications for livelihoods. **Ecological Economics**. v 136, June 2017, Pages 53-61. Disponível em <<https://www-sciencedirect.ez51.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0921800916308758?via%3Dihub>>. Acesso em: 14/11/2018.

Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. International Biometric Society. P. 159-174, 1977. Disponível em <[https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis\\_jr\\_koch\\_gg\\_1977\\_kappa\\_and\\_observer\\_agreement.pdf](https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis_jr_koch_gg_1977_kappa_and_observer_agreement.pdf)>. Acesso em: 22/05/2018.

LAUDARES, S. S. A.; DA SILVA, K. G.; BORGES, L. A. C. Cadastro ambiental rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 31, 2014. ISSN 2176-9109.

MALINGREAU, J. P. Orbital remote sensing. Space technology applications in South-east Asia. **Space Policy**, v. 1, n. 1, p. 62-75, 1985. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-3042714410&doi=10.1016%2f0265-9646%2885%2990045-1&partnerID=40&md5=c90da97554a40296cab281226a2d04bf>>. Acesso em: 25/01/2018.

MARCATO JUNIOR, J. *et al.* Avaliação da qualidade geométrica de ortoimagens RapidEye disponibilizadas pelo GeoCatálogo do MMA. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em <[http://www.infoteca.inf.br/sbsr/smarty/templates/arquivos\\_template/upload\\_arquivos/acervo/docs/p1054.pdf](http://www.infoteca.inf.br/sbsr/smarty/templates/arquivos_template/upload_arquivos/acervo/docs/p1054.pdf)>. Acesso em 13/02/2018.

MATO GROSSO DO SUL. **Decreto estadual nº 13.977, de 5 de junho de 2014**. Publicado no Diário Oficial nº 8.691, de 6 de junho de 2014, páginas 4 a 10. Republicado no Diário Oficial nº 8.707, de 3 de julho de 2014, páginas 6 a 13.

MATO GROSSO DO SUL. **Decreto estadual nº 14.273, de 8 de outubro de 2015**. Dispõe sobre a Área de Uso Restrito da planície inundável do Pantanal, no Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Ano XXXVII N. 9.022. Campo Grande-MS, sexta-feira, 9 de Outubro de 2015, 41 Páginas.

MATO GROSSO DO SUL. **Resolução estadual semac nº 12 de 17 de julho de 2014**. Publicado no Diário Oficial nº 8.719, de 21 de julho de 2014, páginas 17 a 19.

MCCABE, M. *et al.* (2017). Cubesats in hydrology: ultrahigh-resolution insights into vegetation dynamics and terrestrial evaporation. **Agu Water Resources Research**. Disponível em <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017WR022240>>. Acesso em 22/12/2017.

MEIRELES, M. R. G.; CENDÓN, B. V. Aplicação prática dos processos de análise de conteúdo e de análise de citações em artigos relacionados às redes neurais artificiais. *Inf. Inf.*, Londrina, v. 15, n. 2, p. 77 - 93, jul./dez. 2010, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Ambiental Rural**. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-rural/cadastro-ambiental-rural>. Acesso em: 15/05/2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto CAR-FIP no Cerrado**. 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-rural/cadastro-ambiental-rural/projeto-de-regulariza%C3%A7%C3%A3o-ambiental-de-im%C3%B3veis-rurais-no-cerrado-car-fip>. Acesso em: 15/05/2017.

NETO, F. D. F. *et al.* Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por vant utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 23, no1, p.134 - 149, jan - mar, 2017. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-21702017000100134&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702017000100134&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 13/11/2018.

PANTOJA, M. A. L. *et al.* Uso de SIGs para análise de informações do cadastro ambiental rural no município de Igarapé-Açu. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. INPE. João Pessoa, PB, Brasil 2015.

PATEL, N. N., *et al.* Multi-temporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 35: 199–208. 2015. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414001998>>. Acesso em 22/04/2018.

PLANET TEAM. **Planet application program interface: In Space for life on earth**. San Francisco, CA. 2018.

QGIS Development Team. 2017. **QGIS 2.14.11 Essen**. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em < <https://www.qgis.org>>.

SANTOS, J. P. D. F. **O Cadastro Ambiental Rural como nova etapa do planejamento territorial ambiental brasileiro**. In: COIMBRA, I. D. U. D. (Ed.). *Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica*, 2015.

SAVIAN, M. *et al.* Cadastro ambiental rural: experiências e potencialidades para a gestão agroambiental. **IPEA**, Brasília, p. 105-124, 2014.

SCHMIDT, M. A. R. *et al.* Evaluation of the performance of image classification methods in the identification of vegetation. **J Urban Environ Eng**. 2016;10(1):62-71.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Departamento SiCAR. **Boletim Informativo – agosto de 2018**. Brasília/DF. 2018. Relatório. Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/boletins-do-car/3808-boletim-informativo-agosto-de-2018/file>>. Acesso em: 25/10/2018.

SHELESTOV, A., *et al.* Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. **Frontiers in Earth Science**. 2017. Disponível em <<https://geog.umd.edu/sites/geog.umd.edu/files/pubs/feart-05-00017-compressed.pdf>> Acesso em 19/05/2018.

STEINER, J. F. *et al.* Brief communication: The Khurdopin glacier surge revisited – extreme flow velocities and formation of a dammed lake in 2017. **The Cryosphere**. 2017. Disponível em <<https://www.the-cryosphere.net/12/95/2018/tc-12-95-2018.pdf>>. Acesso em 11/11/2017.

STEVENS, F. R. *et al.* Disaggregating Census Data for Population Mapping Using Random Forests with Remotely-Sensed and Ancillary Data. **PLOSOne**. 2014. Disponível em <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0107042>>. Acesso em 22/03/2018.

TUPIASSU, L.; GROS-DESORMAUX, J. R.; CRUZ, G. A. C. Regularização Fundiária e Política Ambiental: Incongruências do Cadastro Ambiental Rural no Estado do Pará. **Rev. Bras. Polít. Públicas** (Online), Brasília, v. 7, n° 2, 2017 p. 187-202. Disponível em <>. Acesso em: 15/11/2018.

ZANARDO, F. H. *et al.* Geotechnology application for data acquisition for agricultural and environmental management of the municipality of Vitoria Brazil-SP. **Eng Agric**. 2016;36(4):684-95.