



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS CURITIBANOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS E NATURAIS

Deiverson Ariel da Silva

Algoritmo para corrigir a sobreposição entre polígonos no Cadastro Ambiental Rural: estudo  
de caso na Microrregião de Joaçaba, SC

Curitibanos

2020

Deiverson Ariel da Silva

Algoritmo para corrigir a sobreposição entre polígonos no Cadastro Ambiental Rural: estudo de caso na Microrregião de Joaçaba, SC

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Ecossistemas Agrícolas e Naturais  
Orientador: Prof. Alexandre ten Caten, Dr.

Curitiba

2020

### Ficha de identificação da obra

da Silva, Deiverson Ariel      Algoritmo para corrigir a sobreposição entre polígonos no Cadastro Ambiental Rural: estudo de caso na Microrregião de Joaçaba, SC / Deiverson Ariel da Silva ; orientador, Alexandre ten Caten, 2020.

66 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Curitibanos, 2020.

Inclui referências.

1. Ecossistemas Agrícolas e Naturais. 2. Fragmentação. 3. FRAGSTATS. 4. Linguagem R. 5. Algoritmo. I. ten Caten, Alexandre. II. Universidade Federal de Santa Catarina.

Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. III. Título.

DEIVERSON ARIEL DA SILVA  
**ALGORITMO PARA CORRIGIR A SOBREPOSIÇÃO ENTRE POLÍGONOS NO  
CADASTRO AMBIENTAL RURAL: ESTUDO DE CASO NA MICRORREGIÃO DE  
JOAÇABA, SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Alexandre ten Caten, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre Siminski, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Eduardo Marques Martins, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Alexandre ten Caten, Dr.  
Orientador

Curitibanos, 2020.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me proporcionar o dom de aprender e abrir as oportunidades que sempre precisei.

À minha esposa Evelyn, que sempre me incentivou, orientou e me ajudou em todos os momentos difíceis pelos quais passei neste período, mesmo com o nascimento dos nossos filhos, me animou e motivou a concluir o mestrado. Você é sem dúvida a pessoa mais sábia e inteligente que conheço e será sempre minha inspiração.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexandre ten Caten, que me acolheu depois de dez anos longe da universidade e dividiu seu imenso conhecimento comigo. Agradeço pela sua confiança durante esses dois anos.

A todos os colegas do Laboratório de Geomática.

À Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais.

À CAPES pela bolsa de mestrado.

A todos que mesmo indiretamente fizeram parte desta caminhada.

## RESUMO

A fragmentação dos ambientes naturais é uma questão crítica que envolve grandes desafios para a conservação da biodiversidade. Informações sobre áreas sensíveis à fragmentação e sobre os motivos pelos quais ela acontece são essenciais para o planejamento de conservação. Este trabalho teve como objetivos, realizar a correção dos erros de sobreposições das propriedades rurais do CAR e desenvolver um estudo de caso analisando a relação entre o padrão espacial dos imóveis rurais e a fragmentação da paisagem na Microrregião de Joaçaba, utilizando os dados corrigidos do CAR. Na correção dos dados foi utilizada a ferramenta *v.clean* do GRASS e também o algoritmo desenvolvido na linguagem R, específico para este objetivo, sendo neste caso utilizadas as propriedades rurais cadastradas no SIGEF como controle na correção. O *software* FRAGSTATS foi utilizado para gerar as métricas de fragmentação da paisagem que foram utilizadas nos testes de correlação. Dentre os métodos de correção, o algoritmo destacou-se, sendo eficaz, principalmente quando utilizado dados do SIGEF como controle, pois aumentou o nível de detalhamento das propriedades do CAR vizinhas às propriedades do SIGEF, reduziu consideravelmente o número de sobreposições entre as propriedades rurais. A ferramenta de correção *v.clean* se mostrou menos eficiente pois fragmenta excessivamente as propriedades rurais e altera consideravelmente o tamanho médio das propriedades. O estudo apresentou uma correlação positiva entre o tamanho médio das propriedades e a fragmentação da paisagem, em todas as classes de cobertura da terra. As áreas amostradas classificadas como pequenas propriedades apresentaram maior fragmentação do que a área classificada como propriedades médias de acordo com o SIGEF. O presente resultado apoia a hipótese de que é possível corrigir as sobreposições das propriedades rurais do CAR, melhorando a qualidade dos dados para análises estatísticas. O caso de uso mostra que existe correlação positiva entre o tamanho médio das propriedades rurais e o índice de fragmentação da paisagem na área de estudo.

**Palavras-chave:** Fragmentação, FRAGSTATS, Linguagem R.

## ABSTRACT

The fragmentation of natural environments is a critical issue that involves major challenges for the conservation of biodiversity. Information on areas sensitive to fragmentation and the reasons why it occurs is essential for conservation planning. This study aimed to correct the overlapping errors of Rural Environmental Registry (CAR in Portuguese acronym) rural properties and develop a case study analyzing the relationship between the spatial pattern of rural properties and the fragmentation of the landscape in the Joaçaba Microregion, using the corrected data from the CAR. In the correction of the data, the GRASS v.clean tool was used and also the algorithm developed in the R language, specific to this objective, in which case the rural properties registered in INCRA were used as control in the correction. The FRAGSTATS software was used to generate the landscape fragmentation metrics that were used in the correlation tests. Among the correction methods, the algorithm stood out, being effective, especially when using INCRA data as a control, as it increased the level of detail of the CAR properties adjacent to the INCRA properties, considerably reduced the number of overlaps between rural properties. The v.clean correction tool proved to be less efficient as it excessively fragmented rural properties and considerably changed the average size of the properties. The study showed a positive correlation between the average size of the properties and the fragmentation of the landscape, in all classes of land cover. The sampled areas classified as small properties showed greater fragmentation than the area classified as medium properties according to INCRA. The present result supports the hypothesis that it is possible to correct the overlapping of CAR rural properties, improving the quality of the data for statistical analysis. The use case shows that there is a positive correlation between the average size of rural properties and the landscape fragmentation index in the study area.

**Keywords:** Fragmentation, FRAGSTATS, R Language.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Polígonos de imóveis rurais registrados em bancos de dados públicos: A) Imóveis do CAR e suas sobreposições de limites das propriedades, indicados pelas setas vermelhas; .....	21
Figura 2: Área de estudo. A) Estado de Santa Catarina com Microrregiões. B) Microrregião de Joaçaba e seus municípios. ....	23
Figura 3: Fluxograma da metodologia empregada neste estudo. Os números indicam a seção em que o tema é abordado. ....	24
Figura 4: A) Imagem da classificação de cobertura da terra referente a área de estudo, no formato raster. B) Detalhamento do mapa.....	25
Figura 5: Fluxograma de execução do algoritmo de correção dos erros de sobreposição da base de dados do CAR.....	27
Figura 6: Relação de vizinhos mais próximos para as propriedades do município de Água Doce. ....	29
Figura 7: Círculos com 12 km de raio da amostragem realizada na área de estudo.....	30
Figura 8: Código R que sorteia aleatoriamente números de um intervalo específico. Em rosa está a linha de comando inserida, ela define o intervalo e a quantidade de números a serem gerados. Números na cor branca foram gerados aleatoriamente. ....	31
Figura 9: Arquivos gerados para a área de estudo 1. A) Mapa de cobertura da terra, B) Propriedades rurais do CAR que fazem parte da área analisada. ....	31
Figura 10: A) Mapa anamórfico da Microrregião de Joaçaba por tempo de processamento dos municípios. B) Mapa original da Microrregião de Joaçaba.....	37
Figura 11: Comparativo do resultado das diferentes técnicas de correção. A) Declaração dos imóveis do SIGEF, B) Declaração dos imóveis do CAR, C) Correção com a ferramenta v.clean, D) Correção com algoritmo sem polígonos de controle, E) Correção com algoritmo e polígonos de controle do SIGEF. ....	42
Figura 12: Áreas de floresta declaradas no CAR e mapeadas pelo MapBiomias. A) Mapeamento de florestas na região de estudo e B) Detalhamento das áreas declaradas. ....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Variáveis de entrada utilizadas pelo algoritmo. ....	26
Quadro 2: Métricas utilizadas na análise estatística. ....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos tipos de correlação. ....	34
Tabela 2: Tempo de processamento dos municípios. ....	35
Tabela 3: Dados dos imóveis rurais do CAR nas áreas de estudo.....	37
Tabela 4: Dados dos imóveis rurais após a correção com o <i>v.clean</i> no software GRASS.....	39
Tabela 5: Dados dos imóveis rurais após a correção com algoritmo e polígonos do CAR.....	39
Tabela 6: Dados dos imóveis rurais após a correção com algoritmo e polígonos do SIGEF...	39
Tabela 7: Informações da correção realizada pelo algoritmo para cada município. ....	40
Tabela 8: Sobreposição dos imóveis do CAR e do SIGEF. ....	41
Tabela 9: Cobertura da terra de cada classes temática nas áreas amostradas e de estudo. ....	44
Tabela 10: Índice NP para cada classe temática nas áreas amostradas e de estudo. ....	44
Tabela 11: Índice PD das classes temáticas ds áreas amostradas e de estudos. ....	44
Tabela 12: Índice ED das classes temáticas ds áreas amostradas e de estudos. ....	45
Tabela 13: Correlação entre área média das propriedades e os índices PD, NP e ED. ....	48
Tabela 14: Correlação entre a quantidade de propriedades e os índices PD, NP e ED. ....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPOL - break polygons

CAR - Cadastro Ambiental Rural

ED - *Edge Density*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

MDA - Ministério de Desenvolvimento Agrário

NP - *Patch Number*

PD - Patch Density

PLAND - Percentage of Landscape

PRUNE - remove vertices in threshold from lines and boundaries

RMDUPL - remove duplicate geometry features

RMDAC - remove duplicate area centroids

RMAREA - remove small areas

RMLINE - remove all lines or boundaries of zero length

RMSA - remove small angles between lines at nodes

RMBRIDGE - remove bridges connecting area and island or 2 islands

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SIGEF - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

SINIMA - Sistema Nacional de Informação sobre o Meio Ambiente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Apresentação .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>17</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	17
2.2	Hipótese .....	22
2.3	OBJETIVOS .....	22
<b>2.3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>22</b>
2.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	23
<b>2.4.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Download</i> dos arquivos.....</b>	<b>24</b>
2.4.2.1	<i>Cadastro Ambiental Rural.....</i>	24
2.4.2.2	<i>SIGEF .....</i>	24
2.4.2.3	<i>MapBiomias.....</i>	24
2.4.2.4	<i>IBGE .....</i>	25
<b>2.4.3</b>	<b>Correção dos erros de sobreposição da base de dados do CAR.....</b>	<b>25</b>
2.4.3.1	<i>Correção de sobreposição de polígonos utilizando o conjunto de ferramentas v.clean</i>	26
2.4.3.2	<i>Correção utilizando algoritmo na linguagem R com polígonos de controle .....</i>	26
2.4.3.3	<i>Correção sem utilização de polígonos de controle .....</i>	29
2.5	Análise dos padrões espaciais.....	30
<b>2.5.1</b>	<b>Determinação das áreas amostradas.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Sobreposição dos imóveis do CAR e do SIGEF .....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Comparação entre declaração do CAR e informações do MapBiomias.....</b>	<b>34</b>
2.6	Resultados e Discussão.....	35
<b>2.6.1</b>	<b>Desenvolvimento do algoritmo .....</b>	<b>35</b>

2.6.2	Cadastro Ambiental Rural.....	37
2.6.3	Correções.....	38
2.6.4	Análise da cobertura da terra.....	43
2.6.5	Análise estatística.....	48
2.7	Conclusões.....	50
3	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A – Histogramas das áreas das propriedades rurais.....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE B - Resultados dos testes de normalidade das métricas da paisagem executados na linguagem R.....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE C – Resultado dos testes de correlação de pearson.....</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE D – Código do script de correção na linguagem R.....</b>	<b>66</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

A superfície da terra está em constante transformação, não apenas por sua dinâmica natural, mas também devido às ações antrópicas. No Antropoceno sabemos agora que as ações antrópicas são as maiores causadoras de mudanças na cobertura da terra, devido, principalmente, às técnicas de cultivo agrícolas que visam suprir a demanda de consumo de alimentos pela população humana e animal. Tal necessidade tem motivado a demanda por mais áreas para o plantio, e ambientes naturais tem sido convertido em áreas de cultivo, o que tem modificado a cobertura da terra. O aumento é outro fator que causa mudanças na cobertura da terra, devido à demanda por novos espaços habitacionais o que converte áreas naturais em áreas urbanizadas. Portanto, as interações humanas tem fragmentado a paisagem, o que gera impactos negativos à biodiversidade e impulsiona mudanças climáticas regionais e globais.

Todas as alterações citadas acima devem ser monitoradas, a fim de que haja uma análise mais completa das dinâmicas espaciais e temporais relacionadas ao uso e cobertura da terra. Assim, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi compreender melhor como as ações humanas podem alterar a paisagem, e quais relações existem entre essas ações e as mudanças na cobertura da terra.

O CAR foi criado em 2012, durante a reformulação do Código Florestal e é um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais. A motivação para criação do CAR foi a construção de uma base de dados estratégica para o controle, monitoramento e combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa do Brasil. O CAR possui diversas informações úteis aos órgãos ambientais tais como perímetro do imóvel, áreas de preservação permanente, reserva legal, áreas de uso restrito, remanescente de vegetação nativa, áreas de interesse social e localização das nascentes.

Este banco de dados de acesso público possui informações essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, porém, o registro no CAR não exige precisão na sua declaração. A flexibilidade na declaração possibilitou a geração de uma série de problemas a respeito das divisas das propriedades, sobreposições, lacunas e traçados inválidos. No Brasil existe sobreposições de imóveis rurais equivalente a 50% do território nacional (SPAROVEK *et al.*, 2019). Dos cadastros realizados, conforme dados divulgados em maio de 2017, havia 4,2 milhões de imóveis no CAR, cuja área é superior a 100% da área do território nacional (DE OLIVEIRA; BRUGNARA, 2018). Além disso, existem sobreposições de imóveis rurais em terra indígenas e parques nacionais (FREITAS *et al.*, 2018).

Nesse contexto, outra motivação para este estudo foi desenvolver um algoritmo com capacidade de corrigir as sobreposições entre as propriedades cadastradas no CAR. Em um segundo passo, para melhorar ainda mais o nível de detalhamento dos dados corrigidos, decidiu-se utilizar os dados dos imóveis rurais cadastrados no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) que fazem parte do Banco de Dados do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). O SIGEF foi criado com o objetivo de manter o cadastro nacional de imóveis rurais e administrar as terras públicas da União, portanto, os registros de imóveis rurais constantes no banco de dados do SIGEF são mais confiáveis que os do CAR, por serem gerados por técnicos agrimensores.

Minha motivação pessoal como profissional da área de Tecnologia da Informação foi aliar o conhecimento tecnológico à pesquisa científica na área ecológica. Junto ao PPGEAN eu consegui confirmar que existe uma esfera de atuação muito ampla na minha área de formação e a possibilidade de adquirir conhecimentos em áreas afins, como em geoprocessamento. Foi possível então, aliar os conhecimentos em desenvolvimento de sistemas para a proposta de desenvolver um algoritmo de correção das sobreposições dos dados do CAR e com isso gerar uma contribuição para o programa de pós graduação. Tenho a perspectiva de que o trabalho aqui desenvolvido poderá ser útil em demais pesquisas e servirá também como uma porta para o ingresso em um programa de doutorado.

Esta dissertação foi desenvolvida no formato de um artigo, contém uma introdução, na qual serão descritos cobertura da terra e mapas de cobertura da terra, imóveis rurais e sua relação com a fragmentação da paisagem, o CAR e suas limitações e a necessidade de correção da sobreposição de dados. Na parte de Material e Métodos será descrito o desenvolvimento do algoritmo de correção e como foi feita a correlação entre os dados corrigidos e os índices de fragmentação da paisagem. Os resultados foram descritos juntamente com a discussão onde se fez uma análise dos diferentes métodos de correção da sobreposição dos dados do CAR e a correlação das propriedades rurais com a fragmentação da paisagem. Finalmente, o artigo traz as conclusões e considerações finais onde colocamos uma perspectiva de utilização deste estudo em trabalhos futuros, bem como suas limitações e dificuldades.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 INTRODUÇÃO

Desde que os seres humanos estão presentes na Terra, eles têm alterado o cenário global, proporcionando mudanças históricas no uso da terra, principalmente a conversão de ecossistemas em outras formas de uso da terra (KLEIN GOLDEWIJK *et al.*, 2011). A mudança antropogênica da cobertura da terra é indiscutivelmente o principal motor da futura perda de biodiversidade, interrupção dos serviços ecossistêmicos espécies exóticas e poluição da terra e da água (ARMESTO *et al.*, 2010). Os autores DOWNS e PIÉGAY, (2019) sugerem que houve uma grande aceleração no antropoceno em relação às mudanças em sistemas fluviais, que estão agora em configurações morfologicamente novas, coincidindo temporalmente com dramáticos declínios recentes na biodiversidade aquática de água doce global. Para entender melhor a relação entre as mudanças na superfície da terra e processos como o desmatamento e a urbanização, é preciso entender como ocorrem as alterações na cobertura da terra ao longo do tempo e no espaço (SERTEL *et al.*, 2018). Além de fornecer as informações necessárias para o reconhecimento da estrutura da paisagem, da organização espacial dos elementos que compõem a paisagem e da análise das pressões socioeconômicas atuais, a evolução da cobertura terra possibilita a compreensão da intensidade das mudanças e o período em que elas ocorreram; permite ainda a compreensão de suas estruturas no passado e, além disso, torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais (DA SILVA SEABRA *et al.*, 2013).

A cobertura da terra é definida por aspectos físicos e de uso pelos seres humanos. A combinação desses aspectos pode fornecer uma base para estudos ecológicos e sociais, como modelos ambientais, estudos climáticos, hidrológicos e planejamento da paisagem. As paisagens geralmente retratam um mosaico de diferentes fragmentos e são caracterizadas pela estrutura, composição e configuração espacial dos mesmos, o que permite gerar métricas. As métricas da paisagem são índices desenvolvidos para caracterizar propriedades geométricas e espaciais e permitem a análise quantitativa de paisagens; podem ser utilizadas para prever mudanças na cobertura da terra (JUNG, 2016). Nesse contexto, o avanço tecnológico recente nas áreas de Sensoriamento Remoto e Ciência da Computação, tem permitido a proposição crescente de novas abordagens.

Entre as novas ferramentas o projeto MapBiomias tem se destacado. O seu objetivo visa contribuir com o entendimento da dinâmica da cobertura da terra no Brasil e fornece um mapa de biomas classificado de acordo com as macro classes: pastagens, agricultura, plantio

florestal, zona costeira, mineração e infraestrutura urbana. Apresenta ainda alto nível de acurácia (entre 65% e 95%) e grande resolução espacial e temporal (MAPBIOMAS, 2019). Tais mapas de cobertura da terra foram baseados no *Landsat Data Archive*, que constitui o registro mais longo de dados de observação do planeta com resolução espacial média em escala global (HANSEN, LOVELAND, 2012) disponível na plataforma *Google Earth Engine* (GORELICK, NOEL AND HANCHER, MATT AND DIXON, MIKE AND ILYUSHCHENKO, SIMON AND THAU, DAVID AND MOORE, 2017), abrange os anos de 1985 até os dias atuais (MAPBIOMAS, 2019).

Projetos de classificação de cobertura da terra como o MapBiomas têm sido amplamente empregados em modelagem de uso e cobertura da terra, e em pesquisas de mudanças climáticas (GANEM et al., 2019). Em estudo realizado por METZGER et al., (2019) abordou a importância das reservas legais para os biomas, os autores utilizaram os mapas de cobertura da terra do MapBiomas para estimar quanto de vegetação nativa em área protegida em cada bioma poderia ser perdida se houvessem mudanças nas leis de proteção ambiental, (tornando-as mais brandas): na Amazonia, estimou-se a perda de 61% da vegetação nativa; na Caatinga, 3%; no Cerrado, 13%; na Mata Atlântica, 23%; no Pampa, 18%; e no Pantanal, 7%. O referido estudo computou a perda de 37% de vegetação nativa para todo o território Brasileiro. Estudos onde se utiliza mapas de cobertura da terra vinculados a outros fatores que favorecem a fragmentação são importantes para entender melhor a dinâmica das mudanças na paisagem.

De acordo com ANTONA et al. (2006), em estudo realizado na Amazônia, compararam índices de paisagem e aplicaram testes de correlação com o tamanho das propriedades. As alterações na cobertura da terra foram diretamente relacionadas ao tamanho das propriedades rurais. Os autores verificaram que propriedades menores do que 10 ha possuem uma média de 1,72 ha de área agricultável, enquanto possuem em média 1 ha de pastagem; propriedades com mais de 100 ha possuem em média 9 ha de área agricultável e 15,67 ha de pastagens. Essa diferença corresponde à predominância de rebanhos maiores em propriedades maiores. GODAR et al., (2012) afirmam que pequenas propriedades têm maior percentual de desmatamento em suas áreas do que as grandes propriedades, porém, os médios e grandes proprietários rurais foram responsáveis por 75% do total da área desmatada até 2007 na região da floresta amazônica, com o percentual de 28,1% e as pequenas propriedades com um total de 23,2%.

Segundo WILKINS et al., (2003) os autores afirmam que existe correlação positiva entre tamanho da propriedade, uso da terra e características da paisagem, ao estabelecer testes de correlação entre as categorias de cobertura da terra e o tamanho das propriedades rurais nos Estados Unidos. No referido estudo foi verificado que: i) Nas áreas que permanecem em grandes fazendas (mais de 809 ha, é mais provável que as terras permaneçam como pastagens nativas; ii) Em áreas de propriedades de médio porte (202 a 809 ha), as áreas de cultivo têm maior probabilidade de permanecer como área de cultivo; iii) Em áreas fragmentadas em fazendas menores (menos de 202 ha), é mais provável que as terras sejam convertidas em pastagens melhoradas não nativas. Em estudo similar KJELLAND et al., (2007) os autores concluíram que propriedades rurais no estado americano do Texas, as quais foram partilhadas por herança, diminuíram a produção agrícola. Em propriedades menores que 202 ha foi reduzida em 61% e nas propriedades menores que 40 ha foi reduzida em 75%. Portanto, para que seja possível analisar essa dinâmica de mudanças na cobertura da terra é preciso analisar a relação com o tamanho das propriedades.

Ao estudar a estrutura da paisagem com vistas a análise da cobertura da terra, programas de análise de fragmentação são essenciais. Existem inúmeros programas de fragmentação que requerem diferentes tipos de mapas de cobertura da terra e produzem muitas métricas de fragmentação diferentes (ex: MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, 2012; MACLEAN; CONGALTON, 2013), porém, o *software* FRAGSTATS é o programa de fragmentação mais conhecido e amplamente utilizado (MACLEAN; CONGALTON, 2015). De acordo com ZATELLI et al., (2019) 61,5% dos artigos citam o FRAGSTATS como *software* para a avaliação de métricas da paisagem, além de ter vantagens na sua forma de implementação e estimativas (LAMINE *et al.*, 2018). O FRAGSTATS gera estimativas da área central dos fragmentos, índices de proximidade ou isolamento dos fragmentos, além de outras métricas. A utilização do FRAGSTATS é útil para análise de padrões espaciais bem como para quantificar a estrutura de paisagens (MCGARIGAL, 2015). Tais dados podem ser associados a dados de informações geográficas das propriedades rurais para estabelecer correlações entre a paisagem e o tamanho das propriedades (ANTONA; VANWEY; HAYASHI, 2006). Dados públicos a respeito de propriedades rurais estão disponíveis em órgãos governamentais e suas informações podem ser acessadas e utilizadas para este fim.

Durante as últimas décadas o Brasil tem unificado seus sistemas de informação e disponibilizado os dados contidos em bases de dados de acesso público, esse acesso fornece informações importantes para o conhecimento científico. A publicação da Lei 10.267, de 28-08-2001, alterou o paradigma do cadastro rural brasileiro, pois essa lei, conhecida como "Lei

do Georreferenciamento", criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais, que unifica, em uma base comum, diferentes cadastros presentes em vários órgãos governamentais, como do INCRA, da Secretaria da Receita Federal, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e da Fundação Nacional do Índio (ROSALEN, 2014). Após a publicação dessa lei, os limites dos imóveis rurais devem ser georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, o que levou a uma padronização dos procedimentos de levantamentos de dados de acordo com a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, publicada pelo INCRA. Com o novo padrão de georreferenciamento, possibilitou-se a criação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) público de acesso gratuito via Internet.

O SIGEF foi desenvolvido pelo INCRA e pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) para gerir informações fundiárias do território brasileiro. Através do SIGEF são realizados o envio, validação, organização, regularização e disponibilização de informações de imóveis rurais. Em 2019, 468.582 imóveis rurais haviam sido validados e certificados no Brasil, totalizando uma área de 1.823.199 km<sup>2</sup> (SIGEF, 2019). Tais dados foram georreferenciados e validados pelo Sistema Geodésico Brasileiro, medidos e submetidos à certificação por profissionais, o que garante a validade e precisão dos dados gerados.

Com o objetivo de solucionar as falhas de monitoramento da aplicação do Código Florestal de 1965, surge um instrumento criado pela Lei 12.651/12 no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre o Meio Ambiente (SINIMA), o CAR, que visa constituir uma base de dados estratégica para o controle, o monitoramento e o combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa do Brasil (DE ALCÂNTARA LAUDARES; GOMES DA SILVA; COIMBRA BORGES, 2014). Um banco de dados foi criado para disponibilizar de forma pública a relação das propriedades rurais cadastradas no CAR (CAR, 2019), porém, os dados do CAR possuem diversas inconsistências em seu registro, como sobreposição e lacunas entre as áreas declaradas pelos proprietários dos imóveis (Figura 1). Portanto, o CAR pode ser utilizado para estabelecer correlações com as mudanças na cobertura da terra, no entanto, precisa ser corrigido para que se tenha um melhor resultado da análise estatística. No processo de correção, bases de dados mais confiáveis podem ser utilizadas para reduzir as sobreposições do CAR e delimitar os novos limites das propriedades com mais exatidão. Nesse caso, a base de dados do SIGEF pode ser utilizada, pois possui informações mais precisas a respeito do registro dos imóveis (SPAROVEK et al., 2019), como pode ser verificado na Figura 1.



Figura 1: Polígonos de imóveis rurais registrados em bancos de dados públicos: A) Imóveis do CAR e suas sobreposições de limites das propriedades, indicados pelas setas vermelhas; B) Imóveis do SIGEF e sua correta declaração de limites das propriedades rurais.

## 2.2 HIPÓTESE

As sobreposições dos limites das propriedades rurais do CAR da Microrregião de Joaçaba podem ser corrigidas a partir da implementação de um algoritmo.

## 2.3 OBJETIVOS

### 2.3.1 Objetivo geral

Corrigir as sobreposições nos limites das propriedades rurais do CAR e utilizar as propriedades corrigidas em um estudo de caso que permita a análise estatística dos dados.

### 2.3.2 Objetivos específicos

- i) Desenvolver um algoritmo em linguagem R capaz de corrigir os erros de sobreposição da base de dados do CAR.
- ii) Analisar a relação entre a distribuição espacial das propriedades rurais e a fragmentação da paisagem na Microrregião de Joaçaba, utilizando o software FRAGSTATS em conjunto com mapas da plataforma MapBiomias.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 Área de estudo

A Microrregião de Joaçaba tem uma área de 9.056 km<sup>2</sup> (Figura 2). A vegetação predominante da área de estudo é a Floresta Ombrófila Mista, principalmente em sua formação da Floresta Ombrófila Mista de Montanha (IBGE, 2009).

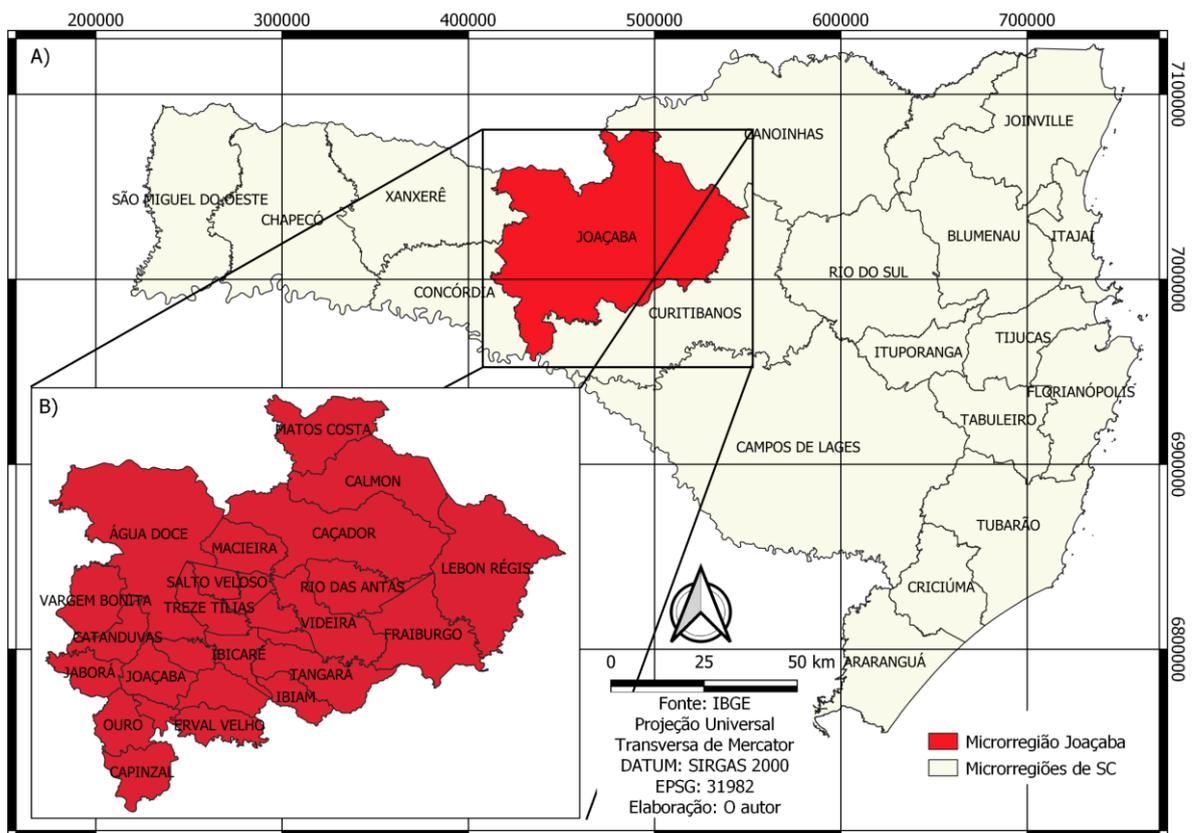


Figura 2: Área de estudo. A) Estado de Santa Catarina com Microrregiões. B) Microrregião de Joaçaba e seus municípios.

A Figura 3 mostra o fluxo de trabalho dos estágios metodológicos usados neste trabalho. Primeiro é feita a aquisição dos dados, em seguida os dados são tratados e por fim são processados.

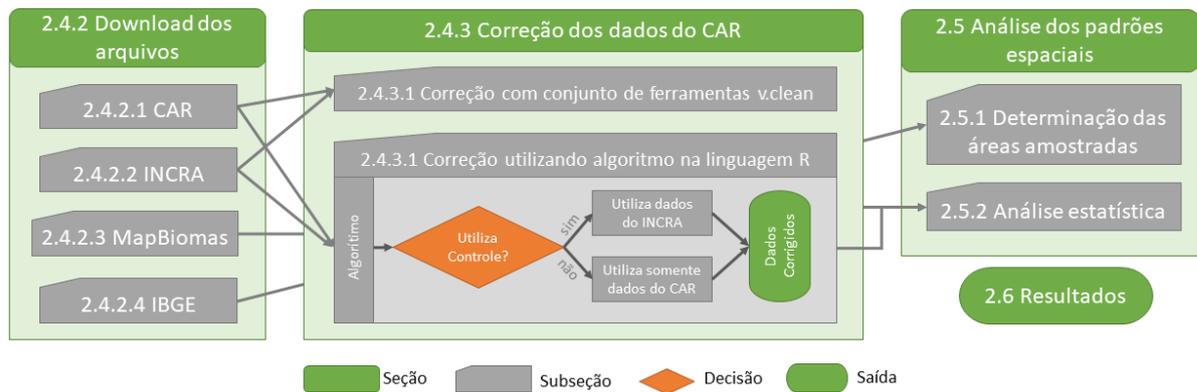


Figura 3: Fluxograma da metodologia empregada neste estudo. Os números indicam a seção em que o tema é abordado.

## 2.4.2 Download dos arquivos

### 2.4.2.1 Cadastro Ambiental Rural

Os arquivos disponíveis através da base de *downloads* do CAR estão no formato *shapefile* e podem ser manipulados em ambientes de SIG. Foi realizado o *download* dos arquivos que contém as propriedades rurais dos municípios que fazem parte da Microrregião de Joaçaba. Esse processo requer que o *download* dos arquivos de cada município seja realizado de forma individual por meio de digitação de um *email* e validação via *captcha*. Para automatizar essa atividade, foi desenvolvido um *script* HTML que possibilitou o *download* dos arquivos sem a necessidade de digitar o *email* e *captcha* a cada requisição.

### 2.4.2.2 SIGEF

A base de dados de consulta pública SIGEF disponibiliza os dados no formato *shapefile*, e para cada estado existem diversos arquivos com informações específicas. Neste estudo foram utilizados os *shapefiles* de Áreas de Quilombolas de SC, Assentamento Federal de SC, Imóvel Certificado SNCI Brasil de SC, Parcela de Regularização de SC, SIGEF Privado de SC e SIGEF Público de SC. Foram escolhidos tais arquivos pois não existe sobreposição de área entre os mesmos.

### 2.4.2.3 MapBiomias

As imagens de cobertura da terra geradas pelo MapBiomias são do formato *raster*, e possuem uma resolução espacial de 30 metros por pixel. Para ter acesso à essas imagens, e realizar o *download* do arquivo, foi utilizado o *script* Mapbiomas User Toolkit Download (JOÃO SIQUEIRA, 2019). Este *script* foi escrito na linguagem *javascript* para ser utilizado em

conjunto com a plataforma *Google Earth Engine*. Neste caso, foi feito o *download* da imagem da Microrregião de Joaçaba (Figura 4).

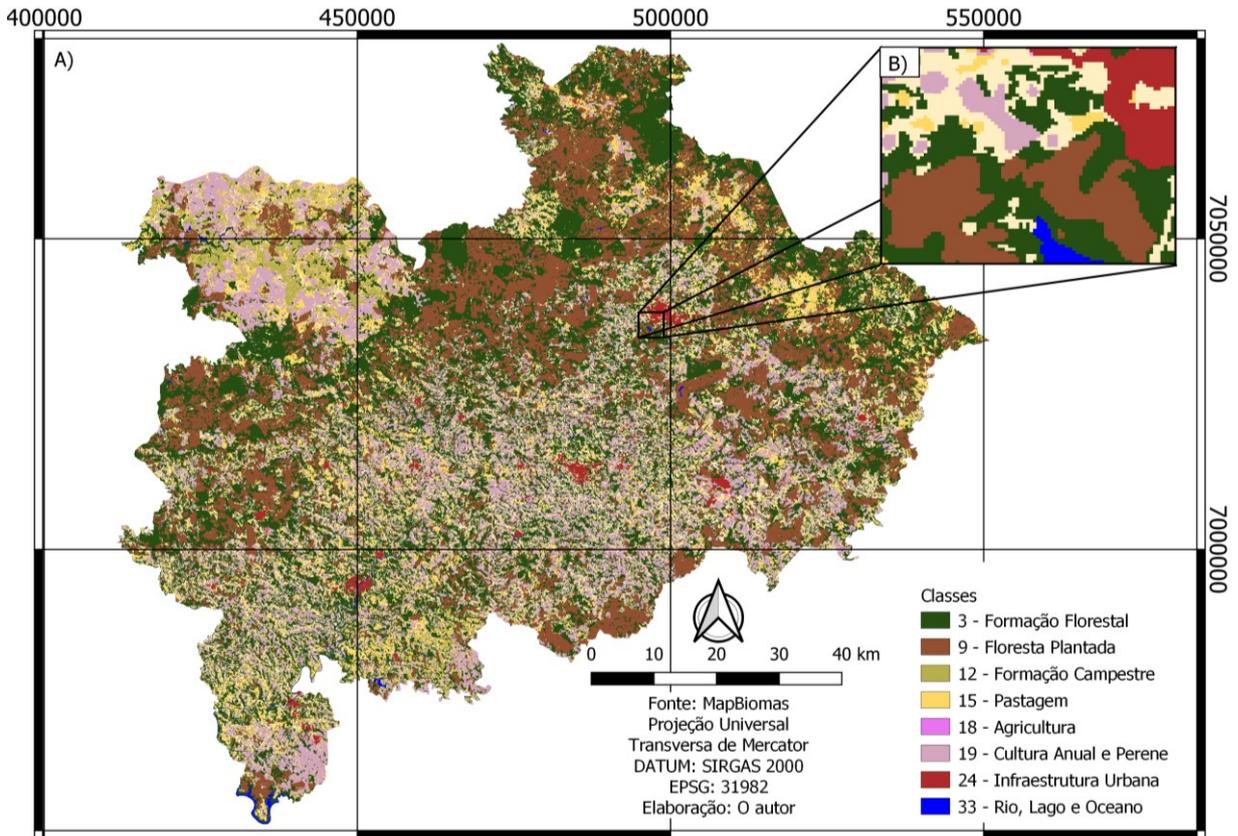


Figura 4: A) Imagem da classificação de cobertura da terra referente a área de estudo, no formato raster. B) Detalhamento do mapa.

#### 2.4.2.4 IBGE

Foram utilizados arquivos com a delimitação geográfica dos municípios de Santa Catarina e delimitações das microrregiões do estado no formato *shapefile*, os quais foram obtidos através da plataforma pública de *downloads* do IBGE (IBGE, 2020) e processados no software livre de SIG QGIS (EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO QGIS, 2019).

#### 2.4.3 Correção dos erros de sobreposição da base de dados do CAR

Dois tipos de abordagens foram testadas na correção dos erros de sobreposição da base de dados do CAR. Em uma delas foi utilizado uma ferramenta já existente, que tem como objetivo a correção de formas geométricas inválidas (erros na criação dos polígonos), como auto intercessões nos polígonos, pontas de polígonos que se tocam e vértices duplicados. Na outra, duas formas de correção foram desenvolvidas com o objetivo de obter melhores resultados na correção do CAR. A seguir, as referidas abordagens serão detalhadas.

#### 2.4.3.1 Correção de sobreposição de polígonos utilizando o conjunto de ferramentas *v.clean*

O GRASS é um sistema de informação geográfica, de código aberto, multiuso, que pode ser usado para produção, análise e mapeamento de dados geoespaciais (NETELER *et al.*, 2012). Foi utilizada a ferramenta *v.clean* do GRASS para realizar a correção dos polígonos do CAR. A camada de entrada de dados utilizada como parâmetro foi o *shapefile* que contém todas as propriedades rurais da Microrregião de Joaçaba (22.226 imóveis). Os parâmetros de entrada foram configurados com os dados padrão, com exceção dos parâmetros “Ferramentas de limpeza”, onde foram selecionadas as seguintes opções: remover feições geométricas duplicadas (*rmdupl*); remover áreas centróides duplicadas (*rmdac*); quebrar polígonos sem formato topológico (*bpol*); remover áreas pequenas (*rmarea*); remover linhas com tamanho zero (*rmline*); remover pequenos ângulos entre polígonos (*rmsa*); remover pontes conectando áreas e ilhas (*rmbridge*); remover vértices defeituosos (*prune*). Estas opções foram selecionadas com o objetivo de solucionar os problemas mais comuns encontrados nos arquivos do CAR.

#### 2.4.3.2 Correção utilizando algoritmo na linguagem R com polígonos de controle

Desenvolvido na linguagem R, o algoritmo (Apêndice D) tem por objetivo corrigir erros geométricos de sobreposição de forma personalizada, neste caso, os polígonos são as propriedades rurais obtidas no CAR, além de proporcionar a possibilidade de utilização de polígonos controle no processo.

O algoritmo recebe quatro parâmetros de entrada indicados pelo usuário para sua execução (Quadro 1), destes, três são obrigatórios. Na Figura 5 consta a descrição do processo.

Quadro 1: Variáveis de entrada utilizadas pelo algoritmo.

Nome do campo	Descrição	Campo obrigatório
shapeToCorrect	Arquivo no formato <i>shapefile</i> que contém os erros de sobreposição.	Sim
shapeControl	Arquivo no formato <i>shapefile</i> que contém polígonos sem erro de sobreposição.	Não
pathToSave	Caminho do diretório em que o arquivo será salvo.	Sim
nameToSaveNewShapefile	Nome do arquivo que será salvo.	Sim

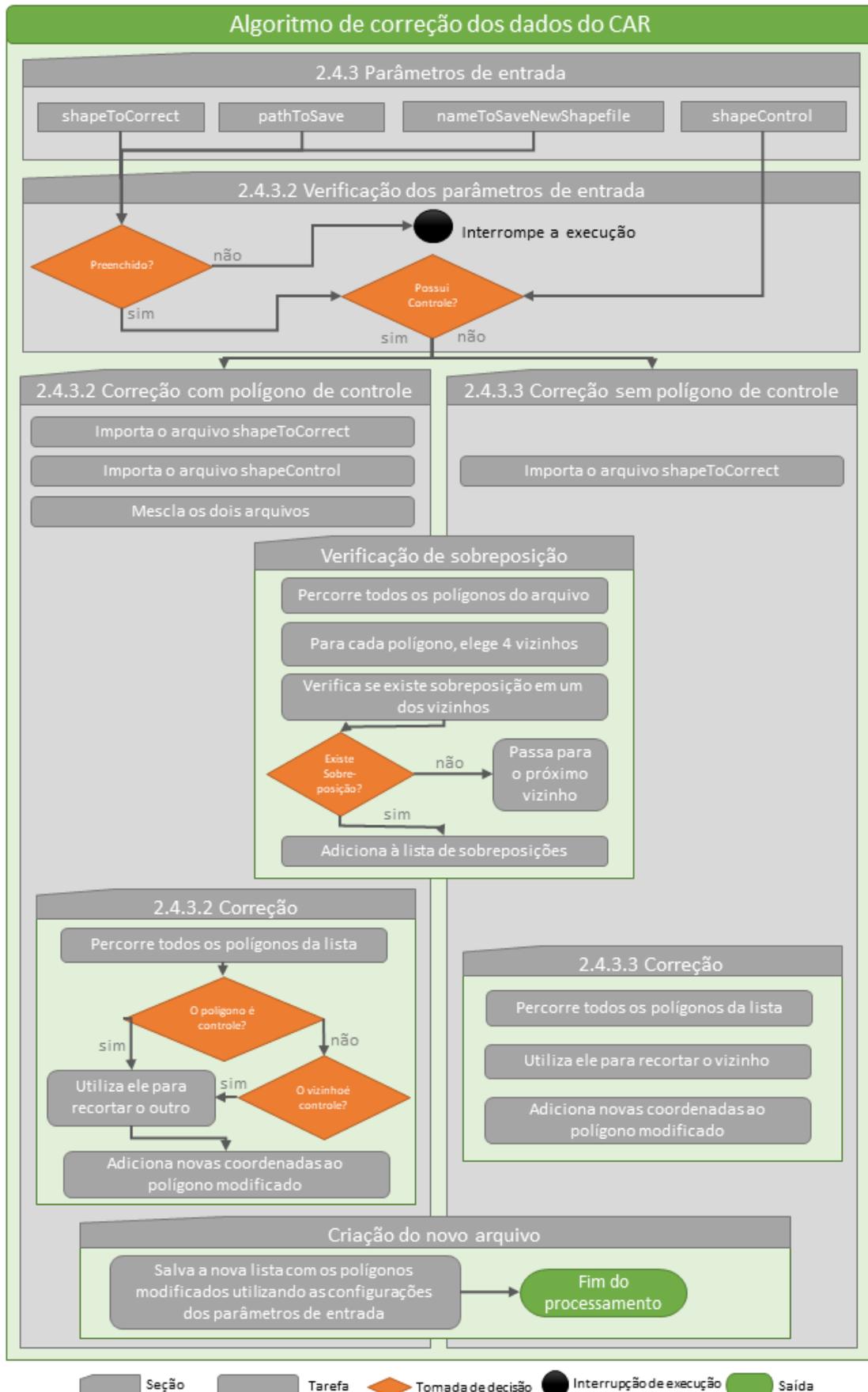


Figura 5: Fluxograma de execução do algoritmo de correção dos erros de sobreposição da base de dados do CAR.

Após a inserção dos parâmetros de entrada é feita a verificação de preenchimento dos dados. Caso um dos parâmetros de preenchimento obrigatório não seja encontrado, o *script* interrompe a execução e alerta o usuário. Neste momento também é verificado se o parâmetro *shapeControl* foi preenchido. Quando o parâmetro *shapeControl* é preenchido o processo de correção dos polígonos é alterado, o arquivo *shapeToCorrect* e o arquivo *shapeControl* são importados e validados. Para determinar que os polígonos do arquivo *shapeControl* são do tipo controle, o algoritmo adiciona uma coluna na tabela de atributos deste arquivo e atribui o valor 1 para todos os polígonos existentes no arquivo; o valor 1 representa a informação TRUE em um campo de formato booleano. O sistema de projeção do arquivo de controle, então é transformado para o mesmo sistema de projeção do arquivo a ser corrigido. O próximo passo é mesclar os dois arquivos, e gerar um único *shapefile* com todos os polígonos, tanto os de controle, como os polígonos que precisam ser corrigidos. Em seguida o algoritmo inicia a verificação de sobreposição.

O algoritmo percorre cada polígono do *shapefile* e utiliza para isso um laço de repetição, que por sua vez, é uma rotina que executa uma função até que determinada condição seja alcançada. Para cada polígono são determinados quatro vizinhos mais próximos (Figura 6), essa relação é estabelecida através da função *Knn2nb* do R. A lista com a relação de vizinhos é utilizada na verificação de sobreposição dos polígonos.

Cada polígono possui diversos vértices com suas respectivas coordenadas geográficas. Durante a verificação de sobreposição, um laço de repetição é executado para todos os pontos do polígono analisado, para cada ponto é feita uma verificação de sobreposição em cada um dos quatro vizinhos mais próximos, quanto mais complexa for a forma geométrica, mais tempo de processamento despense a execução. Quando uma sobreposição é determinada, a relação entre os polígonos que tem área sobreposta é adicionada a uma lista. Se não há sobreposição na verificação de um ponto, o algoritmo segue para a validação do próximo ponto e posteriormente do próximo polígono, até que todos os pontos de todos os polígonos sejam verificados. Com a conclusão desta lista, o processo de correção é iniciado.

Nesse ponto, um laço de repetição é utilizado para percorrer todos os elementos da lista e uma verificação é realizada: se o polígono possui a coluna controle e a coluna controle possui o valor 1 (TRUE), então esse polígono é um polígono de controle e sua forma geométrica deve ser utilizada para fazer ajuste no limite do polígono vizinho; para isso, a função *gDifference* do R é utilizada, a qual gera um novo polígono com as novas coordenadas geográficas dos vértices.

O algoritmo atribui essas novas coordenadas ao polígono antigo e sobrescreve as coordenadas anteriores.

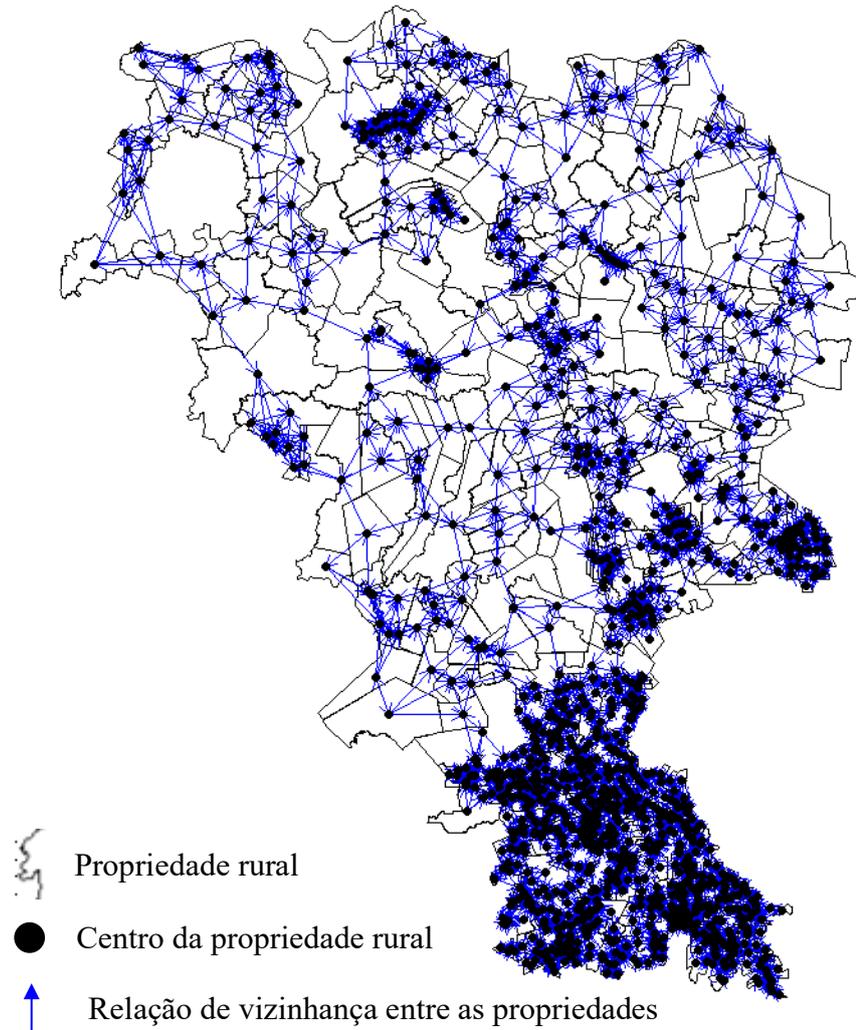


Figura 6: Relação de vizinhos mais próximos para as propriedades do município de Água Doce.

#### 2.4.3.3 Correção sem utilização de polígonos de controle

O processo de correção dos polígonos sem o arquivo de controle é mais simplificado e segue um fluxo diferente. O arquivo a ser corrigido é importado e seus dados são validados, em seguida é realizada a verificação de sobreposição, conforme item 2.2.3.2. Um laço de repetição é utilizado para percorrer todos os elementos da lista de sobreposição. Para cada polígono que possui uma relação de sobreposição com um polígono vizinho o algoritmo aplica a função *gDifference* do R, que irá utilizar a forma geométrica do polígono verificado para recortar a área do polígono vizinho. A função *gDifference* gera um novo polígono com as novas coordenadas geográficas dos vértices. O algoritmo atribui essas novas coordenadas ao polígono antigo, e sobrescreve as coordenadas anteriores.

Ao final do processo, a variável que contém os polígonos corrigidos é transformada em um arquivo *SpatialPolygonsDataFrame*, salva no formato *shapefile* no diretório especificado e com o nome determinado nos parâmetros de entrada, encerra-se assim o processamento do algoritmo.

## 2.5 ANÁLISE DOS PADRÕES ESPACIAIS

### 2.5.1 Determinação das áreas amostradas

Para estabelecer um padrão entre o formato espacial de uma propriedade e a classificação de sua cobertura de terra, foi estabelecida uma metodologia na qual amostras de áreas do mapa foram escolhidas aleatoriamente para análise. Foram criados dez círculos, com raio de 12 km, distribuídos pelo mapa de forma que todas as áreas fossem abrangidas, tanto as áreas com grandes propriedades rurais como as áreas com pequenas propriedades. Os círculos foram enumerados de um a dez para que os mesmos pudessem ser escolhidos aleatoriamente, sem tendência de decisão (Figura 7). A decisão de escolher três áreas amostradas se deu pelo fato de conter um número suficiente de propriedades rurais que pudessem ser utilizadas nos testes estatísticos.

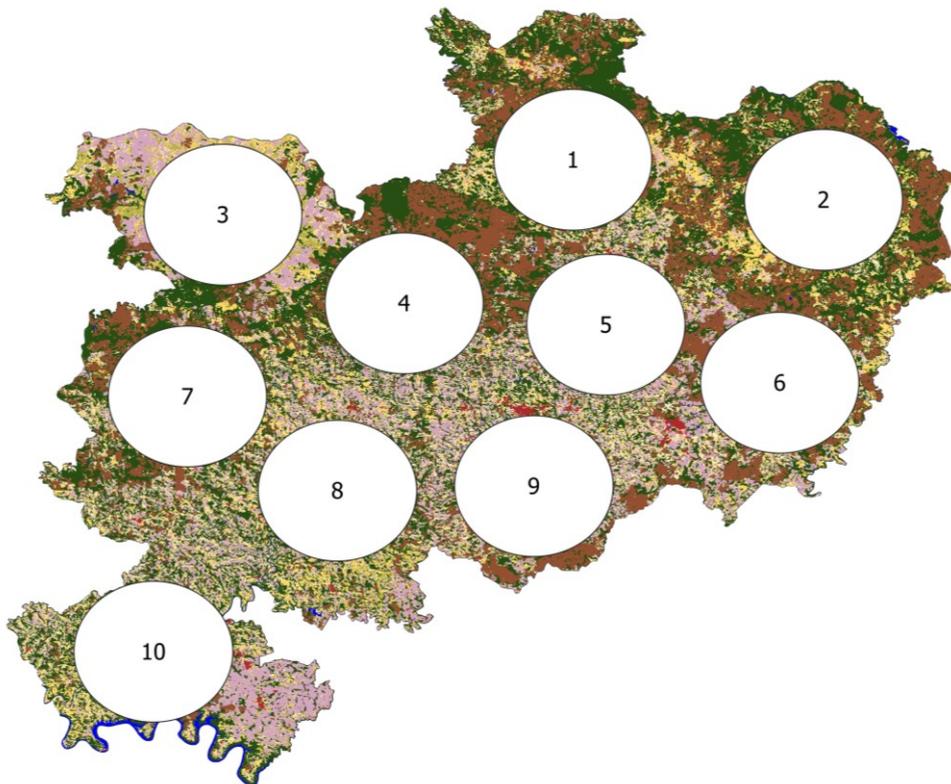
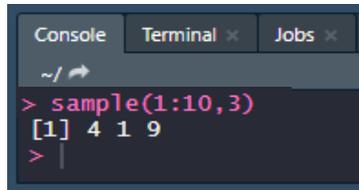


Figura 7: Círculos com 12 km de raio da amostragem realizada na área de estudo.

A determinação de quais amostras seriam utilizadas foi baseada em uma função da linguagem R chamada *sample*. Foram inseridos os parâmetros na função com o objetivo de escolher aleatoriamente três números de zero a dez, conforme Figura 8.



```

Console Terminal Jobs
~/
> sample(1:10,3)
[1] 4 1 9
>

```

Figura 8: Código R que sorteia aleatoriamente números de um intervalo específico. Em rosa está a linha de comando inserida, ela define o intervalo e a quantidade de números a serem gerados. Números na cor branca foram gerados aleatoriamente.

O resultado obtido foi a sequência de números: quatro, um e nove. Desta forma, foram definidas as amostras a serem utilizadas no estudo. A amostra um foi denominada Área 1, a amostra quatro foi denominada Área 4 e a amostra nove foi denominada Área 9. Essas áreas são utilizadas para recortar o mapa *raster* de cobertura da terra do MapBiomias, sendo que o MapBiomias possui mapas de cobertura de terra dos anos de 1985 a 2018 com um elevado nível de acurácia, neste caso, foram utilizadas imagens do ano de 2018. As informações foram posteriormente processadas no FRAGSTATS (MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, 2012b). A seleção das propriedades que estão relacionadas com o mapa de cobertura da terra de cada amostra foi definida de acordo com o seguinte critério: propriedades abrangidas total e parcialmente pela área da amostra (Figura 9).

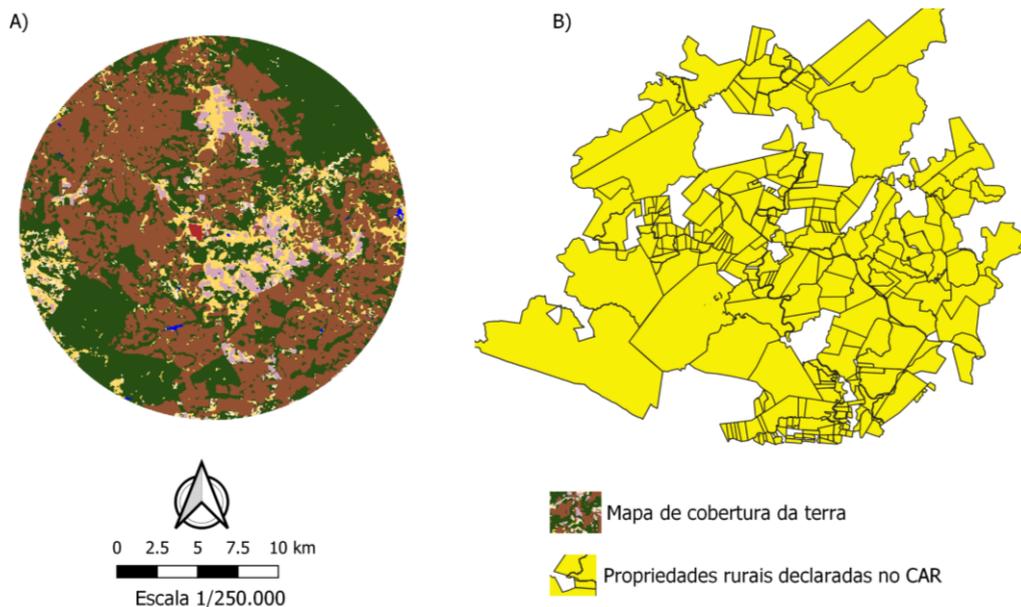


Figura 9: Arquivos gerados para a área de estudo 1. A) Mapa de cobertura da terra, B) Propriedades rurais do CAR que fazem parte da área analisada.

### 2.5.2 Análise estatística

Para testar a correlação dos dados do CAR com a fragmentação da paisagem, foi utilizado o *software* FRAGSTATS (MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, 2012b), capaz de gerar diversos índices de fragmentação da paisagem e as métricas necessárias para análise. Neste trabalho foram utilizados três dos índices mais comuns apontados por (ZATELLI *et al.*, 2019) e um item adicional (Quadro 2).

Quadro 2: Métricas utilizadas na análise estatística.

<b>Índice</b>	<b>Aplicação</b>
<i>Patch number</i> (NP)	Número de fragmentos de cada classe temática de cobertura da terra. Métrica dimensional.
<i>Patch density</i> (PD)	Número de fragmentos do tipo de classe temática correspondente dividido pela área total da paisagem (m).
<i>Percentage of landscape</i> (PLAND)	Porcentagem de área para cada classe temática.
<i>Edge density</i> (ED)	Soma dos comprimentos (m) de todas as bordas dos fragmentos de uma determinada classe temática, dividido pela área total da paisagem (m).

O índice *Patch number* apresenta a quantidade de fragmentos existentes em cada classe temática de cobertura da terra; são considerados como fragmentos as manchas da mesma classe temática isoladas por outras classes. É definido como:

$$NP = N_K$$

Onde:

- N é o número de fragmentos na categoria k-ésima.

O índice *Patch density* mostra o total de área de cada classe temática dividido pelo número de fragmentos da mesma classe. Expressa quão densa é a área na paisagem. Quanto menor o número, mais fragmentada está a paisagem. A unidade de medida é o número de fragmentos dividido por 100 ha. É definido como:

$$PD = \frac{N}{A} (10^4)(100)$$

Onde:

- $N$  é o número de fragmentos na paisagem;
- $A$  é a área total da paisagem em ( $m^2$ );
- $10^4$  e  $100$  são constantes e usadas para expressar o índice em (100) ha.

O índice *Percentage of landscape* mostra o percentual de ocorrência de cada classe temática de cobertura da terra. É expresso como:

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

Onde:

- $P_i$  é a proporção da paisagem;
- $a_{ij}$  é a área ( $m^2$ ) do fragmento;
- $A$  é a área total da paisagem ( $m^2$ ).

O índice *Edge density* é igual à soma dos comprimentos (m) de borda dos fragmentos de cada classe temática correspondente, dividido pela área total da paisagem ( $m^2$ ). Facilita a comparação entre paisagens de tamanhos variados. É expresso como:

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n e_{iK}}{A} (10^4)$$

Onde:

- $k$  é a categoria das amostras;
- $m$  é o número total de diferentes categorias dos fragmentos;
- $n$  é o número de arestas de limite para o fragmento;
- $e_{iK}$  é o comprimento total das arestas de contorno da  $k$ -ésima categoria de amostras;
- $A$  é a área total da paisagem;
- $10^4$  é uma constante para converter o índice em (m/ha).

Foram realizados testes de correlação onde foi utilizada a linguagem R com os dados gerados pelo FRAGSTATS. Os testes de correlação de Pearson com grau de significância de  $P > 5\%$  foram realizados através da comparação do tamanho médio das propriedades e os índices NP, PD e ED para cada área de estudo. Também foram realizados testes de correlação entre o total de propriedades e os índices NP, PD e ED. Segundo (AKOGLU, 2018) a classificação dos tipos de correlações pode ser verificada na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos tipos de correlação.

<b>Tipo de Correlação</b>	<b>Valores</b>
Perfeita	-1,0 ou 1,0
Forte	-0,7 a -0,9 ou 0,7 a 0,9
Moderada	-0,4 a -0,6 ou 0,4 a 0,6
Fraca	-0,1 a -0,3 ou 0,1 a 0,3
Nula	0,0

### 2.5.3 Sobreposição dos imóveis do CAR e do SIGEF

Visto que existe um grande número de propriedades rurais registradas na base de dados do SIGEF, é possível verificar qual o número de propriedades do SIGEF que poderiam ser utilizadas no cadastro do CAR, para isso foi utilizado a ferramenta de Análise de Sobreposição do *software* QGIS.

### 2.5.4 Comparação entre declaração do CAR e informações do MapBiomias

Foram comparados os totais de áreas declaradas como Floresta nativa nas declarações do CAR e a área total da classe Formação florestal mapeada pelo MapBiomias para a Microrregião de Joaçaba. As informações de cobertura da terra disponibilizadas pelo MapBiomias estão no formato *raster* e os dados do CAR estão no formato *shapefile*, então os dados *raster* foram vetorizados através do *software* QGIS, em seguida foi feito o cálculo de área para a classe Formação florestal.

## 2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados totais apresentados na sessão de resultados em 2.5, são referentes a área de toda a Microrregião de Joaçaba.

### 2.6.1 Desenvolvimento do algoritmo

O desenvolvimento do algoritmo demandou centenas de horas devido à complexidade da verificação das sobreposições dos polígonos, mesmo com a utilização de diversas funções já existentes no R. Um dos pontos mais complexos do desenvolvimento foi a criação da lógica de verificação de sobreposições, que tentou ser mais abrangente possível em relação aos vizinhos mais próximos do polígono verificado e ao mesmo tempo otimizar a performance da execução.

Durante o processo de correção, verificou-se que alguns municípios tiveram um tempo de processamento elevado em relação a outros (Tabela 2), mesmo possuindo um número menor de propriedades rurais. Esse tempo elevado de processamento está relacionado a complexidade do formato das propriedades rurais do município. Propriedades que possuem muitos vértices, ou seja, têm formatos mais complexos, demandam mais tempo de processamento do que as propriedades com menos vértices. Alguns municípios que possuem um elevado número de propriedades rurais tiveram um tempo de processamento baixo, por possuírem propriedades com formas geométricas simples, na grande maioria retangulares.

Tabela 2: Tempo de processamento dos municípios.

<b>Município</b>	<b>Área do município (ha)</b>	<b>Total de propriedades</b>	<b>Tempo de processamento (min)</b>
<b>Água Doce</b>	131.425	1151	85
<b>Arroio Trinta</b>	9.430	511	7
<b>Caçador</b>	98.428	1615	154
<b>Calmon</b>	63.817	250	136
<b>Capinzal</b>	24.420	912	36
<b>Catanduvás</b>	19.729	365	14
<b>Erval Velho<sup>1</sup></b>	20.735	1022	-
<b>Fraiburgo</b>	54.785	1045	98
<b>Herval d'oeste</b>	21.733	1100	22
<b>Ibiam</b>	14.671	624	11
<b>Ibicaré</b>	15.578	746	10

<b>Município</b>	<b>Área do município (ha)</b>	<b>Total de propriedades</b>	<b>Tempo de processamento (min)</b>
<b>Iomerê</b>	11.375	658	11
<b>Jaborá</b>	18.215	970	14
<b>Joaçaba</b>	24.210	1077	17
<b>Lacerdópolis</b>	6.889	353	8
<b>Lebon Régis</b>	94.148	1048	78
<b>Luzerna</b>	11.838	639	8
<b>Macieira</b>	25.964	580	22
<b>Matos Costa</b>	43.307	416	34
<b>Ouro<sup>1</sup></b>	21.357	1108	-
<b>Pinheiro Preto</b>	6.146	384	6
<b>Rio das Antas</b>	31.799	969	14
<b>Salto Veloso</b>	10.506	459	6
<b>Tangará</b>	38.838	1520	29
<b>Treze Tílias</b>	18.663	665	12
<b>Vargem Bonita</b>	29.849	422	17
<b>Videira</b>	38.452	1671	39

<sup>1</sup> Municípios cujos dados não puderam ser corrigidos pelo algoritmo.

Ao adicionar os dados do SIGEF como polígonos de controle durante o processo de correção, o tempo de execução aumentou, pois o número de propriedades a serem verificadas também aumenta. Porém, o principal fato de as propriedades do SIGEF aumentarem o tempo de execução se dá pelo fato dessas propriedades terem mais detalhes em sua declaração, possuindo mais vértices. Os municípios que demandaram maior tempo de execução possuem as propriedades com maior média de área, e mais complexidade em seus vértices. Foi estruturado um mapa anamórfico da região de estudo com as informações de tempo de processamento do algoritmo por município (Figura 10). Essas propriedades devem ser cadastradas no SIGEF, contendo um nível de detalhamento maior do que as propriedades do CAR.

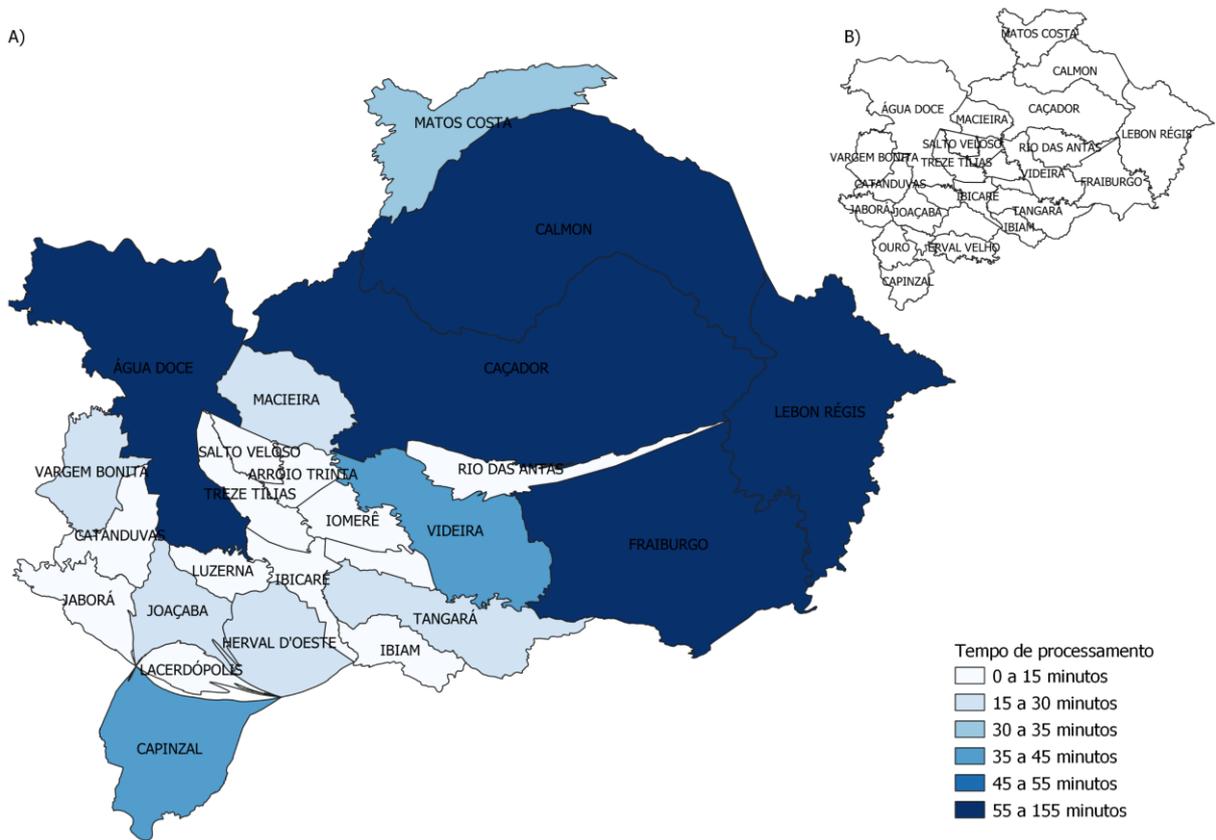


Figura 10: A) Mapa anamórfico da Microrregião de Joaçaba por tempo de processamento dos municípios. B) Mapa original da Microrregião de Joaçaba.

### 2.6.2 Cadastro Ambiental Rural

O número de imóveis registrados no CAR para a Microrregião de Joaçaba é 22.226. O total de imóveis registrados no SIGEF na área de estudos é 2.419, o que corresponde a 10% do número de imóveis registrados no CAR. A soma da área dos imóveis é de 7.397 km<sup>2</sup> e o tamanho médio das propriedades é de 33 ha, caracterizadas como pequenas propriedades de acordo com o INCRA, pois possuem menos do que 4 módulos fiscais. O histograma com o tamanho das propriedades para as três áreas de estudo se encontra no apêndice A. Para a região de estudo o módulo fiscal tem em média 19 ha (INCRA, 2020). Dados das áreas amostradas podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados dos imóveis rurais do CAR nas áreas de estudo.

CAR	Area 1	Area 4	Area 9	Area Total
<b>Total de imóveis rurais</b>	245	1.246	2.338	22.226
<b>Somatório das áreas dos imóveis do CAR (ha)</b>	47.668	38.887	38.380	739.761
<b>Tamanho médio das propriedades (ha)</b>	154	31	16	33

A ferramenta de verificação de topologia do *software* QGIS, que é capaz de detectar erros de sobreposição e formas geométricas inválidas, mostra que existem 23.110 sobreposições de imóveis rurais na Microrregião de Joaçaba. Conforme dados da SAYLOR ACADEMY, (2012) e ESRI, (2009) no modelo da base de dados tipo espaguete (do inglês *spaghetti*) podem ocorrer sobreposições de polígonos. Neste caso, cada recurso de ponto, linha ou polígono é representado como uma sequência de pares de coordenadas X e Y sem estrutura inerente. Pode-se imaginar que cada linha deste modelo seja um único fio de espaguete que é formado pela adição de mais e mais fios de espaguete. Neste modelo, quaisquer polígonos que se encontrem adjacentes, sejam constituídos por suas próprias linhas ou espaguetes. Em outras palavras, cada polígono deve ser definido exclusivamente por seu próprio conjunto de pares de coordenadas X e Y, mesmo que os polígonos adjacentes compartilhem exatamente as mesmas informações de limite.

O modelo espaguete permite a redundâncias dos dados e, portanto, reduz a eficiência. A base de dados do CAR foi concebida para trabalhar com dados modelo espaguete, e esta situação ocorre em todas as áreas do Brasil. Segundo FREITAS et al., (2018) a autodeclaração da propriedade rural permite uma construção relativamente rápida do banco de dados, mas números substanciais de arestas conflitantes indicam discrepâncias entre os limites de propriedade relatados e reais. Registros que se sobrepõem a muitas outras propriedades também foram encontrados. As sobreposições entre as 14 categorias de designação de posse da terra somam 3.546.018 km<sup>2</sup> da área coberta pelas terras conhecidas (50%) ou 41% do território brasileiro (SPAROVEK *et al.*, 2019). A sobreposição de propriedades, bem como a geração de polígonos com formas geométricas inválidas por parte dos declarantes, compromete as análises estatísticas propostas para este projeto, torna-se necessária a realização da correção dos mapas vetoriais do CAR.

### 2.6.3 Correções

A análise realizada no GRASS gerou o resultado que pode ser verificado na Tabela 4. Pode-se verificar que a ferramenta *v.clean* em seu método de correção de polígonos, efetua diversos recortes nas áreas sobrepostas, e ocasiona o aumento do número de polígonos no *shapefile* após a execução. As propriedades são recortadas e seus polígonos são mantidos como multipolígonos. Este tipo de funcionamento afeta negativamente o valor médio de área das propriedades, pois o valor médio é reduzido consideravelmente.

Tabela 4: Dados dos imóveis rurais após a correção com o *v.clean* no software GRASS.

<b>Correção Vclean</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area total</b>
<b>Total de imóveis rurais</b>	1.427	6.076	12.897	131.770
<b>Area dos imóveis rurais do CAR (ha)</b>	47.588	39.757	38.460	739.730
<b>Tamanho médio das propriedades (ha)</b>	33	6	2	5

A Tabela 5 mostra os dados gerados pelo algoritmo de correção ao utilizar apenas os polígonos do CAR no processo. Este foi o método que mais diminuiu o número da área total dos imóveis, o que é esperado com a correção das sobreposições.

Tabela 5: Dados dos imóveis rurais após a correção com algoritmo e polígonos do CAR.

<b>Correção CAR</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area Total</b>
<b>Total de imóveis rurais</b>	246	1.249	2.332	222.226
<b>Area dos imóveis do CAR (ha)</b>	46.920	37.920	36.383	713.316
<b>Tamanho médio das propriedades (ha)</b>	190	30	15	32

Na Tabela 6 encontram-se os dados da correção, ao utilizar o algoritmo com os dados do SIGEF como controle. A opção de correção com controle traz benefícios, um deles é garantir que os polígonos vizinhos a ele terão suas novas margens delimitadas com maior precisão. Segundo PALARETI et al., (2016) o SIGEF baseia a coleta de dados de campo através de receptores GNSS de precisão, ao seguir procedimentos padrão para evitar a sobreposição com outras propriedades rurais. Assim, tem precedência sobre os conjuntos de dados do CAR. O aumento na área total dos imóveis se dá devido a adição dos polígonos do SIGEF aos polígonos do CAR no momento da correção.

Tabela 6: Dados dos imóveis rurais após a correção com algoritmo e polígonos do SIGEF.

<b>Correção SIGEF</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area total</b>
<b>Total de imóveis rurais</b>	355	1.391	2.097	25.197
<b>Area dos imóveis do CAR (ha)</b>	54.697	42.244	31.651	776494
<b>Tamanho médio das propriedades (ha)</b>	154	30	15	30

As informações exibidas na Tabela 7 mostram com mais detalhes os dados da correção realizada pelo algoritmo, utilizando ou não os dados do SIGEF como controle para cada um dos municípios processados. Não foi possível realizar a correção para os municípios de Eral

Velho e Ouro devido à erros de geometria inválida não solucionados pelo algoritmo; foram, então, utilizados os dados originais do CAR para o processamento dessas cidades.

Tabela 7: Informações da correção realizada pelo algoritmo para cada município.

Municípios	Dados CAR		Correção CAR	Correção SIGEF	Total de propriedades do SIGEF
	Área do município	Área do CAR	Área	Área	
Água Doce	1.314	1.136	1.112	1.202	372
Arroio Trinta	94	87	83	93	2
Caçador	984	765	733	817	235
Calmon	638	560	551	607	174
Capinzal	244	210	196	204	36
Catanduvas	197	137	131	144	66
Erval Velho <sup>1</sup>	207	161	0	161	18
Fraiburgo	548	454	438	465	178
Herval d'oeste	217	177	165	165	5
Ibiam	147	98	90	96	39
Ibicaré	156	123	116	118	9
Iomerê	114	104	99	99	22
Jaborá	182	160	152	152	20
Joaçaba	242	171	159	163	19
Lacerdópolis	69	62	58	58	0
Lebon Régis	941	759	735	800	767
Luzerna	118	98	93	93	11
Macieira	260	195	181	200	75
Matos Costa	433	287	283	323	67
Ouro <sup>1</sup>	214	196	0	196	1
Pinheiro Preto	61	55	52	52	17
Rio das Antas	318	253	248	259	99
Salto Veloso	105	94	90	92	8
Tangará	388	340	324	339	163
Treze Tílias	187	137	131	135	27
Vargem Bonita	298	269	263	315	121
Videira	385	309	299	302	88

<sup>1</sup> Municípios cujos dados não puderam ser corrigidos pelo algoritmo.

O comparativo entre os diferentes tipos de correções abordadas neste estudo para uma determinada área é exibido na Figura 11. Observa-se o grau de detalhamento da declaração das propriedades rurais do SIGEF em relação à declaração da mesma área no CAR, bem como os diferentes resultados das correções e seus distintos níveis de detalhamento.

Na Tabela 8 encontra-se o número de propriedades rurais sobrepostas que foram declaradas no SIGEF e também no CAR. A declaração dessas propriedades no CAR poderia ter sido feita utilizando os arquivos já existentes na base de dados do SIGEF.

Tabela 8: Sobreposição dos imóveis do CAR e do SIGEF.

<b>Percentagem de sobreposição</b>	<b>Total de imóveis</b>
<b>70%</b>	28
<b>80%</b>	69
<b>90%</b>	790
<b>100%</b>	294
<b>Total</b>	<b>1181</b>

A correção dos polígonos do CAR através das metodologias apresentadas produz alguns problemas. A sobreposição dos imóveis é resolvida para a maioria das propriedades, porém, não há garantia de que os novos limites estabelecidos nos polígonos são realmente os limites das propriedades. Os dados corrigidos não podem ser utilizados no CAR, pois legalmente a declaração dos limites das propriedades é de responsabilidade do declarante.

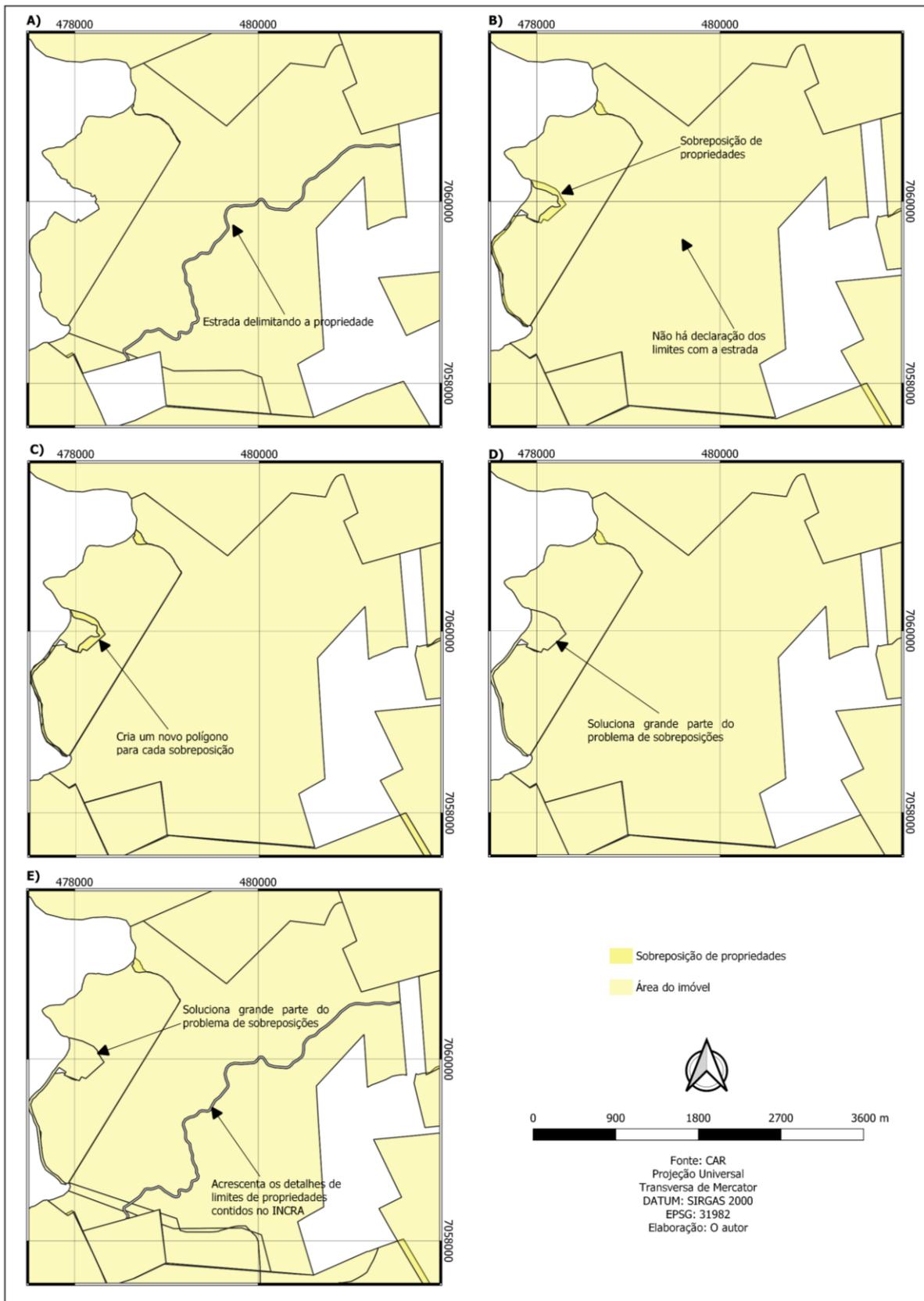


Figura 11: Comparativo do resultado das diferentes técnicas de correção. A) Declaração dos imóveis do SIGEF, B) Declaração dos imóveis do CAR, C) Correção com a ferramenta v.clean, D) Correção com algoritmo sem polígonos de controle, E) Correção com algoritmo e polígonos de controle do SIGEF.

### 2.6.4 Análise da cobertura da terra

Segundo a declaração dos proprietários de imóveis rurais do CAR sobre a área de floresta nativa, a soma das declarações é de 1.578 km<sup>2</sup>. Ao realizar a consulta sobre a área de mata nativa pelo sistema de classificação de cobertura da terra do MapBiomas para a mesma área, esse número é de 3.326 km<sup>2</sup>, uma diferença de 110% (Figura 12). Isso acontece porque o registro no CAR não é equivalente a um título de propriedade e, de fato, não indica nada sobre propriedade legal, reivindicações de delimitação de propriedades sobrepostas são permitidas no CAR (JUNG *et al.*, 2017). Portanto, os proprietários dos imóveis rurais não têm obrigação de declarar com exatidão a composição da cobertura da terra de suas propriedades, o que pode explicar a diferença entre a declaração do CAR e do MapBiomas. Outra situação que pode induzir a essa diferença é a qualidade das imagens de satélite disponíveis no momento da declaração, no caso do CAR foram utilizadas imagens do conjunto de satélites Modis, com resolução de cinco metros, não possibilitando a exatidão da demarcação sobre as áreas. Existe ainda outra hipótese, de que os proprietários poderiam estar declarando propositalmente a área mínima de floresta nativa necessária, com o objetivo de suprimir o excesso.

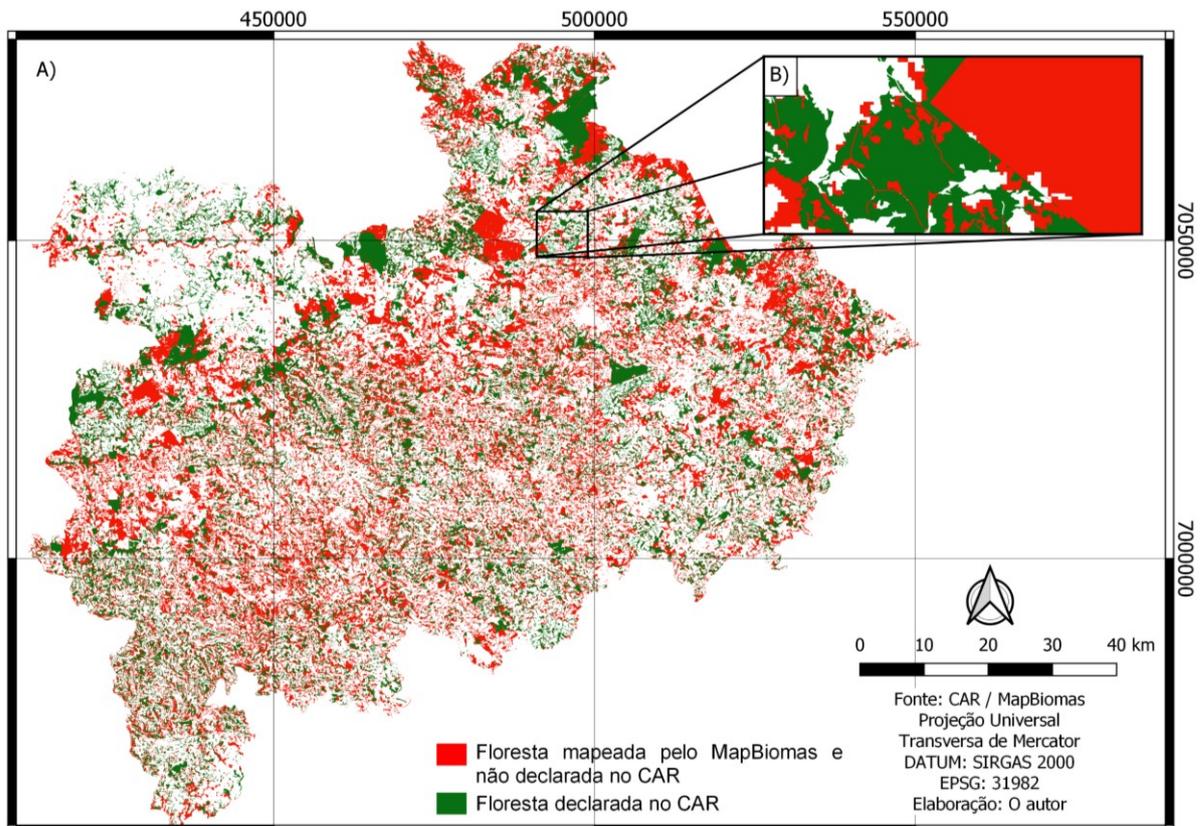


Figura 12: Áreas de floresta declaradas no CAR e mapeadas pelo MapBiomas. A) Mapeamento de florestas na região de estudo e B) Detalhamento das áreas declaradas.

A Tabela 9 apresenta o índice *Percentage of landscape* (PLAND) de cada classe temática da paisagem para os fragmentos da Microrregião de Joaçaba, bem como das três áreas amostradas.

Tabela 9: Cobertura da terra de cada classes temática nas áreas amostradas e de estudo.

<b>Classe</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area Total</b>
	%			
<b>Formação florestal</b>	40,92	38,37	41,62	36,74
<b>Floresta plantada</b>	43,02	21,30	7,62	21,96
<b>Pastagem</b>	9,62	8,49	11,66	11,29
<b>Cultura anual e perene</b>	3,57	12,45	17,53	15,36
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	2,51	14,75	18,43	11,45

A Tabela 10 apresenta o índice *Number of patches* (NP) de cada classe temática na paisagem para cada uma das três áreas amostradas.

Tabela 10: Índice NP para cada classe temática nas áreas amostradas e de estudo.

<b>Classe</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area Total</b>
<b>Formação florestal</b>	904	952	955	19.587
<b>Floresta plantada</b>	242	513	545	8.808
<b>Pastagem</b>	767	1.295	1.553	23.206
<b>Cultura anual e perene</b>	190	806	981	12.382
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	899	2.374	3.011	41.482

A Tabela 11 apresenta o índice *Patch density* (PD) para as áreas amostradas e de estudo.

Tabela 11: Índice PD das classes temáticas ds áreas amostradas e de estudos.

<b>Classe</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area Total</b>
<b>Formação florestal</b>	1,99	2,10	2,11	2,16
<b>Floresta plantada</b>	0,53	1,13	1,20	0,97
<b>Pastagem</b>	1,69	2,86	3,44	2,56
<b>Cultura anual e perene</b>	0,42	1,78	2,17	1,36
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	1,98	5,24	6,66	4,58

A Tabela 12 apresenta o índice *Edge density* (ED) para as áreas amostradas e de estudo.

Tabela 12: Índice ED das classes temáticas ds áreas amostradas e de estudos.

<b>Classe</b>	<b>Area 1</b>	<b>Area 4</b>	<b>Area 9</b>	<b>Area Total</b>
<b>Formação florestal</b>	46,42	69,45	80,74	60,76
<b>Floresta plantada</b>	32,32	22,98	14,25	22,74
<b>Pastagem</b>	23,31	26,12	34,55	30,70
<b>Cultura anual e perene</b>	5,62	23,67	31,52	23,25
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	13,47	64,51	84,51	51,52

No estudo de MACEDO et al. (2018) para o município de Santa Rosa (SC) foram encontrados números semelhantes para cobertura da terra nas classes amostradas: a classe formação florestal teve 51%, floresta plantada 25% e pastagens 19%. Já DA CUNHA e MARTINS (2017) encontraram valores um pouco diferentes no município de Otacílio Costa (SC): formação florestal com 27%, floresta plantada 36% e pastagens 18%. Essa diferença ocorre pela complexidade geográfica do estado de Santa Catarina, onde o relevo é díspar em cada uma das áreas de estudo citadas, além da distância existente entre as áreas de estudo, bem como da diferença cultural em cada área. Essa diferença se dá também pelo ação antrópica na região de Otacílio Costa, que segundo MENEGATTI et al. (2014), sofreu fragmentação florestal e mudanças florísticas e estruturais na vegetação original, principalmente devido à intensa exploração madeireira e conversão dessas áreas para atividades agropecuárias. O que explica o menor percentual de formação florestal em relação a este estudo e ao estudo de DA CUNHA e MARTINS (2017). Os estudos aqui comparados não utilizaram os mapas de cobertura da terra disponibilizados pelo MapBiomas; de fato, à luz de nosso conhecimento, poucos são ainda os estudos publicados que utilizam o MapBiomas.

Os índices ED e PD indicam que há elevada fragmentação da paisagem na área de estudo. O processo de mudança da paisagem como resultado da fragmentação, causada principalmente pelas atividades de manejo florestal (corte nítido, desenvolvimento de redes ferroviárias e rodoviárias e plantações), tem consequências de longo alcance para plantas nativas, vertebrados e invertebrados; particularmente a sobrevivência de espécies ameaçadas (MIDHA; MATHUR, 2010).

O conjunto das quatro métricas quantificadas neste estudo não tem o objetivo de fazer uma análise ecológica da área, mas mostra-se útil para quantificar processos espaciais e pode ser usado como um meio eficaz de monitoramento na paisagem da Microrregião de Joaçaba. A análise realizada através do FRAGSTATS aplicada neste estudo tem sido utilizada em várias regiões do mundo. Em RAINES (2002) o FRAGSTATS foi utilizado para fazer a descrição e comparação de escalas de mapas geológicos. As estatísticas do FRAGSTATS quantificaram a

complexidade e a precisão espacial aumentadas inerentes à passagem de mapas de pequena para grande escala: para mapas em escala 1:2.500.000 a 1:500.000 do estado americano de Nevada, a dimensão fractal ponderada da área aumenta de 1.1 para 1.18, e o índice total de áreas centrais quase dobra, de 39.09 para 63.38, respectivamente. Em estudo semelhante, LAMINE e et al. (2018) quantificaram a dinâmica do padrão de paisagem espaço-temporal de cobertura da terra, utilizaram o banco de imagens Hyperion com *support vector machines* para mapear a dinâmica de alterações de cobertura da terra, durante um período de nove anos (2001–2009) em um ecossistema típico do Mediterrâneo. Eles investigaram as relações entre as alterações de cobertura da terra e as características de fragmentação da paisagem. Os autores verificaram que em 2001 a classe de cobertura de terra Coníferas era predominante, com 9,74%, já em 2009 a classe de cobertura de terra predominante foi Agricultura, com 8,57%; os autores utilizaram seis índices de fragmentação nas análises, e três deles também foram utilizados neste trabalho: PLAND, PD e NP. Esses índices são capazes de apresentar informações básicas, porém relevantes a nível de fragmentação, por isso a decisão de utilizá-los.

Em estudo de LI et al. (2001), quantificaram a estrutura da paisagem da bacia do rio Heihe, noroeste da China, para as diferentes áreas de estudo. As classes de cobertura da terra com maior predominância foram: Em Qilian Moutains, Prado alpino com 42%; Oasis zone no Hexi Corridor, Deserto com 37%; noroeste de Hexi Corridor, Deserto com 40%; Ruoshui River, Prado, com 27%; Bacia de Guazinai, Deserto arenoso com 48%. Foram utilizados índices em comum com este estudo, PLAND, NP, além dos demais índices, *Mean patch size*, *Area*, *Weighted mean*, *Shape index*, *Patch fractal dimension*, *Mean nearest-neighbor distance*, *Mean proximity index* e *Interspersion and juxta position index*. No entanto, os autores comentam em seus resultados dos índices mais comumente utilizados, como NP, PLAND, e não mencionaram os outros índices, que são utilizados com maior frequência para análises ecológicas. MIDHA e MATHUR (2010) avaliaram a fragmentação florestal na paisagem de Dudhwa na Índia, utilizaram imagens *raster* no FRAGSTATS para ter acesso às diferentes métricas geradas por ele. Os índices utilizados pelos autores foram, *Patch density*, *Mean patch size*, *Edge density*, *Mean shape index*, *Mean core area*, *Mean nearest-neighbor distance*, e *Interspersion and juxtaposition index*. A classe de cobertura da terra mais frequente na área de estudo foi Sal moderadamente denso, com 23%. Os resultados também indicam que essa mesma área está moderadamente fragmentada.

A fragmentação da paisagem foi estudada por XING e et al. (2012) na área suburbana de Shangai, os autores utilizaram sensoriamento remoto e o *software* FRAGSTATS. Foram

utilizadas duas imagens do satélite Landsat (2001 e 2005) e fizeram um comparativo dos índices de fragmentação de paisagem para cinco distritos da cidade. Diferentemente dos demais estudos, este foi realizado em áreas urbanas, o que gerou diferentes classes de cobertura da terra mais frequentes, Água, Vegetação, Construção e Fábricas. De forma geral para todos os distritos analisados, houve uma redução na cobertura da terra para as classes Água e Vegetação e um aumento da classe Construção. Em estudo de MACLEAN e CONGALTON (2015) os autores realizaram uma comparação entre os programas de análise de fragmentação da paisagem para identificar qual deles possui melhor acurácia. Para isso foram realizados testes onde foi utilizada a análise de espécies invasoras em borda da floresta. Os resultados mostraram que os *softwares* que tiveram melhor acurácia foram o FRAGSTATS com 66,16% e o PolyFrag com 61,47%. Ambos os programas previram que plantas invasoras eram menos prováveis de serem encontradas em florestas decíduas do que em florestas mistas ou coníferas. Verifica-se que o *software* FRAGSTATS possui grande aceitabilidade na comunidade científica e também grande acurácia em todos os estudos citados.

Na pesquisa realizada por FERREIRA et al., (2019) na bacia do Rio Mourão, no estado do Paraná foi utilizado o *software* FRAGSTATS para calcular as métricas da paisagem e posteriormente comparar as alterações na fragmentação da paisagem em um período de 15 anos, entre 1991 e 2016. Os índices utilizados no FRAGSTATS foram *Area*, *Core area*, *Edge density*, *Shape complexity index* e *Connectivity*. Tais índices tem como função apresentar resultados para análises ecológicas aprimoradas. Como resultado, foi observada uma redução no número de fragmentos florestais desde 1991, com uma quantidade máxima de 5.243 fragmentos em 1993 que caiu para 4.015 fragmentos em 2016. Embora o número de fragmentos na bacia hidrográfica tenha diminuído, a área média aumentou 72,9% e a média do *Shape complexity index* aumentou de 1,3 em 1991 para 1,5 em 2016. Além disso, houve um aumento de 64,7% na densidade de borda dos fragmentos e uma redução de 35,6 m no isolamento entre os vizinhos mais próximos. O grau de isolamento dos fragmentos passou por um processo de expansão e redução quando comparado a 1991, apresentou resultados que sustentam a hipótese de que a Mata Atlântica está em processo de estabilização e restauração florestal.

Em outro estudo realizado por FERNANDES; FERNANDES, (2017) na bacia do Rio Ubá, região de Mata Atlântica, no estado do Rio de Janeiro, foi realizada uma análise espacial da fragmentação florestal da região. Para isso foram geradas as métricas da paisagem através do FRAGSTATS, são as mais comumente utilizadas, *Diversity*, *Area*, *Edge density*, *Core area*, *Fractal dimension index* e *Connectivity*. Os resultados gerados por estes índices apresentam informações que podem ser utilizadas principalmente para análise ecológica. Como resultado o

uso e ocupação da terra da Bacia do Rio Ubá apresentou como maior uso a classe Pastagem com 46,28%, Áreas urbanas com 16,81%, Corpo d'água com 0,14% e Solo exposto com apenas 0,09%. Quando se somam todos os usos de natureza antrópica, observa-se que 63,32% da bacia está sob uma matriz antrópica. Existem 47 fragmentos florestais na Bacia do Rio Ubá. Os fragmentos florestais corresponderam a uma área de 2.030 ha, aproximadamente 23,65% de uma área total de 8.585 ha. O autor cita que tal número pode ser considerado como um bom percentual de cobertura florestal quando comparado com outras bacias da Mata Atlântica. Com base nesta informação pode-se considerar que a Microrregião de Joaçaba também possui um bom percentual de cobertura florestal, 36,74%.

### 2.6.5 Análise estatística

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk os dados das métricas da paisagem, tamanho médio das propriedades e quantidade de propriedades aqui analisados, têm distribuição normal, com P-Valor > 5%, conforme apêndice B. O resultado das análises demonstra que existe uma correlação positiva entre o tamanho das propriedades rurais e os índices de fragmentação da paisagem. Quanto maior é o tamanho da propriedade menor é a fragmentação das classes de cobertura da terra (apêndice C). A Tabela 13 mostra o resultado da análise estatística de correlação entre o tamanho médio das propriedades e a fragmentação da paisagem para as principais classes de cobertura da terra nas áreas de estudo

Tabela 13: Correlação entre área média das propriedades e os índices PD, NP e ED.

Classes	Área vs PD		Área vs NP		Área vs ED	
	Resultado	Correlação	Resultado	Correlação	Resultado	Correlação
<b>Formação florestal</b>	0,99	Forte	0,99	Forte	0,97	Forte
<b>Floresta plantada</b>	0,99	Forte	0,99	Forte	0,91	Forte
<b>Pastagem</b>	0,97	Forte	0,97	Forte	0,76	Forte
<b>Cultura anual e perene</b>	0,99	Forte	0,99	Forte	0,97	Forte
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	0,97	Forte	0,98	Forte	0,98	Forte

A Tabela 14 mostra o resultado da análise estatística de correlação entre a quantidade de propriedades rurais em cada área amostrada e a fragmentação da paisagem para as principais classes de cobertura da terra.

Tabela 14: Correlação entre a quantidade de propriedades e os índices PD, NP e ED.

Classes	Número de Propriedades vs PD		Número de Propriedades vs NP		Número de Propriedades vs ED	
	Resultado	Correlação	Resultado	Correlação	Resultado	Correlação
<b>Formação florestal</b>	0,94	Forte	0,93	Forte	0,99	Forte
<b>Floresta plantada</b>	0,95	Forte	0,94	Forte	0,99	Forte
<b>Pastagem</b>	0,99	Forte	0,99	Forte	0,92	Forte
<b>Cultura anual e perene</b>	0,97	Forte	0,99	Forte	0,99	Forte
<b>Mosaico de agricultura e pastagem</b>	0,99	Forte	0,99	Forte	0,99	Forte

Apesar de a área de estudo apresentar uma proporção de cobertura da terra da classe floresta de 36%, 16% a mais do que o exigido por lei para este tipo de bioma, este estudo mostra que tanto esta classe quanto as demais, possuem altos índices de fragmentação. A área 1 possui menor índice de fragmentação quando comparada com as áreas 4 e 9. A média de tamanho das propriedades desta área é considerada média de acordo com o INCRA e as propriedades das áreas 4 e 9 são consideradas pequenas. Porém, o fato de a área de estudo conter predominantemente propriedades rurais consideradas pequenas pode explicar o alto índice de fragmentação para toda a área de estudo.

## 2.7 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um algoritmo de correção se mostrou positivo, o total de sobreposições na Microrregião de Joaçaba após a correção dos imóveis com polígono de controle foi reduzida para 18.712 sobreposições e o nível de detalhamento do limite das propriedades do CAR vizinhas das propriedades do SIGEF aumentou. A soma da área dos imóveis rurais aumentou devido ao acréscimo das propriedades rurais do SIGEF ao conjunto de propriedades do CAR totalizou 7.634km<sup>2</sup>. A correção das propriedades do CAR, sem polígonos de controle, também se mostrou eficiente e reduziu o número de sobreposições para 16.650 e a soma das áreas das propriedades foi de 7.133km<sup>2</sup>. A correção através da ferramenta *v.clean* reduziu para zero o número de sobreposições, porém, fragmentou as propriedades rurais excessivamente, gerou 131.770 propriedades frente às 22.226 propriedades constantes no CAR, a soma das áreas dos imóveis ficou em 7.397km<sup>2</sup>.

Neste estudo, avaliou-se as correlações entre tamanho médio das propriedades rurais e a fragmentação da paisagem para as principais classes de cobertura da terra, formação florestal, floresta plantada, pastagem, cultura anual e perene, e mosaico de agricultura e pastagem. Existe uma correlação positiva entre a área da propriedade e fragmentação das principais classes de cobertura da terra em relação aos índices *Patch density*, *Number of patches* e *Edge density* analisados, com (P <0,05) para todas elas. Os índices *Edge Density* e *Patch Density* mostram que a paisagem está bastante fragmentada nas três áreas analisadas, porém, está mais fragmentada nas áreas quatro e nove, que possuem propriedades menores que a área um, mostrando que quanto menores são as propriedades rurais de uma determinada área, mais fragmentada tende a ser a paisagem.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A motivação principal do desenvolvimento de uma ferramenta para fazer as correções de sobreposições dos imóveis rurais do CAR foi não encontrar nenhuma ferramenta capaz de fazer a correção de sobreposições com polígonos de controle. A luz de nosso conhecimento, não há uma ferramenta específica capaz de atender esta demanda. Desenvolver um *script* de correção de polígonos capaz de trabalhar com milhares de vértices e fazer inúmeras verificações de sobreposições não foi uma tarefa fácil, principalmente devido ao tempo de desenvolvimento e da escolha e aprendizado de uma nova linguagem de programação.

Este trabalho mostrou que é possível utilizar ferramentas capazes de melhorar os dados contidos na base do CAR e o produto final desta dissertação é um *script* na linguagem R, disponibilizado gratuitamente como um pacote no GitHub. O *script* tem capacidade de corrigir as sobreposições das propriedades rurais apenas com os dados do próprio CAR ou utilizar as propriedades rurais de controle, como os dados do SIGEF, e gerar um novo mapa de propriedades, com menos sobreposições e maior nível de detalhamento.

Apesar de o *script* se mostrar eficiente na correção dos dados, ele possui limitações, pois o tempo de execução se mostrou elevado. Ao atribuir novos limites entre duas propriedades não há garantias de que os limites entre duas propriedades seja realmente o definido pelo algoritmo, mesmo após as correções do CAR. O comparativo entre a declaração dos proprietários dos imóveis rurais em relação a área de floresta nativa, frente ao mapeamento da mesma classe de cobertura da terra do MapBiomias mostrou uma diferença de 110% a mais na área identificada pelo Mapbiomas, o que comprova a afirmação de vários autores sobre as limitações das declarações do CAR. Isso mostra que corrigir os dados do CAR não é o bastante, é preciso rever a forma de cadastro, impor limitações em relação à possibilidade de sobrepor imóveis ou mesmo exigir que este cadastro seja feito por um profissional da área.

O *script* desenvolvido pode ser aprimorado em alguns aspectos, dentre eles, a melhoria na performance de execução que se mostrou fraca. A correção de alguns municípios levou algumas horas para ser processada, devido à complexidade do formato das propriedades rurais. É desejável que o *script* execute a correção das lacunas existentes entre as propriedades. Não foi possível processar a correção dos imóveis rurais de dois municípios da Microrregião de Joaçaba, mesmo ao executar a validação de formas geométricas no pré-processamento, pois algum erro não identificado impediu a execução. Também seria interessante se o *script* pudesse receber mais dados como parâmetros de entrada, informações de relevo, bacia hidrográfica e rodovias, e aprimorar o processo de tomada de decisão na correção dos polígonos.

A metodologia utilizada nesta dissertação pode ser extrapolada para todo o estado de Santa Catarina, ou mesmo todo o Brasil, e gerar uma base de dados do CAR com menos sobreposições do que a atual, o que possibilita produzir dados estatísticos mais precisos em trabalhos futuros. Os resultados dessa dissertação podem ser utilizados para o desenvolvimento de políticas de conservação diferenciadas para produtores rurais de propriedades com distribuições espaciais diferentes, pois a dinâmica de fragmentação da paisagem é díspar para os muitos tamanhos de propriedades rurais existentes.

A análise estatística dos índices da paisagem mostrou que a área estudada possui grande fragmentação das principais classes de cobertura da terra, e que existe uma correlação positiva entre o tamanho médio das propriedades rurais e os índices de fragmentação, pois quanto menores são as propriedades rurais, mais fragmentada tende a ser a paisagem. Essa informação pode ser útil na elaboração de políticas ecológicas, como a criação de corredores ecológicos, levando em consideração a dificuldade de integrar os pequenos fragmentos florestais existentes nessas propriedades.

## REFERÊNCIAS

- AKOGLU, Haldun. Turkish Journal of Emergency Medicine User ' s guide to correlation coefficients. *[S. l.]*, v. 18, n. August, p. 91–93, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- ANTONA, O. D.; VANWEY, Æ. Leah K.; HAYASHI, Corey M. Property Size and Land Cover Change in the Brazilian Amazon. *[S. l.]*, p. 373–396, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11111-006-0031-4>
- ARMESTO, Juan J. *et al.* From the Holocene to the Anthropocene: A historical framework for land cover change in southwestern South America in the past 15,000 years. **Land Use Policy**, *[S. l.]*, v. 27, n. 2, p. 148–160, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.07.006>
- CAR. *[S. l.]*, 2019. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads>
- DA CUNHA, Ricardo Borges; MARTINS, Cesar Augusto Avila. Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. **RA' E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, *[S. l.]*, v. 39, p. 43–56, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/raega>
- DA SILVA SEABRA, Vinicius *et al.* MAPEAMENTO DA DINÂMICA DA COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO, RJ Mapping the Dynamics of Land cover and Land Use in the watershed of São João River, RJ. *[S. l.]*, v. 25, n. 2, p. 411–426, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sn/v25n2/a15v25n2.pdf>
- DE ALCÂNTARA LAUDARES, Sarita Soraia; GOMES DA SILVA, Kmila; COIMBRA BORGES, Luís Antônio. Cadastro Ambiental Rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, *[S. l.]*, v. 31, p. 111–122, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v31i0.33743>
- DE OLIVEIRA, Ana Luisa Araujo; BRUGNARA, Emanuelle. Rural environmental registry: Is it an instrument to evidence environmental conflicts on indigenous lands? **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, *[S. l.]*, v. 46, p. 197–212, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v46i0.56773>
- DOWNS, Peter W.; PIÉGAY, Hervé. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect. **Geomorphology**, *[S. l.]*, v. 338, p. 88–104, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.021>
- EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO QGIS. Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. *[S. l.]*, 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>
- ESRI. ArcGIS Desktop Help. *[S. l.]*, 2009. Disponível em: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=copyright information](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=copyright%20information)
- FERNANDES, Milton Marques; FERNANDES, Márcia Rodrigues de Moura. Análise espacial da fragmentação florestal da bacia do Rio Ubá - RJ. **Ciencia Florestal**, *[S. l.]*, v. 27, n. 4, p. 1429–1439, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509830330>

FERREIRA, Igor José Malfetoni *et al.* Landscape pattern changes over 25 years across a hotspot zone in southern Brazil. **Southern Forests**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 175–184, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2989/20702620.2018.1542563>

FREITAS, Flavio L. M. *et al.* Who owns the Brazilian carbon? **Global Change Biology**, [S. l.], v. 24, n. 5, p. 2129–2142, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14011>

GANEM, Khalil Ali *et al.* Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ Impacto da Correção Atmosférica na Classificação da Cobertura da Terra da Carta Topográfica SC-24-V-C ( Petrolina ) Utilizando o Google Earth Engine e Imagens Landsat-8 Impact of Atmospheric Correction on Land Co. [S. l.], v. 42, p. 100–116, 2019.

GODAR, Javier; TIZADO, Emilio Jorge; POKORNY, Benno. Who is responsible for deforestation in the Amazon? A spatially explicit analysis along the Transamazon Highway in Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 267, p. 58–73, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.046>

GORELICK, NOEL AND HANCHER, MATT AND DIXON, MIKE AND ILYUSHCHENKO, SIMON AND THAU, DAVID AND MOORE, Rebecca. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

HANSEN, Matthew C.; LOVELAND, Thomas R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 122, p. 66–74, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>

IBGE. . [s. l.], 2020. Disponível em: [ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2015/UFs/SC/](ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/SC/).

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-. **Manual Técnico de Pedologia 2ª edição**. [S. l.: s. n.]. v. 5E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.18391/qualitas.v7i1.128>

INCRA. Módulos Fiscais INCRA. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/pt/modulo-fiscal.html>

JOÃO SIQUEIRA. MapBiomas User Toolkit. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://github.com/mapbiomas-brazil/user-toolkit>

JUNG, Martin. LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, [S. l.], v. 31, p. 18–21, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>

JUNG, Suhyun *et al.* Brazil's National Environmental Registry of Rural Properties: Implications for Livelihoods. **Ecological Economics**, [S. l.], v. 136, p. 53–61, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.004>

KJELLAND, Michael E. *et al.* Factors related to spatial patterns of rural land fragmentation in Texas. **Environmental Management**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 231–244, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0291-7>

KLEIN GOLDEWIJK, Kees *et al.* The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 73–86, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00587.x>

LAMINE, Salim *et al.* Quantifying land use/land cover spatio-temporal landscape pattern dynamics from Hyperion using SVMs classifier and FRAGSTATS®. **Geocarto International**, [S. l.], v. 33, n. 8, p. 862–878, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1307460>

LI, Xin *et al.* Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 48, n. 4, p. 521–535, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0715>

MACEDO, Rodrigo de Campos *et al.* Land use and land cover mapping in detailed scale: A case study in Santa Rosa de Lima-SC. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 217–234, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702018000200015>

MACLEAN, Meghan Graham; CONGALTON, Russell G. PolyFrag: A vector-based program for computing landscape metrics. **GIScience and Remote Sensing**, [S. l.], v. 50, n. 6, p. 591–603, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15481603.2013.856537>

MACLEAN, Meghan Graham; CONGALTON, Russell G. A comparison of landscape fragmentation analysis programs for identifying possible invasive plant species locations in forest edge. **Landscape Ecology**, [S. l.], v. 30, n. 7, p. 1241–1256, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0175-7>

MAPBIOMAS. MapBiomass General “Handbook” - Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). [S. l.], p. 42, 2019. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas/mapbiomas-br/v4/ATBDs/ATBD\\_Collection\\_4\\_v1.pdf](https://storage.googleapis.com/mapbiomas/mapbiomas-br/v4/ATBDs/ATBD_Collection_4_v1.pdf)

MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, and E. ENE. **FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. [S. l.], 2012a. Disponível em: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

MCGARIGAL, K., SA CUSHMAN, and E. ENE. **FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. **Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst**, [S. l.], 2012 b. Disponível em: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

MCGARIGAL, Kevin. **Fragstats**. **Fragstats**, [S. l.], n. April, p. 1–182, 2015. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00047-9)

MENEGATTI, Renata Diane *et al.* Relação etnobotânica dos proprietários rurais do município de Urupema, SC, com recursos florestais. **Floresta**, [S. l.], v. 44, n. 4, p. 725–734, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/RF.V44I4.29846>

METZGER, Jean Paul *et al.* Why Brazil needs its Legal Reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 91–103, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>

MIDHA, N.; MATHUR, P. K. Assessment of forest fragmentation in the conservation priority Dudhwa landscape, India using FRAGSTATS computed class level metrics. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 487–500, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0034-6>

NETELER, Markus *et al.* GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. **Environmental Modelling and Software**, [S. l.], v. 31, p. 124–130, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>

PALARETI, G. *et al.* Comparison between different D-Dimer cutoff values to assess the individual risk of recurrent venous thromboembolism: Analysis of results obtained in the DULCIS study. **International Journal of Laboratory Hematology**, [S. l.], v. 38, n. 1, p. 42–49, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>

RAINES, Gary L. Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS - A spatial statistics program. **Computers and Geosciences**, [S. l.], v. 28, n. 2, p. 169–177, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00030-9)

ROSALEN, David L. The impact of the law 10,267/2001 in the brazilian rural registration. **Engenharia Agrícola**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 372–384, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200018>

SAYLOR ACADEMY. Essentials of Geographic Information Systems. [S. l.], 2012. Disponível em: [https://saylordotorg.github.io/text\\_essentials-of-geographic-information-systems](https://saylordotorg.github.io/text_essentials-of-geographic-information-systems)

SERTEL, Elif *et al.* Comparison of landscape metrics for three different level land cover/land use maps. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [S. l.], v. 7, n. 10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi7100408>

**SIGEF**. . [s. l.], 2019. Disponível em: <https://sigef.incra.gov.br/>.

SPAROVEK, Gerd *et al.* Who owns Brazilian lands? **Land Use Policy**, [S. l.], v. 87, n. June, p. 104062, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104062>

WILKINS, Neal *et al.* Texas rural lands: trends and conservation implications for the 21st century. **Final summary report of the Texas A&M Rural Land Fragmentation Project**, [S. l.], p. B6134, 26 pp, 2003.

XING, Xueyun; ZHOU, Qian; FENG, Yongjiu. Investigating landscape fragmentation in suburban area using remote sensing and Fragstats: A case study of Shanghai. **2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, RSETE 2012 - Proceedings**, [S. l.], n. 11, p. 1–4, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/RSETE.2012.6260602>

ZATELLI, Paolo *et al.* Relevance of the cell neighborhood size in landscape metrics evaluation and free or open source software implementations. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [S. l.], v. 8, n. 12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi8120586>

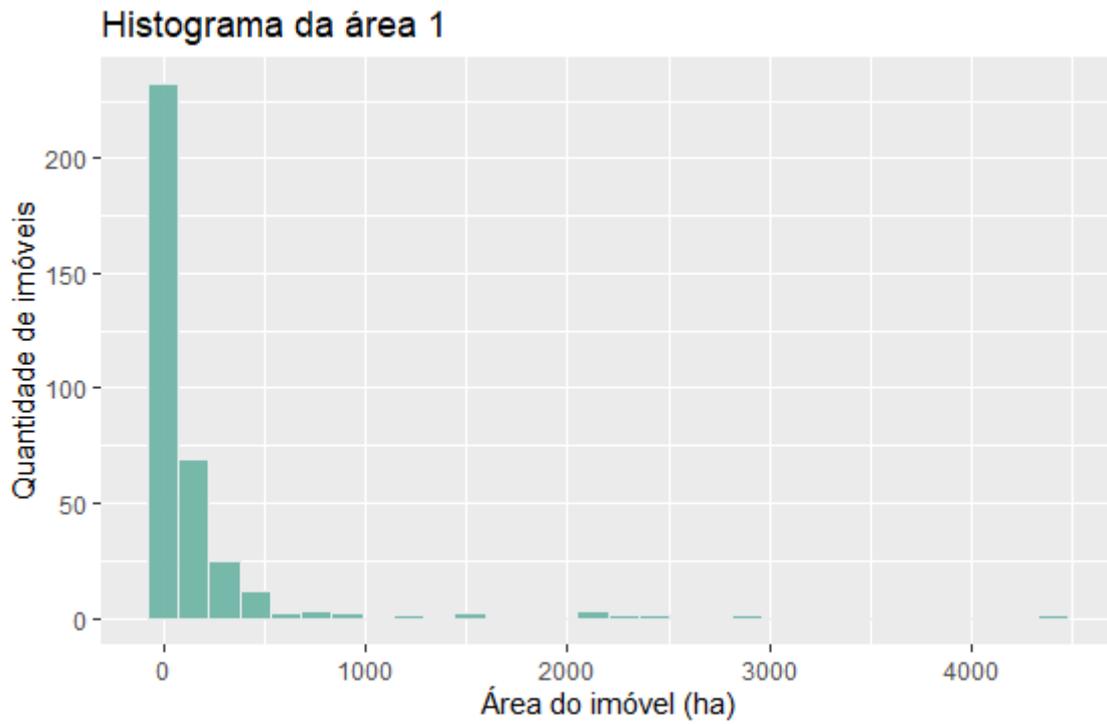
**APÊNDICE A – Histogramas das áreas das propriedades rurais**

Figura A 1: Histograma da quantidade de imóveis relacionada à área do imóvel.

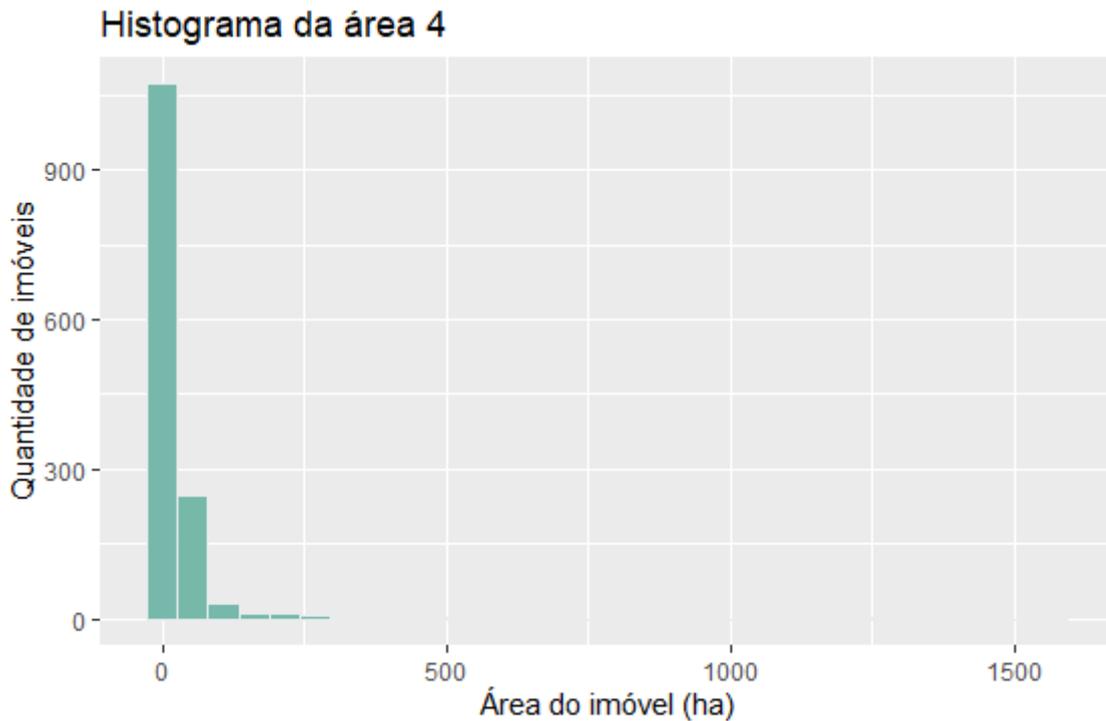


Figura A 2: Histograma da quantidade de imóveis relacionada à área do imóvel.

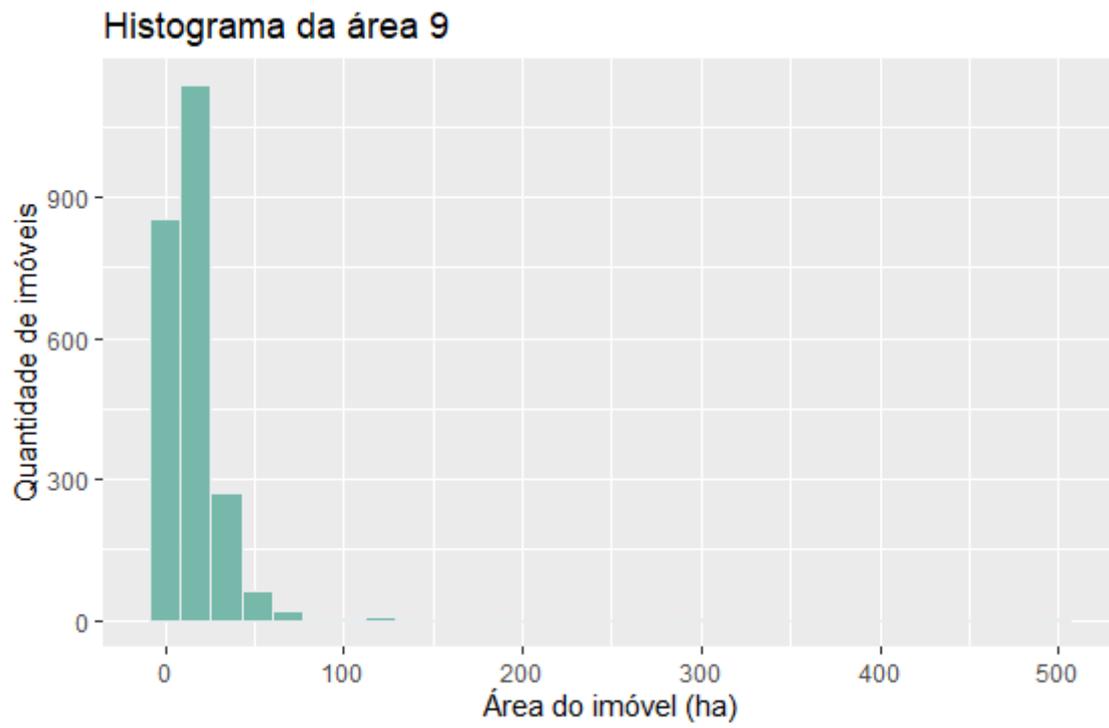


Figura A 3: Histograma da quantidade de imóveis relacionada à área do imóvel.

**APÊNDICE B - Resultados dos testes de normalidade das métricas da paisagem  
executados na linguagem R**

*Percentage of landscape*

Formação florestal  
Shapiro-wilk normality test  
data: pland\_ff  
W = 0.90252, p-value = 0.3936

Floresta plantada  
Shapiro-wilk normality test  
data: pland\_fp  
W = 0.9831, p-value = 0.751

Pastagem  
Shapiro-wilk normality test  
data: pland\_p  
W = 0.97327, p-value = 0.6863

Cultura anual e perene  
Shapiro-wilk normality test  
data: pland\_cap  
W = 0.9759, p-value = 0.7023

Mosaico de agricultura e pastagem  
Shapiro-wilk normality test  
data: pland\_map  
W = 0.9121, p-value = 0.4251

*Number of patches*

Formação florestal  
Shapiro-wilk normality test  
data: np\_ff  
W = 0.79396, p-value = 0.1001

Floresta plantada  
Shapiro-wilk normality test  
data: np\_fp  
W = 0.82823, p-value = 0.1838

Pastagem  
Shapiro-wilk normality test  
data: np\_p  
W = 0.96216, p-value = 0.6261

Cultura anual e perene  
Shapiro-wilk normality test  
data: np\_cap  
W = 0.90612, p-value = 0.4052

Mosaico de agricultura e pastagem  
Shapiro-wilk normality test  
data: np\_map  
W = 0.95014, p-value = 0.5699

*Patch density*

Formação florestal  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: pd\_ff  
 W = 0.81413, p-value = 0.1487

Floresta plantada  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: pd\_fp  
 W = 0.83041, p-value = 0.1894

Pastagem  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: pd\_p  
 W = 0.96325, p-value = 0.6316

Cultura anual e perene  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: pd\_cap  
 W = 0.90722, p-value = 0.4089

Mosaico de agricultura e pastagem  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: pd\_map  
 W = 0.95097, p-value = 0.5736

#### *Edge density*

Formação florestal  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: ed\_ff  
 W = 0.9625, p-value = 0.6278

Floresta plantada  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: ed\_fp  
 W = 0.99962, p-value = 0.9626

Pastagem  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: ed\_p  
 W = 0.92324, p-value = 0.4639

Cultura anual e perene  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: ed\_cap  
 W = 0.95079, p-value = 0.5728

Mosaico de agricultura e pastagem  
 Shapiro-wilk normality test  
 data: ed\_map  
 W = 0.94021, p-value = 0.5282

### APÊNDICE C – Resultado dos testes de correlação de pearson

Neste apêndice são demonstradas as correlações de alguns dos principais índices com as classes de cobertura da terra, tanto para a área média quanto para o total de imóveis por área. Os dados aqui apresentados foram obtidos através da execução de scripts utilizando a linguagem R.

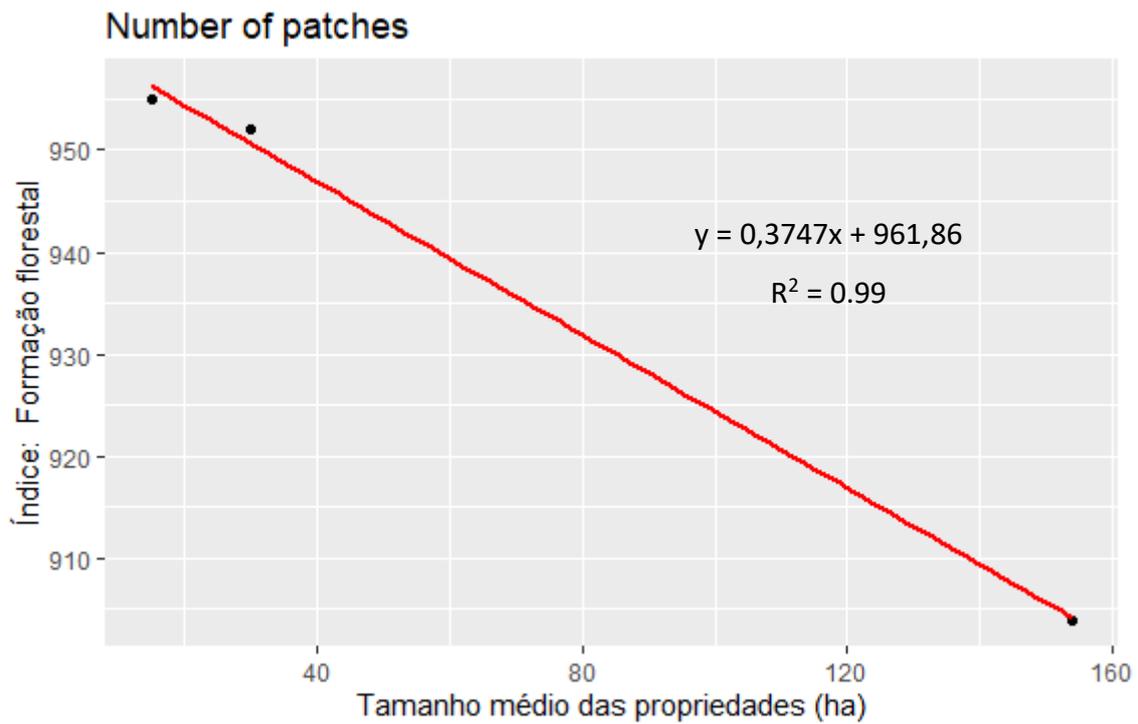


Figura C 4: Correlação de Pearson entre o tamanho médio das propriedades e o índice *Number of patches* para a classe Formação florestal: -0.99.

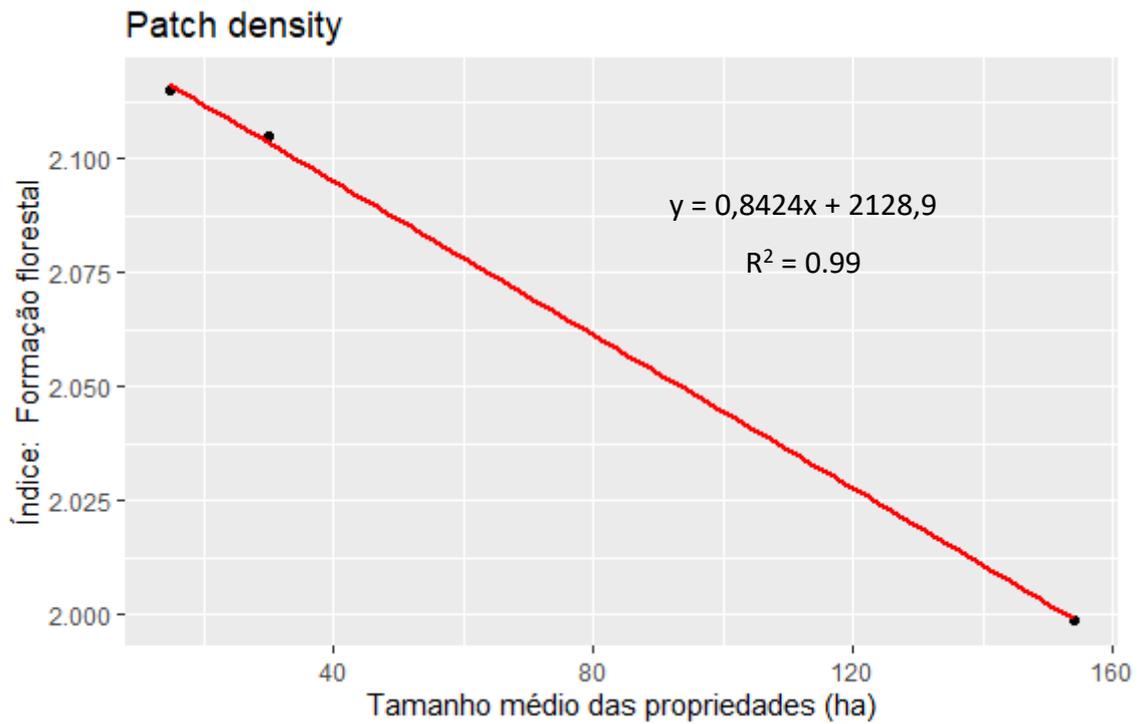


Figura A 9: Correlação de Pearson entre o tamanho médio das propriedades e o índice *Patch density* para a classe Formação florestal: -0.99.

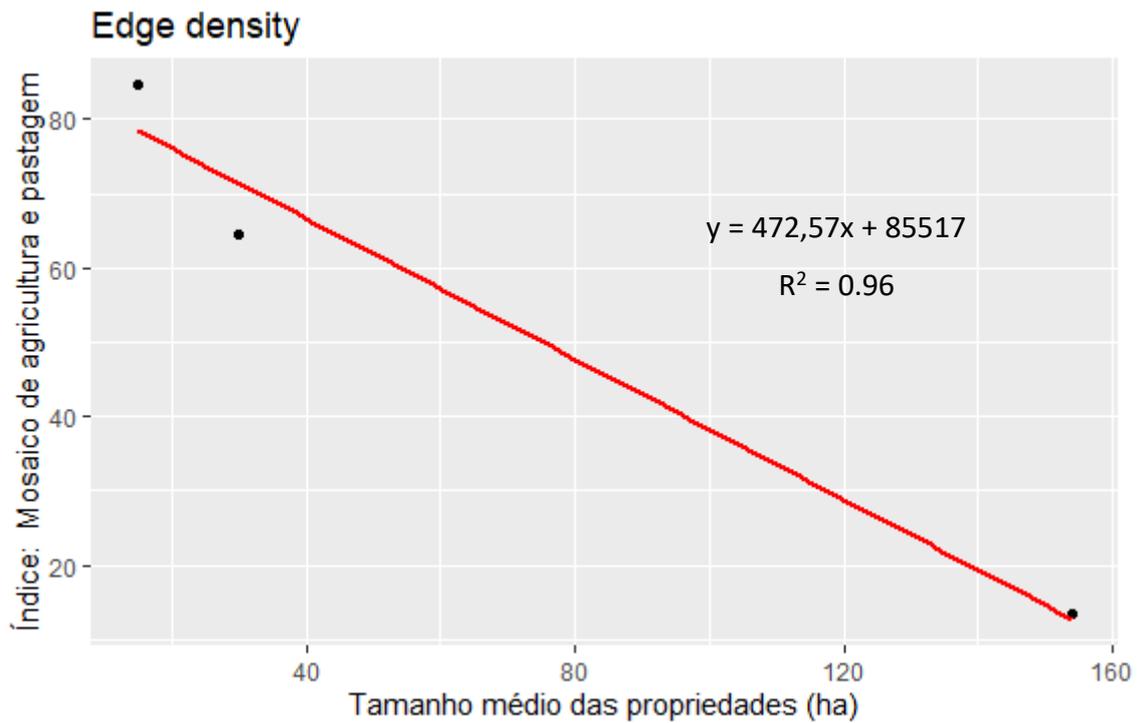


Figura A 18: Correlação de Pearson entre o tamanho médio das propriedades e o índice *Edge density* para a classe Mosaico de agricultura e pastagem: -0.98.

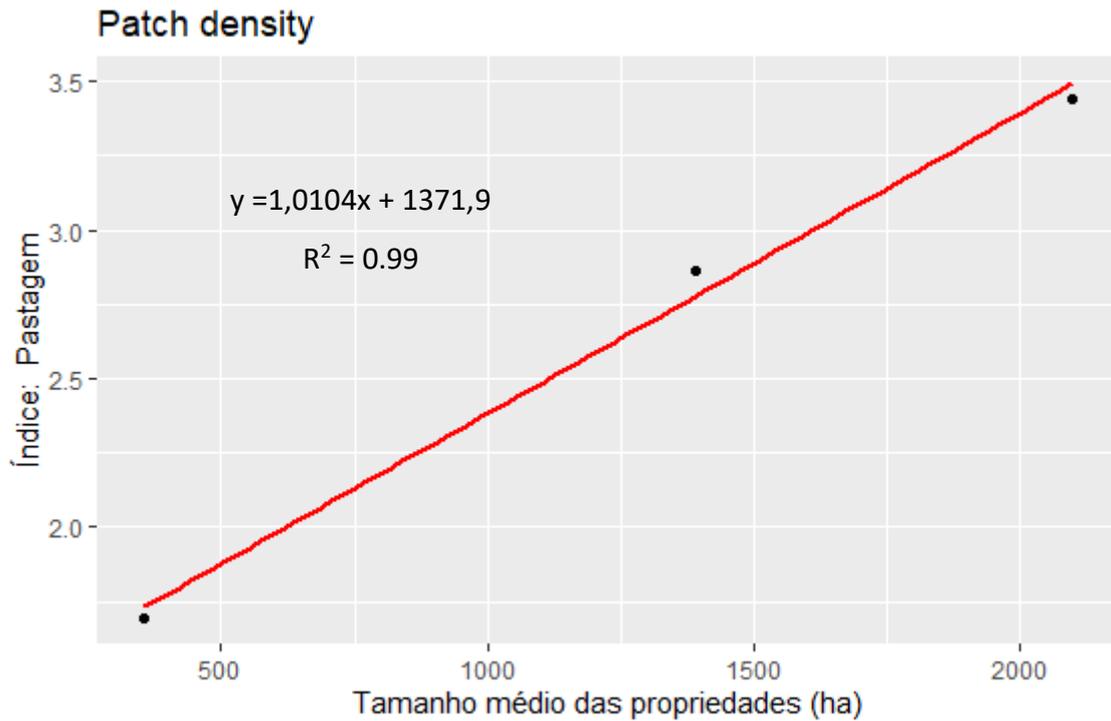


Figura A 26: Correlação de Pearson entre a quantidade de propriedades e o índice *Patch density* para a classe Pastagem: 0.99.

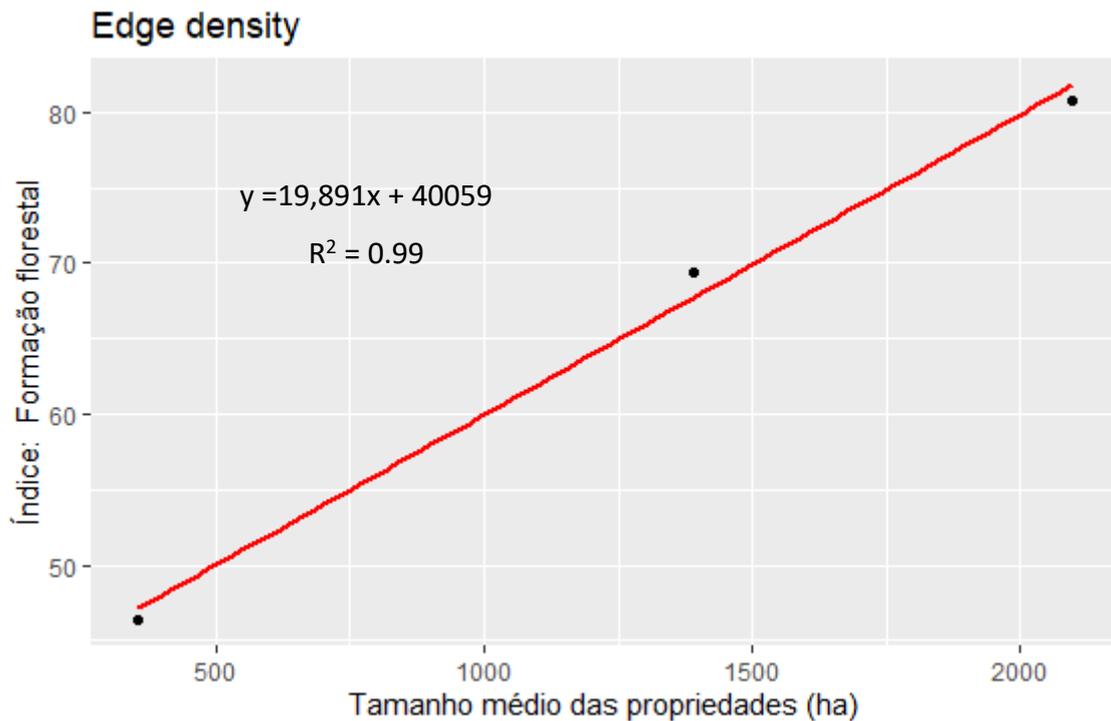


Figura A 29: Correlação de Pearson entre a quantidade de propriedades e o índice *Edge density* para a classe Formação florestal: 0.99.

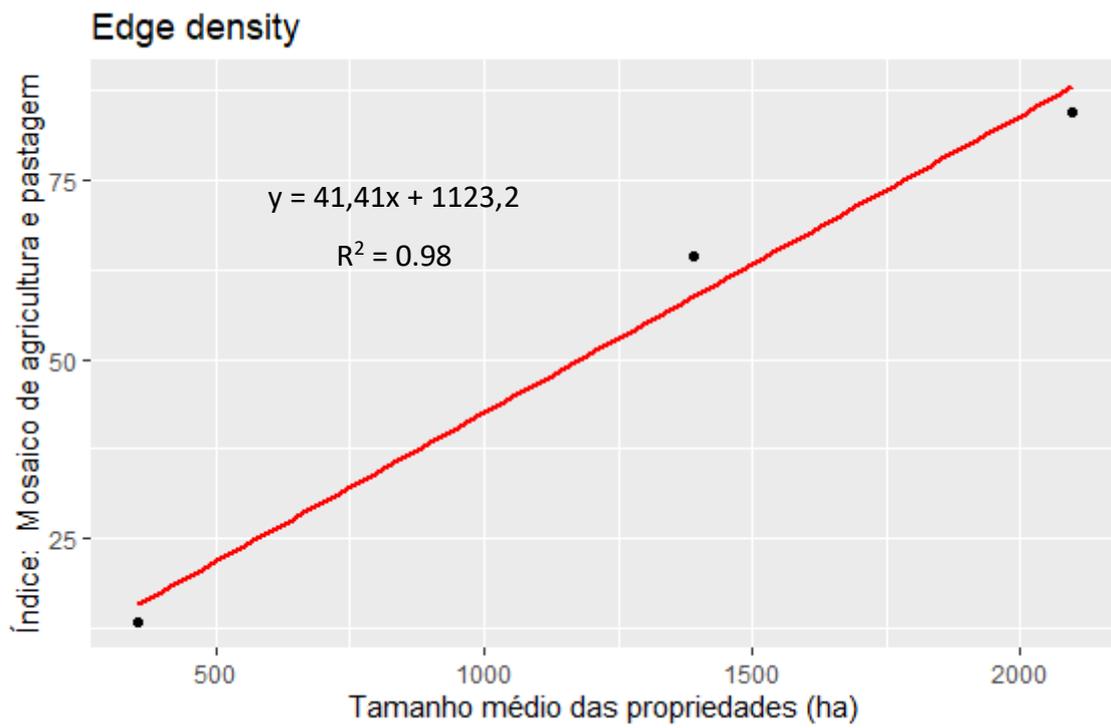


Figura A 33: Correlação de Pearson entre a quantidade de propriedades e o índice *Edge density* para a classe Mosaico de agricultura e pastagem: 0.99.

## APÊNDICE D – Código do script de correção na linguagem R

```

1 #' Polygon Correction
2 #'
3 #' Fix the sobreposition of geometries in a shapefile based in an control
shapefile
4 #' @param shapeToCorrect The path of the shapefile to correct
5 #' @param shapeControl The path of the control shapefile used to correct the
bugged shapefile
6 #' @param pathToSave Path to save the new shapefile
7 #' @param nameToSaveNewShapefile The name of the new shapefile generated by the
correction
8 #' @return The new shapefile fixed by the code
9 #' @examples
10 #' shshapefileCorrected <- carCorrection("C:/r/municipios.shp",
"C:/r/control_incra.shp", "ShapefileCorrected");
11 #' @export
12
13 pyCorrection2 <- function(shapeToCorrect, shapeControl, pathToSave,
nameToSaveNewShapefile){
14
15   start_time <- Sys.time();
16
17   ##### LOADING THE SHAPEFILE #####
18   # Initiate the libraries
19   library(maptools)
20   library(maps)
21   library(rgdal)
22   library(ggplot2)
23   library(raster)
24   library(sf)
25   library(sp)
26   library(foreach)
27   library(rgeos)
28   library(spdep)
29   library(stringr)
30   library(cleangeo)
31
32   # Reading the shapefiles
33   shapefileOriginal <- readOGR(shapeToCorrect);
34
35   # simplify the polgons a tad (tweak 0.00001 to your liking)
36   shapefileOriginal <- gSimplify(shapefileOriginal, tol = 0.00001)
37
38   # this is a well known R / GEOS hack (usually combined with the above) to
39   # deal with "bad" polygons
40   shapefileOriginal <- gBuffer(shapefileOriginal, byid=TRUE, width=0)
41
42   # any bad polys?
43   sum(gIsValid(shapefileOriginal, byid=TRUE)==FALSE)
44
45   possuiControle <- FALSE;
46
47   # checks if there are polygons in the file
48   if(shapeControl != ""){
49
50     controlDbf <- str_replace(shapeControl, "shp", "dbf")
51     dbfData <- sf::st_read(dsn = controlDbf)
52
53     # if there is data, open the file
54     if(length(dbfData$geometry) > 0){
55
56       possuiControle = TRUE;
57       controle <- readOGR(shapeControl);
58
59       # The control Shapefile receives a new column to identify the control

```

```

60     controle$col_control = 1:nrow(controle);
61
62     # adding a value to the control column
63     #i = 1;
64     #foreach(controle) %do%{
65
66     #   controle$controle = 1;
67     #   i = i + 1;
68     #}
69     controle$col_control = 1;
70
71     # Plot the loaded shapefiles
72     #plot(shapefileOriginal);
73     #plot(controle);
74
75     # Transform the projection system from the control shapefile to the same
of the shapefile who will be fixed
76     controle <- spTransform(controle, proj4string(shapefileOriginal));
77
78     # Bind the two shapefiles
79     mapa <- bind(controle, shapefileOriginal);
80     mapaSemControle <- FALSE;
81   }
82 }
83 else if(possuiControle == FALSE){
84   mapa <- shapefileOriginal;
85   mapaSemControle <- TRUE;
86 }
87
88
89 #plugin clgeo para correção dos poligonos
90 #report <- clgeo_CollectionReport(shapefileOriginal)
91 #clgeo_SummaryReport(report)
92 #shapefileOriginal <- clgeo_Clean(shapefileOriginal)
93
94
95 totalPropriedades = length(mapa);
96 print(paste("Total de poligonos nestes arquivos = ", totalPropriedades));
97
98 plot(mapa);
99
100 #####
101 # Function to check if the point of a polygon is overlapping another polygon
102 #####
103
104 verifyPointInPolygon <- function(px, py, poligonoAVerificar){
105
106   # Check how many point there is in the polygon
107   pontosPoligono <-
(length(mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords) / 2) - 1;
108
109   # Verify the minimum value of x
110   a <- 1;
111   Xmin <- '';
112   foreach(p=1:pontosPoligono) %do% {
113
114     if(Xmin == '' || Xmin >
mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,1]){
115       Xmin = mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,1];
116     }
117     a <- a+1;
118   }
119
120   # Verify the maximum value of x
121   a <- 1;
122   Xmax <- '';
123   foreach(p=1:pontosPoligono) %do% {
124

```

```

125     if(Xmax == '' || Xmax <
mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,1]){
126         Xmax = mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,1];
127     }
128     a = a+1;
129 }
130
131
132 # Verify the minimum value of y
133 a = 1;
134 Ymin = '';
135 foreach(p=1:pontosPoligono) %do% {
136
137     if(Ymin == '' || Ymin >
mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,2]){
138         Ymin = mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,2];
139     }
140     a = a+1;
141 }
142
143 # Verify the maximum value of y
144 a = 1;
145 Ymax = '';
146 foreach(p=1:pontosPoligono) %do% {
147
148     if(Ymax == '' || Ymax <
mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,2]){
149         Ymax = mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords[a,2];
150     }
151     a = a+1;
152 }
153
154 # p is your point, p.x is the x coord, p.y is the y coord
155 if (px < Xmin || px > Xmax || py < Ymin || py > Ymax) {
156
157     # Definitely not within the polygon!
158     return(FALSE)
159 } else{
160
161     # Is in the polygon
162     return(TRUE)
163 }
164
165 }
166
167 #####
168 # Script to find the knear neighbor
169 #####
170
171 # Find the neighbours... If you don't use the row.names part, the elements
172 # of the list will be numbered from 0
173 polnb <- poly2nb(mapa, row.names = 1:length(mapa));
174
175 # The coordinates function applied to a SpatialPolygons object will return
176 # the coordinates of the centroids
177 #text(coordinates(mapa), labels = 1:length(mapa), pos = 3);
178
179 # Plot the polygons who have a relationship by line or dots in comum
180 #plot(polnb, coordinates(mapa), pch = 16, col = "blue", add = TRUE);
181
182 # Description of the map elements
183 #summary(polnb);
184
185 # Verify if the polygons are symmetricc
186 knb <- knn2nb(knearneigh(coordinates(mapa), k = 4));
187 is.symmetric.nb(knb);
188

```

```

189 # Froces the symmetry between the polygons
190 knb2 <- make.sym.nb(knb);
191 is.symmetric.nb(knb2);
192
193 # Ploting a non symmetrical map
194 plot(knb, coordinates(mapa), pch = 16, col = "blue", arrows = TRUE, add =
TRUE);
195
196 # Ploting a map with forced symmetry
197 #plot(knb2, coordinates(mapa), pch = 16, col = "blue", arrows = TRUE, add =
TRUE);
198
199
200 #####
201 # Verify all the polygons in a shapefile and fix the overlaps
202 #####
203
204 #polnb <- poly2nb(mapa, row.names = 1:length(mapa));
205 #plot(mapa);
206 #text(coordinates(mapa), labels = 1:length(mapa), pos = 3);
207
208 # Initializing the variables
209 pontosSobrepostos <- matrix(c(111111.1,111111.1), nrow=1, ncol=2);
210 elementosMapa <- knb;
211 countPoligonosSobrepostos <- 0;
212 iteradorElementosMapa <- 1;
213 pontosTotaisSobrepostos <- 1;
214 countOverlap <- 0;
215 total <- length(elementosMapa);
216 pb <- winProgressBar(title = "progress bar", min = 0, max = total, width =
300);
217 totalPoligonosinvalidos <- 0;
218
219 # Foreach in all the elements of the shapefile
220 foreach(elementosMapa) %do%{
221
222     poligonoSobreposto <- FALSE;
223     vizinhos <- elementosMapa[[iteradorElementosMapa]];
224     listaVizinhosSobrepostos <- vector();
225     results <- FALSE;
226     totalVizinhos <- (length(vizinhos));
227
228     # Foreach in all the neighbors
229     for(num in 1:totalVizinhos){
230         cor <- 'green';
231         pontosSobrepostos <- 0;
232         poligonoAVerificar <- vizinhos[num];
233         #totalDePontos <-
(length(mapa@polygons[[poligonoAVerificar]]@Polygons[[1]]@coords) / 2) -1;
234         totalDePontos <-
(length(mapa@polygons[[iteradorElementosMapa]]@Polygons[[1]]@coords) / 2) -1;
235
236         # Foreach in all the points of each polygon
237         for (val in 1:totalDePontos) {
238
239             pointX <-
mapa@polygons[[iteradorElementosMapa]]@Polygons[[1]]@coords[val,1];
240             pointY <-
mapa@polygons[[iteradorElementosMapa]]@Polygons[[1]]@coords[val,2];
241
242             # Call the function to check the overlaps
243             if(!is.null(poligonoAVerificar) && !is.na(poligonoAVerificar)){
244                 if(!is.null(pointX) && !is.na(pointX) && !is.null(pointY) &&
!is.na(pointY)){
245                     results <- verifyPointInPolygon(pointX, pointY, poligonoAVerificar);
246                 }
247             }
248

```

```

249     if(results == TRUE){
250         #print('ponto dentro do polígono');
251         #print(pointX);
252         #print(pointY);
253         #points(pointX, pointY, col = "red", cex = 1.6);
254         cor <- 'red';
255         pontosSobrepostos <- 1;
256         poligonoSobreposto <- TRUE;
257         vizinhoAtual <- poligonoAVerificar;
258
259         if(!vizinhoAtual %in% listaVizinhosSobrepostos){
260             listaVizinhosSobrepostos <- append(listaVizinhosSobrepostos,
vizinhoAtual);
261             #listaVizinhosSobrepostos <- vizinhos;
262         }
263
264         break
265
266     }else{
267         #print('ponto fora do polígono');
268         #print(pointX);
269         #print(pointY);
270         if(cor == 'green'){
271             #points(pointX, pointY, col = "green", cex = 1.6);
272             #cor = 'green';
273         }
274     }
275 }
276 pontosTotaisSobrepostos <- pontosTotaisSobrepostos + pontosSobrepostos;
277 }
278
279 # Fix the overlaping
280 if(poligonoSobreposto == TRUE){
281
282     iteradorVizinhosSobrepostos <- 1;
283     totalVizinhosSobrepostos <- length(listaVizinhosSobrepostos);
284
285     for(corr in 1:totalVizinhosSobrepostos){
286
287         poligono <- mapa@polygons[[iteradorElementosMapa]]@Polygons[[1]];
288         vizinho <-
mapa@polygons[[listaVizinhosSobrepostos[iteradorVizinhosSobrepostos]]]@Polygons[[1
]];
289
290         if(!is.null(poligono) && !is.null(vizinho) && !is.na(poligono) &&
!is.na(vizinho)){
291
292             poligonoAVerificar <- poligono;
293             poligonoVizinho <- vizinho;
294
295             poly1 <- Polygon(poligonoVizinho);
296             poly2 <- Polygon(poligonoAVerificar);
297
298             # create SpatialPolygons objects
299             p1 <- SpatialPolygons(list(Polygons(list(poly1), "p1")));
300             p2 <- SpatialPolygons(list(Polygons(list(poly2), "p2")));
301
302             p1Valido <- gIsValid(p1, byid = FALSE, reason=FALSE);
303             p2Valido <- gIsValid(p2, byid = FALSE, reason=FALSE);
304
305             if(p1Valido == TRUE && p2Valido == TRUE ){
306
307                 # verifica se o polígono é controle
308                 if(mapaSemControle == FALSE){
309                     if(is.na(mapa@data$col_control[iteradorElementosMapa])){
310                         #print(paste("normal elemento = ", iteradorElementosMapa, "
vizinho -> p1 -p2 = ", iteradorVizinhosSobrepostos, sep=""));

```

```

311         res <- gDifference(p1, p2, unaryUnion_if_byid_false = FALSE,
checkValidity = 2);
312         # atribui os valores do polígono recortado ao polígono
verificado
313         if(!is.null(res) && !is.na(res)){
314
mapa@polygons[[listaVizinhosSobrepostos[iteradorVizinhosSobrepostos]]@Polygons[[1]
]@coords = res@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords;
315         }
316     }
317     else{
318         #print(paste("controle elemento = ", iteradorElementosMapa, "
vizinho -> p2 -p1 = ", iteradorVizinhosSobrepostos, sep=""));
319         res <- gDifference(p1, p2, unaryUnion_if_byid_false = FALSE,
checkValidity = 2);
320         # atribui os valores do polígono recortado ao polígono
verificado
321         if(!is.null(res) && !is.na(res)){
322
mapa@polygons[[listaVizinhosSobrepostos[iteradorVizinhosSobrepostos]]@Polygons[[1]
]@coords = res@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords;
323         }
324     }
325 }
326 else{
327     #print(paste("controle elemento = ", iteradorElementosMapa, "
vizinho -> p2 -p1 = ", iteradorVizinhosSobrepostos, sep=""));
328     res <- gDifference(p1, p2, unaryUnion_if_byid_false = FALSE,
checkValidity = 2);
329     # atribui os valores do polígono recortado ao polígono verificado
330     if(!is.null(res) && !is.na(res)){
331
mapa@polygons[[listaVizinhosSobrepostos[iteradorVizinhosSobrepostos]]@Polygons[[1]
]@coords = res@polygons[[1]]@Polygons[[1]]@coords;
332     }
333 }
334 }
335 else{
336     print(paste("Polígono", iteradorElementosMapa, "Inválido"));
337     totalPoligonosinvalidos <- totalPoligonosinvalidos + 1;
338     break;
339 }
340 }
341 }
342     iteradorVizinhosSobrepostos <- iteradorVizinhosSobrepostos + 1;
343 }
344 }
345
346     print(paste(iteradorElementosMapa, " polígono de ", totalPropriedades));
347
348     setWinProgressBar(pb, iteradorElementosMapa, title=paste(
round(iteradorElementosMapa/total*100, 0), "% done"))
349
350     iteradorElementosMapa <- iteradorElementosMapa + 1;
351 }
352
353 close(pb)
354
355 # Save the fixed shapefile to the especificied directory
356
357 if(mapaSemControle == FALSE){
358     writeOGR(mapa, dsn = pathToSave, layer = nameToSaveNewShapefile, driver =
"ESRI Shapefile");
359 }
360 else{
361     mapa <- as(mapa, "SpatialPolygonsDataFrame");
362     writeOGR(mapa, dsn = pathToSave, layer = nameToSaveNewShapefile, driver =
"ESRI Shapefile");

```

```
363 }
364
365
366 end_time <- Sys.time();
367 total_time <- end_time - start_time;
368 print(total_time);
369 print(paste("Polígonos inválidos = ", totalPoligonosinvalidos));
370
371 # Returns the fixed shapefile
372 return(mapa);
373}
```