



ANÁLISE DO PROCESSO DE REGENERAÇÃO E DESMATAMENTO DA MATA ATLÂNTICA NO MUNICÍPIO DE CAMPO MOURÃO – PR DE ARAUJO, Agnes Silva¹; DA SILVA, Ítalo Roberto Lourenço²

RESUMO

Compreender a dinâmica do ganho e perda de Mata Atlântica é imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas que visem preservar e conservar os ecossistemas e a biodiversidade. Para analisar as dinâmicas florestais mais recentes, os efeitos das ferramentas legais de proteção da Mata Atlântica e das transformações políticas recentes, dados primários sobre a vegetação nativa e cobertura da terra são essenciais. O objetivo deste artigo é analisar de forma quantitativa se o processo de desmatamento se mantém progressivo ou se há a incidência de regeneração do bioma Mata Atlântica entre 2018 e 2021 no município de Campo Mourão - PR. Para tanto, dados de Sensoriamento Remoto do Sentinel 2A foram utilizados e classificados utilizando o algoritmo Random Forest no Google Earth Engine. Os resultados da classificação foram avaliados a partir do índice kappa. Os resultados demonstram que a região de Campo Mourão está passando por uma transição florestal de perda líquida para ganho líquido na cobertura arbórea nativa (aumento de 18,64 km²). No entanto, a vegetação encontra-se mais fragmentada e isolada. Ademais, apontamos que o rejuvenescimento da cobertura vegetal nativa pode não significar ganhos qualitativos em termos de biodiversidade.

Palavras-chave: Mata Atlântica; Dinâmica florestal; Google Earth Engine; Sentinel 2A.

ANALYSIS OF THE REGENERATION AND DEFORESTATION PROCESS OF THE ATLANTIC FOREST IN THE MUNICIPALITY OF CAMPO MOURÃO - PR

ABSTRACT

Understanding the dynamics of the Atlantic Forest is essential for developing public policies that aim at preserving and conserving ecosystems and biodiversity. To analyze the most recent forest dynamics, the effects of legal tools to protect the Atlantic Forest and recent political transformations, primary data on native vegetation and land cover are essential. The aim of this paper is to analyze, quantitatively, if the deforestation process remains progressive or if there is an incidence of regeneration of the Atlantic Forest biome between 2018 and 2021 in the municipality of Campo Mourão - PR. Sentinel 2A imagery data were used and classified using the Random Forest algorithm in Google Earth Engine. The classification results were evaluated using the kappa index. The results demonstrate that the Campo Mourão is undergoing a forest transition from net loss to net gain in native tree cover (increase of 18.64 km²). However, the vegetation is more fragmented and isolated. Furthermore, we point out that the rejuvenation of the native vegetation cover may not mean qualitative gains in terms of biodiversity.

Keywords: Atlantic Forest; Forest Dynamics; Google Earth Engine; Sentinel 2A.

¹ Bacharel em Geografia pela FFLCH-USP, Profa. Dr^a da Pós-Graduação em Gestão Urbana da PUCPR. E-mail: agnes.araujo@pucpr.br. Registro ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1449-8984>.

² Bacharel em Geografia pela UNESPAR – Campus de Campo Mourão. E-mail: italooroberto@gmail.com. Registro ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4627-9292>.

1. INTRODUÇÃO

Compreender a dinâmica do ganho e perda de Mata Atlântica é imprescindível para o desenvolvimento de políticas públicas que visem preservar e conservar os ecossistemas e a biodiversidade. O processo de degradação da vegetação nativa ocorre predominantemente por pressão das atividades agrosilvopastoris (CURTIS et al., 2018).

No Estado do Paraná, assim como em outras regiões do Brasil, a partir da década de 1970, com advento da mecanização da agricultura e o fomento às práticas para produção agrícola em larga escala, além de alterar as características paisagísticas, acentuaram o processo de desmatamento e fragmentação de áreas florestadas (DIAS, 2015). Para Santiago (2015, p. 07), “O bioma Mata Atlântica é considerado um *hotspot* para a conservação da fauna e flora, pois é uma das áreas mais ricas em biodiversidade e também um dos biomas mais ameaçados de extinção”.

O bioma Mata Atlântica está distribuído na costa atlântica do Brasil, abrangendo aproximadamente 15% do território brasileiro e distribuído em 17 estados brasileiros. No Paraná, o Bioma Mata Atlântica ocupava uma área de 19,9 milhões de hectares, cobrindo 99% do Estado. Hoje, os remanescentes florestais do bioma ocupam aproximadamente 11,7% do território paranaense, o que se refere a uma área de 2,3 milhões de hectares (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE 2019).

Para minimizar essa tendência e suas consequências negativas, políticas de restauração, conservação e preservação têm sido implementadas, especialmente, após a década de 1960 com a implementação do Código Florestal. As áreas protegidas em Unidades de Conservação (UC), Reservas Legais (RL), Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), procuram salvaguardar os recursos naturais, de modo que, quanto maior forem essas unidades, maiores serão os hectares de mata preservada. Outrossim, essas áreas procuram promover a conexão entre os fragmentos de mata, constituindo corredores ecológicos, potencializando o fluxo de genes necessários à manutenção da biodiversidade (MACIEL, 2007).

Como resultado destas políticas, mais recentemente, muitas regiões estão agora passando por uma transição florestal (mudanças de perda líquida para ganho líquido na cobertura arbórea) (NANI et al., 2019). Estas jovens florestas secundárias, em terras agrícolas marginais, podem ocultar processos de decadência em termos de qualidade dos serviços ecossistêmicos e desmatamento de florestas mais antigas (BRANCALION et al., 2017; ROSA et al., 2021).

Para analisar as dinâmicas mais recentes, os efeitos das ferramentas legais de proteção da Mata Atlântica e das transformações políticas recentes, dados provenientes de Sensoriamento Remoto são imprescindíveis, fornecendo dados primários sobre a vegetação nativa e cobertura da terra. Ainda, sua

integração em Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite realizar análises espaciais e estimar ganhos e perdas florestais.

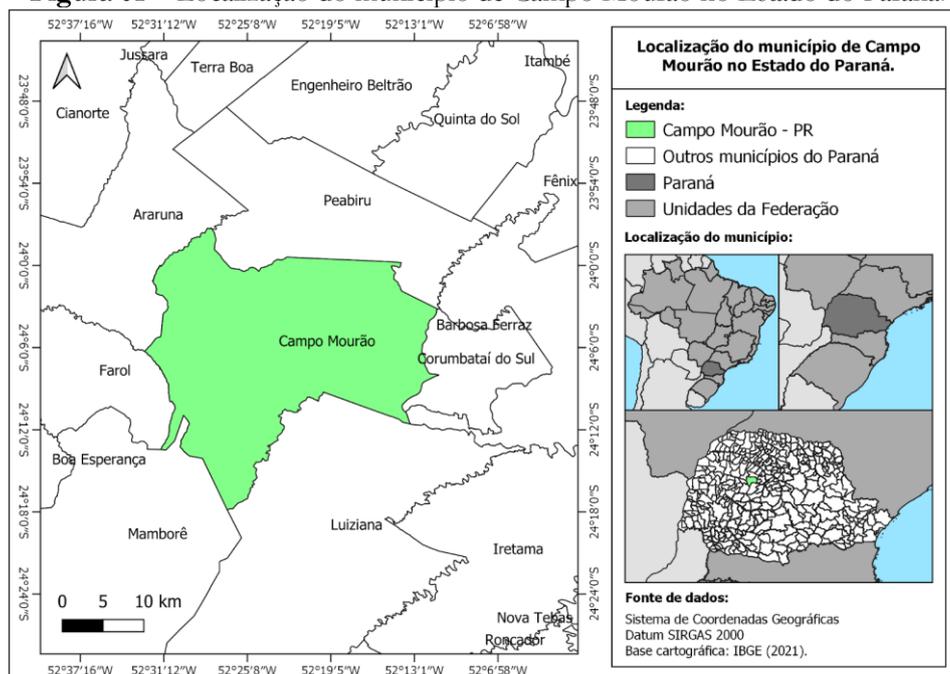
Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar de forma quantitativa se o processo de desmatamento se mantém progressivo ou se há a incidência de regeneração do bioma Mata Atlântica entre 2018-2021 no município de Campo Mourão - PR.

Este artigo está organizado da seguinte forma: as próximas seções apresentam caracterizações da área de estudo, seguido de um detalhamento metodológico e finalmente, apresenta os resultados e a discussão.

2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Campo Mourão – PR (Figura 1), está situado na Mesorregião Centro Ocidental Paranaense, sob as coordenadas geográficas 24°02'28" S e 52°22'52" W, localizado no Terceiro Planalto Paranaense (Planalto de Guarapuava), ocupando uma área territorial de 749,637 km² (quilômetros quadrados), com população estimada em 96.102 habitantes (IBGE, 2021).

Figura 01 - Localização do município de Campo Mourão no Estado do Paraná.



Fonte: Os autores (2022).

Parte significativa da paisagem dos municípios da Mesorregião Centro-Ocidental Paranaense é caracterizada pelo predomínio de áreas cultivadas. A região no entorno do Parque Estadual Lago Azul,

em Campo Mourão, por exemplo, é intensamente utilizada para práticas agropecuárias. Na região de Campo Mourão predominam os cultivos de soja e milho (IAT, 2005). Os aspectos físicos da região como tipo de solo, condições climáticas e a topografia do terreno contribuem para a mecanização da agricultura e altos índices de área colhida (COLAVITE et al., 2018). Para Dias (2015), um dos principais motivos para a supressão da vegetação nativa é a pressão das atividades agrícolas.

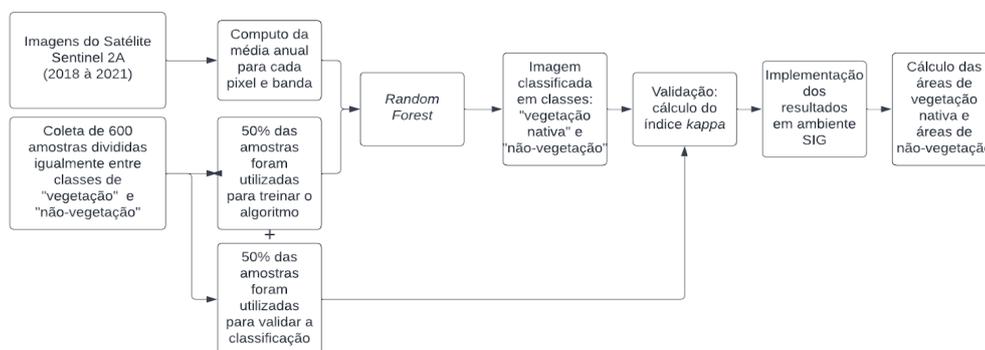
No que se refere às coberturas vegetais nativas presentes nos municípios da Mesorregião Centro Ocidental Paranaense, são constituídas pelos domínios fitogeográficos das tipologias Florestal Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Cerrado, de modo que o município de Campo Mourão, situa-se sob uma zona de transição, isto é, um ecótono (IAT, 1989). Apesar de estar situado sob uma zona de transição, de acordo com o IBGE (2021), o bioma predominante do município de Campo Mourão é a Mata Atlântica, com área de aproximadamente 5.409,51 hectares, representando um percentual de 7,14% da vegetação original. Em Campo Mourão, a formação florestal fica restrita a poucos fragmentos, sendo o mais significativo o que compõem o Parque Estadual do Lago Azul (MASSOQUIM, 2010).

Apesar de se concentrar em um estudo de caso, acredita-se que Campo Mourão é município representativo da Mesorregião Centro Ocidental Paranaense e que as dinâmicas florestais observadas podem ser extrapoladas.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo pode ser representada pelo fluxograma da figura 02.

Figura 02 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Os autores (2022).

Para identificar a dinâmica florestal, considerando o recorte temporal de 2018-2021, no município de Campo Mourão, utilizou-se de classificação supervisionada a partir de imagens dos satélites *Sentinel 2A* com 10m de resolução espacial nas bandas do RGB e NIR. Tanto as imagens do *Sentinel 2A* como o processo de coleta de amostras e classificação supervisionada foram realizadas na plataforma de processamento em nuvem: *Google Earth Engine*. Para esta pesquisa, foram selecionadas imagens com menos de 3% de cobertura de nuvens na área de estudo para cada um dos anos analisados. E para cada pixel, foi computada uma média anual para que áreas agrícolas sazonais não fossem classificadas como “vegetação nativa”.

Um total de 600 pontos de amostras foram coletados na região de Campo Mourão, sendo 300 de vegetação nativa e 300 de outros tipos de uso e cobertura (não-vegetação). Metade das amostras foram utilizadas para treinar o algoritmo *Random Forest* para a classificação da área de estudo em duas classes: “vegetação nativa” e “não-vegetação”.

O algoritmo *Random Forest* foi proposto por Breiman (2001) e utiliza o *machine learning* para a classificação de imagens de satélite. Seu funcionamento dar-se-á em etapas, a princípio, seleciona aleatoriamente as amostras de um conjunto de dados. Em seguida, constrói uma árvore de decisões para cada amostra, obtendo também, a predição de cada árvore. Executando a votação para cada previsto, por fim, o algoritmo seleciona o resultado da predição mais votada como resultado final (BREIMAN, 2011).

O restante das amostras foi utilizado para validar a classificação supervisionada. Para tanto utilizou-se o índice *kappa*. O índice *kappa* mede o grau de concordância entre dois conjuntos de dados e determina a acurácia das análises (FITZGERALD; LEES, 1994). Diversas pesquisas utilizam o índice para validar os resultados de classificações de uso e cobertura da terra através de técnicas de Sensoriamento Remoto (ver ARAUJO et al., 2020; ARAUJO; QUEIROZ, 2018, BELGIU et al., 2014, FRANCISCO; ALMEIDA, 2013, PAL, 2007, PINHO, 2006, FITZGERALD; LEES, 1994). O índice é computado através da equação (1):

$$k = \frac{P_o - P_i}{1 - P_i} \quad (1)$$

Onde:

P_o é a proporção de concordância total das classificações,

P_i é a soma das probabilidades independentes.

A interpretação do índice segue as orientações de Landis e Koch (1977, p. 165), conforme Quadro 1:

Quadro 01 - Interpretação dos valores do índice *kappa*

Valores de kappa	Interpretação
< 0	Sem concordância
0 – 0,19	Pouca concordância
0,2 – 0,39	Concordância razoável
0,4 – 0,59	Concordância média
0,6 – 0,79	Concordância considerável
0,8 – 1,0	Concordância excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, p. 165)

Devidamente validados, os resultados foram implementados em ambiente SIG para elaboração de mapa síntese e cômputo das áreas de supressão e regeneração florestal. Na próxima seção, os resultados serão apresentados e discutidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de *kappa* para cada uma das classificações são apresentados a seguir no Quadro 02:

Quadro 02 - Índice *kappa* das classificações supervisionadas.

Data da imagem Sentinel 2A	Valor de kappa
2018	0,95
2019	0,99
2020	0,99
2021	0,97

Fonte: Os autores (2022).

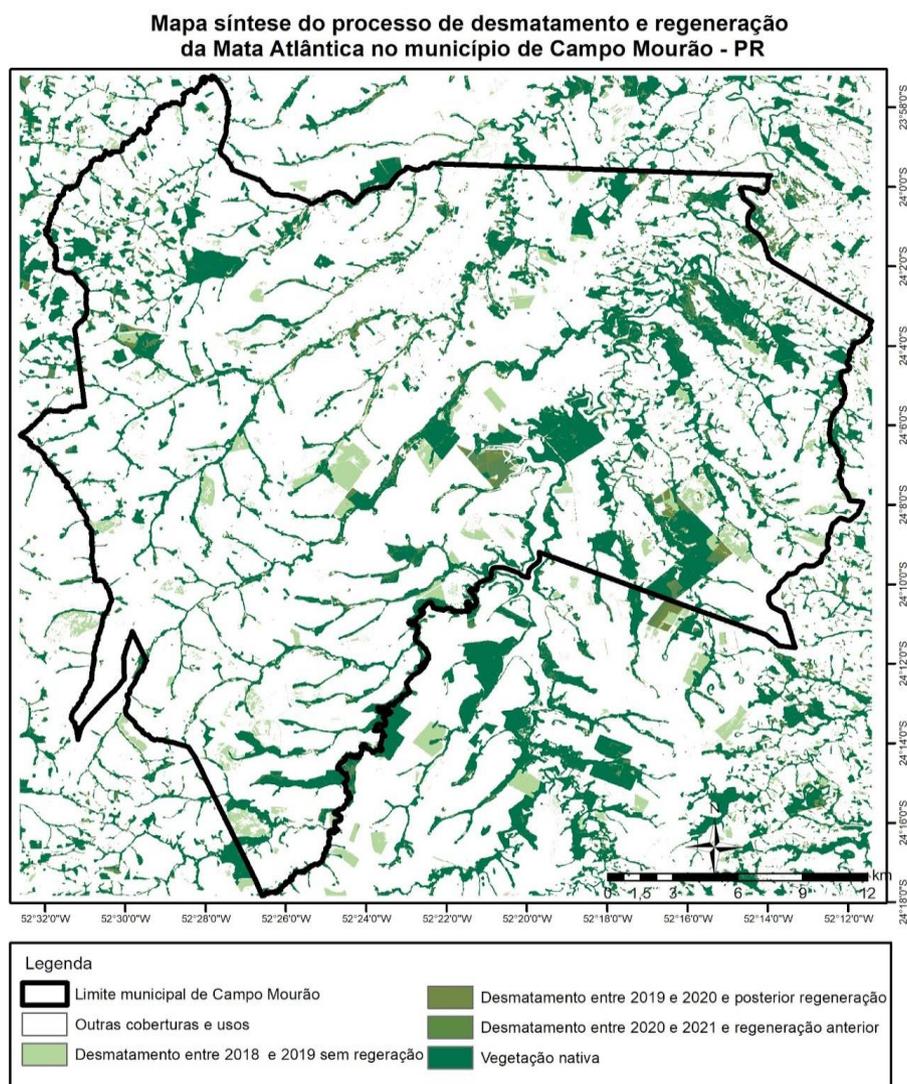
Seguindo as orientações de interpretação de Landis e Koch (1997), nota-se que todas as classificações apresentaram classificações com excelente concordância. Do ponto de vista qualitativo, as classificações apresentaram pouca confusão. Acredita-se que o processo do cômputo da média dos pixels foi fundamental para a redução da confusão entre as classes de vegetação nativa e outros tipos de uso como pastagens e área de cultivo agrícola.

Apesar dos altos valores de concordância, o *kappa* penaliza as probabilidades de concordância aleatória (HSU; FIELD, 2003), que no caso de uma classificação com apenas duas classes é de 50%. Mesmo com uma alta porcentagem de penalização, as classificações possuem excelente concordância. Esse aspecto interessante nos permite refletir, primeiramente, sobre a proposta de interpretação de

Landis e Koch (1997) que embora seja amplamente adotada para interpretar resultados provenientes de Sensoriamento Remoto, possui uma defasagem tecnológica de 25 anos. Araujo et al., (2020), aponta que uma revisão seria interessante e necessária para atender os novos métodos de classificação de Sensoriamento Remoto. Outros pesquisadores como Pontius Jr. e Millones (2011) apontam que existe uma necessidade de desenvolvimento de outros índices para avaliação de acurácia de dados provenientes de Sensoriamento Remoto.

Não obstante, os resultados foram utilizados para as etapas seguintes da pesquisa. Implementados em SIG, elaborou-se um mapa síntese dos resultados no período que é apresentado na Figura 03.

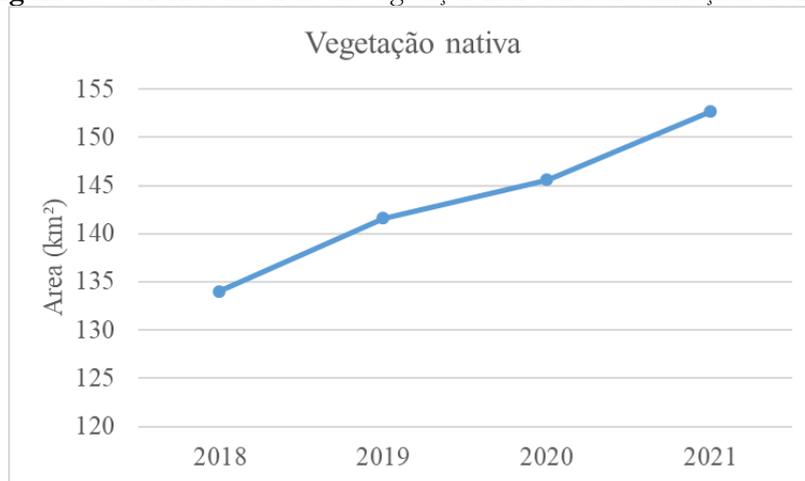
Figura 03 - Mapa síntese do processo de regeneração florestal e desmatamento entre 2018 e 2021.



Fonte: Os autores (2022).

A partir da classificação, realizou-se o cálculo da área de vegetação nativa, com a finalidade de inferir a perda e o ganho de vegetação entre os anos de 2018-2021. A Figura 04, a seguir, mostra o aumento exponencial no ganho de vegetação nativa no período. Observa-se que no período, a vegetação no município de Campo Mourão aumentou em 18,64 km² (Quadro 03).

Figura 04 - Gráfico das áreas de vegetação nativa nas classificações de 2018 a 2021.



Fonte: Os autores (2022).

Quadro 03 - Quantificação do aumento e perda das áreas de vegetação nativa e não-vegetação no período de 2018 a 2021 (em km²).

Classe	2018	2019	2020	2021
Vegetação nativa	134,03	141,59	145,58	152,67
Outros usos e coberturas	612,22	604,77	600,78	593,68

Fonte: Os autores (2022).

As Figuras 3 e 4 demonstram que áreas significativas de vegetação nativa foram desmatadas no período de 2018 e 2019 e não foram regeneradas até o ano de 2021 (verde claro). Observa-se que nestas localidades a vegetação nativa dá espaço à agricultura no período. É notável, também, que a vegetação nativa das áreas de proteção permanente de rios e nascentes, desmatada ou degradada entre 2018 e 2019, foram regeneradas até 2021 (tons de verde musgo). Estes fragmentos de vegetação secundária fizeram com que as áreas de vegetação nativa no período aumentassem significativamente. Nota-se, também, a regeneração de fragmentos de reservas legais e áreas de declividade acentuada. Estes fatos indicam que o Código Florestal pode ter contribuído para o processo de regeneração da vegetação nativa ou minimização do desmatamento nessas localidades.

Assim como observado por Nani et al., (2019) em outras regiões, nota-se que Campo Mourão está passando por uma transição florestal (mudanças de perda líquida para ganho líquido na cobertura

arbórea). E apesar desta regeneração significar uma melhora qualitativa nos corredores ecológicos representados pelas APPs de rios, não significa que este processo de ganho líquido de cobertura promova um aumento na qualidade dos serviços ecossistêmicos, uma vez que pode significar o oposto e mascarar o desmatamento de florestas mais antigas (BRANCALION et al., 2017; ROSA et al., 2021). Nota-se, ainda, processos de fragmentação da vegetação nativa que fica restrita às RLs e APPs. Apesar de não terem sido computadas métricas, os fragmentos de vegetação nativa aparentam estar isolados no período.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação de imagens de Sensoriamento Remoto, utilizando o algoritmo *Random Forest* apresentou resultados com excelente concordância, conforme Landis e Koch (1997), a partir do cômputo do índice *kappa* e permitiu caracterizar, mensurar e espacializar as áreas de vegetação nativa e outras coberturas e usos no período de 2018 a 2021. Acredita-se que a resolução espacial das imagens *Sentinel 2A*, de 10m, são mais adequadas para análises no nível municipal. No entanto, restringe a análise da dinâmica florestal a um curto período recente.

Os resultados obtidos apontam que o processo de ganho florestal líquido de florestas nativas pode ocultar processos de rejuvenescimento e perda qualitativa dos serviços ecossistêmicos (BRANCALION et al., 2017; ROSA et al., 2021). O município de Campo Mourão - PR está passando por estes processos de ganho líquido de floresta nativa no período mais recente de 2018-2021. Nota-se, ainda, processos de fragmentação da vegetação nativa que fica restrita às RLs e APPs, o que nos leva a acreditar que o Código Florestal é o elemento minimizador do desmatamento da vegetação nativa.

6. REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. S.; PEREIRA, B., SILVA, I. L., QUEIROZ FILHO, A. P. Análise comparativa dos parâmetros de segmentação e regras de classificação das vias pavimentadas de Marília/SP. **Caderno de Geografia**, v.30, n.60, p. 112-127, 2020.

ARAUJO, A. S.; QUEIROZ, A. P. Spatial Characterization and Mapping of Gated Communities. **International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 7, p. 1-22, 2018.

BELGIU, M.; DRĂGUT, L.; STROBL, J. Quantitative evaluation of variations in rule-based classifications of land cover in urban neighbourhoods using WorldView-2 imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 87, p. 205-215, 2014.

BRANCALION, P. H. S.; CHAZDON, R. L. Beyond hectares: four principles to guide reforestation in the context of tropical forest and landscape restoration. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 4, p. 491-496, 2017.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.

COLAVITE, A. P.; MASSOQUIM, N.G. ; GONCALVES, M. T. C. Paisagem e produção agrícola regional: uma análise a partir de mapas temáticos da Mesorregião Centro Ocidental Paranaense, Sul do Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 14, p. 135-158, 2018.

CURTIS, P. G., SLAY, C. M., HARRIS, N. L.; TYUKAVINA, A.; HANSEN, M. C. Classifying drivers of global forest loss. **Science**, n.361, vol. 6407, p.1108-1111, 2018.

DIAS, R. **Instrumentos Econômicos de Proteção da Cobertura Florestal e o ICMS Ecológico em Campo Mourão: Interfaces, contribuições e limites.** Tese. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2015, 222 p.

FITZGERALD, R. W.; LEES, B. G. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, n. 3, p. 362-368, 1994.

FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. Avaliação de desempenho de atributos estatísticos e texturais em uma classificação de cobertura da terra baseada em objeto. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v. 18, n. 2, p.302-326, 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2018-2019 – Relatório Técnico.** Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/2020_Atlas_Mata_Atlantica_20182019_relatorio_tecnico_final.pdf>. Acesso em: ago. 2021.

HSU, L. M.; FIELD, R. Interrater agreement measures: Comments on Kappan, Cohen's Kappa, Scott's π , and Aickin's α . **Understanding Statistics**, v. 2, n. 3, p. 205-219, 2003.

INSTITUTO DE ÁGUAS E TERRA DO PARANÁ (IAT). **Plano de Manejo do Parque Estadual do Lago Azul.** 2005. Disponível em: . Acesso em ago. 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades: Campo Mourão. **Brasília: IBGE**, 2021.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

MACIEL, B. A. **Mosaicos de Unidades de Conservação: uma estratégia de conservação para a Mata Atlântica.** 182 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MASSOQUIM, N. G. **Clima e paisagem na mesorregião centro ocidental paranaense.** 398p. 2010. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NANNI, A. S., SLOAN, S., AIDE, T. M., GRAESSER, J., EDWARDS, D., & GRAU, H. R. The neotropical reforestation hotspots: A biophysical and socioeconomic typology of contemporary forest expansion. **Global environmental change**, n.54, 148-159, 2019.

PAL, M. Random forest classifier for Remote Sensing classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 1, p. 217-222, 2007.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos.** 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

PONTIUS JR, R. G.; MILLONES, Marco. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 15, p. 4407-4429, 2011.

ROSA, M. R. et al. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science advances**, v. 7, n. 4, p. eabc4547, 2021.