

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Modelagem espacialmente explícita de cobertura e uso da terra no Estado do Rio  
De Janeiro, Brasil**

**Carla de Oliveira Silva**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**MODELAGEM ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DE COBERTURA E USO DA  
TERRA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

**CARLA DE OLIVEIRA SILVA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Rafael Coll Delgado**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência Ambiental.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586m Silva, Carla de Oliveira, 28/08/1988-  
Modelagem espacialmente explícita de cobertura e  
uso da terra no Estado do Rio De Janeiro, Brasil /  
Carla de Oliveira Silva. - Seropédica, 2019.  
47 f.

Orientador: Rafael Coll Delgado.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais, 2019.

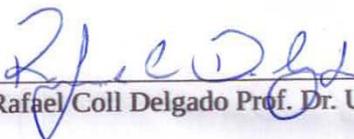
1. Geoprocessamento. 2. Planejamento Estratégico.  
3. Cenários Futuros. 4. Modelagem espacial . 5.  
software LuccME. I. Coll Delgado, Rafael , 1978-,  
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais e Florestais III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

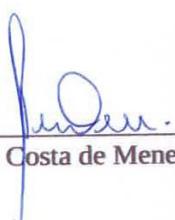
**CARLA DE OLIVEIRA SILVA**

Disserte submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10 DE ABRIL DE 2019.

  
Rafael Coll Delgado Prof. Dr. UFRRJ

(Orientador)

  
Sady Júnior Martins da Costa de Menezes Prof. Dr. UFRRJ

  
Rafael de Ávila Rodrigues Prof. Dr. UFG

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta caminhada.

Aos meus pais Sueli e Jorge, meus irmãos Carolina e Felipe e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que me proporcionou a chance de expandir os meus horizontes. Obrigada pelo ambiente criativo e amigável nesses anos de formação.

Ao professor Rafael Coll Delgado pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta dissertação. Sou imensamente grata.

A todos os professores, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Sou grata não só aos professores, mas também à direção, ao pessoal do administrativo, da limpeza e demais colaboradores da instituição.

Aos colegas do Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais pela oportunidade de concluir este mestrado acadêmico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – CÓDIGO DE FINANCIAMENTO 001. Meus agradecimentos.

Em suma, a todas as pessoas e Instituições que de alguma forma fizeram parte da minha caminhada, eu agradeço com todo meu coração.

*“Onde quer que haja mulheres e homens, há sempre o que fazer, há sempre o que ensinar, há sempre o que aprender.”*  
Paulo Freire

## **BIOGRAFIA**

Carla de Oliveira Silva é formada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Engenharia Florestal no ano de 2016, nasceu em 28 de agosto de 1988, no Rio de Janeiro. Tem técnico/médio em Agropecuária Orgânica pelo Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, formada no ano de 2007. Atualmente é Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, com ingresso em março de 2017, na área de concentração em Conservação da Natureza, e faz parte da equipe do Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada.

## RESUMO GERAL

SILVA, Carla de Oliveira. **Modelagem Espacialmente Explícita de Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio De Janeiro, Brasil**. 2019. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

A identificação dos tipos de cobertura e uso da terra pode ser um dos primeiros requisitos para se monitorar e avaliar o fluxo da dinâmica ambiental, devido o acelerado processo das mudanças do espaço terrestre, ocasionando impactos ambientais e socioeconômicos. O objetivo deste trabalho foi parametrizar um modelo de mudança de cobertura e uso da terra, que compreende o Estado do Rio de Janeiro, para isso foi preciso calibrar e validar as simulações, no período compreendido entre 2010 e 2016, respectivamente. Sendo adotado o modelo o LuccME, que identificou o processo das mudanças de uso e cobertura da terra, e possibilitou projetar cenários futuros para 2020 e 2030, sendo eles otimistas e pessimistas. O estudo indicou a tendência nos cenários pessimistas de crescimento nas áreas que anteriormente tinha floresta em pastagens e crescimento urbano, com baixo índice de área de vegetação nativa, o que é um alerta para a administração do setor público e privado sobre o planejamento territorial, para que no futuro a população não sofra com a escassez dos recursos naturais. Já nos cenários otimistas as mudanças da vegetação se demonstram com mais intensidade, pois nas áreas que estavam sofrendo o processo de restauração e reflorestamento se recuperam ao ponto de mudarem da classe pastagem para floresta. Ambos os cenários, a agricultura se manteve nas áreas mais produtivas e produtoras, não tendo um aumento ou perda de área significativamente. Sendo assim, o emprego deste modelo permite que o estado tenha estimativas ambientais mais consistentes, podendo ser utilizado em diferentes áreas de conhecimento.

Palavras-chave: Rio de Janeiro, dinâmica ambiental, planejamento estratégico, LuccME, cenários futuros.

## ABSTRACT

SILVA, Carla de Oliveira. **Spatially explicit modeling of land use and land cover in the State of Rio de Janeiro, Brazil**. 2019. 48 p. Dissertation (Master Science in Environmental and Forestry Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

The identification of the types of land use and land cover can be one of the first requirements to monitor and evaluate the flow of environmental dynamics, due to the accelerated process of changes in terrestrial space, causing environmental and socioeconomic impacts. The region chosen for this study is an area of high biodiversity and has within its geographical limit the second largest city in the Southeast region of Brazil. The objective of this work was to parameterize a model of LULC, which comprises the State of Rio de Janeiro inserted in the Atlantic Forest Biome. For that, it was necessary to calibrate and validate the simulations, in the period between 2010 and 2016, respectively. The LuccME (Land Use and Cover Change Modeling Environmental) model was adopted, which identified the process of LULC changes, and made it possible to project future scenarios for 2020 and 2030, being optimistic and pessimistic. The study indicated the trend in pessimistic growth scenarios in areas that previously had forest in pastures and urban growth, with a low rate of native vegetation area. This is a warning for public and private sector management about territorial planning, for that in the future the population will suffer from the scarcity of natural resources. In the optimistic scenarios, the changes in vegetation are shows more intensely, since in the areas that were undergoing the process of restoration and reforestation, they recover to the point of changing from pasture to forest. In both scenarios, agriculture remained in the most productive and productive areas, with no significant increases or loss of area. Therefore, the use of this model allows the evaluate to have more consistent of environmental estimates, which can be used in different areas of knowledge.

Keywords: Rio de Janeiro, Environmental dynamics, Strategic planning, LuccME, Future scenarios.

## ÍNDICE DE SIGLAS

CCST - Centro de Ciência do Sistema Terrestre  
CLUE - Conversion of Land Use and its Effects  
DELTA - Dynamic Ecological-Land Tenure Analysis  
FAO - Food and Agriculture Organization  
GOES - Geostationary Operational Environmental Satellit  
IBGE – Instituto brasileira de geografia e estatística  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change  
IV's – Índice de vegetação  
LUCC - Land Use Cover Change  
LuccME - Land Use and Cover Change Modelling Environmental  
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer  
MRT - MODIS Reprojection Tool  
NASA - National Aeronauticsand Space Administration  
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index  
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration  
PNUMA - Programa das Nações Unidas e Meio Ambiente  
TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission  
WMO - Organização Mundial de Meteorologia

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização da área de estudo, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- Figura 2. Remanescentes de vegetação do Estado do Rio de Janeiro (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2008).
- Figura 3. Clima do Estado do Rio de Janeiro (ALVARES et al., 2013).
- Figura 4. Fluxograma das etapas para construção de um modelo de uso da terra no LuccME 3.1 (LuccMe, 2017).
- Figura 5. Etapas do processo de modelagem com modelo selecionado (LuccMe, 2017).
- Figura 6. Boxplot dos mapas reais de 2001, 2010 e 2016 (a) e distribuição das classes de uso e cobertura por área do produto MCD12Q1 do estado do Rio de Janeiro (b).
- Figura 7. Mapa simulado para calibração do modelo LuccME\_RJ de uso e cobertura de 2010.
- Figura 8. Mapa simulado para validação de uso e cobertura de 2016.
- Figura 9. Boxplot de comparação dos cenários futuros com passado pela área.
- Figura 10. Cenário otimista 2020 (a), Cenário otimista 2030 (b), Cenário pessimista 2020 (c), Cenário pessimista 2030 (d).

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados utilizados, indicando-se o tipo, a finalidade, referência bibliográfica e o ano.

Tabela 2 – Softwares utilizados, indicando-se a finalidade.

Tabela 3. Classes de uso e cobertura do solo para o estado do Rio de Janeiro (MCD12Q1) (SULLA-MENASHE & FRIEDL, 2018).

Tabela 4. Tamanho das áreas das classes dos cenários pessimistas e otimistas em comparação com passado.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÍNDICE.....	DE
SIGLAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	ivv
LISTA DE TABELAS .....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra .....	4
2.2. Mudança do uso e cobertura da terra.....	6
2.3. Cenários de mudanças climáticas.....	7
2.4. Sensoriamento remoto e Clima.....	9
3. OBJETIVO GERAL.....	10
3.1. Objetivo Específico .....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4.1. Área de estudo .....	10
4.1.1. Vegetação.....	12
4.1.1.1. Fitofisionomias da vegetação do Estado do Rio de Janeiro.....	13
4.1.2. Clima.....	14
4.1.3. Solo.....	14
4.1.4. Topografia.....	15
4.2. Dados utilizados.....	15
4.2.1. Índice de vegetação.....	16
4.2.2. Variáveis meteorológicas: Tmax, Tmin e chuva acumulada.....	17
4.2.3. Produto de uso e cobertura da terra – MCD12Q1 .....	17
4.3. Softwares utilizados .....	18
4.4. Desenvolvimento metodológico .....	18
4.4.1. Tratamento do banco de dados para modelagem.....	18
4.4.2. Modelagem LuccMe.....	19
4.4.2.1 Processo de modelagem.....	19
4.4.2.2. Análise estatística do modelo .....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1. Modelo de uso e cobertura do estado do Rio de Janeiro .....	23
5.2. Cenários otimista e pessimista futuros .....	26
6. CONCLUSÃO.....	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	30

## 1. INTRODUÇÃO

Eventos de secas, enchentes, ondas de calor e ondas de frio, furacões e tempestades, têm afetado diferentes partes do planeta e produzido enormes perdas econômicas, além da morte de um grande número de pessoas (BLANK, 2015). No ranking de ocorrência de eventos climáticos extremos no Brasil, entre 1991 e 2010, as estiagens e secas foram de 54%, ganhando o posto em primeiro lugar, seguidos das inundações bruscas e alagamentos que foram de 21% e, em terceiro lugar deste ranking, as inundações graduais com 12% (UFSC/CEPED, 2012). Entre esses eventos, podemos citar o furacão Catarina em março 2004, a seca da Amazônia em 2005, 2010 e 2015, as secas já observadas no Sul do Brasil em 2004, 2005 e 2006, estiagem aguda no fornecimento de água e energia elétrica no Sudeste e Nordeste em 2015, são exemplos da intensificação desses eventos extremos e atípicos, sobre a cobertura da terra. (DIAS, 2014; LOPES et al., 2018).

Há, ainda, impactos relacionados à perda da biodiversidade, como consequência desses eventos climáticos, como o aumento no nível do mar e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica que estão afetando não só o país, assim como o restante do planeta (MARENGO, 2006; CERA e FERRAZ, 2015). Contudo esse é o atual cenário do Brasil, um país de amplo território e destacada biodiversidade que pode sofrer efeitos catastróficos por causa das mudanças da variabilidade climática concomitante com a mudanças do uso e cobertura da terra, devido às atividades naturais e antrópicas (ZANIN et al., 2016).

Com isso, a aplicação da modelagem dinâmica pode contribuir na identificação e análise desses processos de dinâmica do ambiente, como o emprego da modelagem LuccME (Land Use and Cover Change Modelling Environmental), que em estudos no Brasil tem se concentrado principalmente em avaliações da Amazônia e Cerrado (AGUIAR et al., 2007; DALLA-NORA et al., 2014) com o objetivo principal de compreender os tipos de mudanças dos usos e cobertura da terra (BEZERRA, 2016).

De acordo com Macedo et al. (2013), através de modelagem, é possível propor cenários prospectivos, pois podem representar a continuidade das alterações pretéritas (cenários estacionários), simular alterações prescritas (cenários prescritivos), e também, explorar diferentes conjecturas político-socioeconômicas (cenários exploratórios não-estacionários).

Devido à impossibilidade para se validar um cenário futuro, a calibração torna-se essencial, ou seja, a geração de simulações pretéritas e sua conseqüente comparação com o mapa de referência. Dessa forma, para se ter acurácia satisfatória nos resultados compreender os efeitos de mudança é fundamental (MACEDO et al., 2013).

Para o estudo destas áreas que são constantemente atingidas, ou que podem vir a ser afetadas pelas alterações que acontecem no ambiente, se destaca o uso do sensoriamento remoto, devido informações geradas a curto prazo e confiança nos resultados obtidos, além da capacidade de uma análise do espaço-temporal e do desenvolvimento de modelos para estudos das classes do uso e cobertura da terra projetados para o futuro (ALMEIDA et al., 2014). No entanto, de acordo com Matallo Jr. (2001) e Zehr (2000), existe uma ausência de métodos de estudos de classificação do uso e cobertura, que modelam o entendimento da dinâmica ambiental universalmente aceitos e ausência de métodos confiáveis para a identificação dos processos de mudanças, o que torna incerteza científica um tema tão importante como esse, pela necessidade de mais pesquisas.

Apesar dos efeitos da variabilidade climática no uso e cobertura da terra, no Brasil ser aparentemente mais intenso sobre a Amazônia por sua extensão territorial de ambiente natural, entretanto, a Mata Atlântica possui o histórico de conversão do hábitat mais antigo, que cobre o litoral brasileiro, sendo o bioma com menor proporção de vegetação nativa remanescente (RIBEIRO et al., 2009). Souza et al. (2014), observaram que a perda da biodiversidade na Mata Atlântica se intensifica com o tempo, ao se analisar um prognóstico do estado da vegetação ao longo de 10 anos, sendo apresentado uma grande vulnerabilidade a essas mudanças climáticas e menor capacidade de adaptação a uma nova realidade, devido as unidades geopolíticas de alta demografia, que estão inseridas em áreas prioritárias de conservação.

Todos esses elementos conjugados evidenciam um ecossistema muito frágil, cujo desequilíbrio se agrava, pois é um bioma que é explorado e destruído há mais de 500 anos, devido à aceleração dessas mudanças do uso da terra. Além do uso e o manejo inadequado da terra, são as principais causas de degradação dos solos, principalmente, de origem antrópica (ACCIOLY et al., 2005). Ressalta-se que o bioma Mata Atlântica, é um bioma considerado uma área extremamente sujeita à desertificação, não apenas pelo desmatamento e pela mudança no uso da terra, mas também, pelas condições climáticas e antropogênicas (SOUZA, et al., 2014).

Sendo assim, estudos que fazem avaliação das mudanças na paisagem são importantes para auxiliar no entendimento das alterações desta paisagem, pois a mudança de uso e cobertura da terra está intimamente relacionada à mudança climática, com o ecossistema terrestre, ciclos geofísicos e químicos, vida humana.

Para melhorar a eficiência das informações é comum subdividir a superfície terrestre em classes de cobertura e uso da terra, o que permite auxiliar nas tomadas de decisões na gestão territorial, pois pode subsidiar nas decisões administrativas relacionadas ao uso e conservação de recursos naturais e ambientais. Contudo, as mudanças de cobertura e uso da terra significam transformações nas suas proporções e, ao mensurar essas transformações no tempo e espaço, pode-se obter possíveis indicadores-chaves, pois agregam diversos aspectos bióticos e abióticos. Sendo assim, para se fazer a avaliação de alteração de cobertura e uso da terra é recomendável que seja espacialmente explícita e inclua o diagnóstico das transformações pretéritas, bem como o prognóstico das alterações futuras (MACEDO et al.; 2013).

Visto que, a modelagem dinâmica espacial e a análise temporal da paisagem, podem representar um avanço em relação à avaliação e representação estática das paisagens, já que as ciências foram desenvolvidas a partir da observação da realidade, através das paisagens em que vivemos e dos seus componentes que formam um sistema complexo. É imprescindível em planejamentos ambientais a adoção de processos organizados que contemplem desde os objetivos e seleção da área de estudo até propostas que materializam as alternativas e estratégias adotadas, a partir de uma escala espacial e temporal, podendo ser construídos cenários pela interpretação das mudanças ocorridas no uso da terra, que pode resultar em mapas ambientais, que contribuem para os planejamentos ambientais (SANTOS, 2007).

Mesmo sendo desenvolvidas ferramentas bastante difundidas, que modelagem espaço – temporal de mudança de uso e cobertura da terra, e que estão disponíveis em plataformas gratuitas ou não. Dentre essas ferramentas se destaca a modelagem LuccME que permite a construção de novos modelos, combinando componentes de demanda, potencial e alocação, previamente definidos, desenvolvidos de acordo com ideias dos principais modelos encontrados na literatura. Dentre os componentes atuais do LuccME, na abordagem estrutural são definidos os fatores que explicam cada padrão de mudança de uso, ou seja, a mudança acumulada, usando um único mapa de uso da terra como base (LUCCME, 2017).

Neste sentido, e diante de tantas possibilidades de estudos sobre a mudança do uso e cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro, a modelagem espacialmente explícita possibilita um conteúdo exclusivo, pois fornece novas informações, com a tecnologia inovadora do software LuccMe, já que teve resultados satisfatórios em outras regiões do País, e vale ressaltar a necessidade de pesquisas relacionadas com as mudanças da terra que estão diretamente relacionadas com os impactos antrópicos e climáticos no uso e cobertura, danosos ao ambiente que causam prejuízos socioeconômicos e ecológicos, perdas lastimáveis para o estado e para sociedade em geral.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra**

Existem diferentes modelos de mudanças de usos da terra que podem ser classificados de acordo com seus objetivos, escalas, abordagens técnicas e teorias (VIEIRA, 2015). Esses modelos de alteração do uso da terra são úteis no entendimento e planejamento das áreas em mudança, pois permitem verificar seus efeitos no presente e tentar prever seus impactos no futuro, a fim de concentrar esforços nos pontos críticos, possibilitando assim, desenvolver esforços em ações preventivas na dinâmica das atividades humanas sobre esses solos (PONTIUS et al., 2002).

Várias abordagens de modelagem existem para simular a dinâmica das mudanças no uso da terra. Segundo Vieira (2015), de maneira geral, estes modelos são organizados de forma que cada demanda (a magnitude ou quantidade de mudança) por mudança é espacialmente alocada de acordo com o potencial da célula. Nestes modelos, três componentes principais podem ser identificados: o cálculo da quantidade de mudança (demanda), o potencial de transição de cada célula (geralmente baseado em análises estatísticas) e o procedimento de alocação, que aloca a demanda de acordo com o potencial de transição. Podemos citar modelos que utilizam diferentes técnicas e abordagens na construção destes três componentes como os da família CLUE (Conversion of Land Use and its Effects) (VELDKAMP & FRESCO 1996; DE KONING ET AL. 1998; VERBURG ET AL. 1999; KOK ET AL. 2001), Dinâmica (SOARES-FILHO, 2002), DELTA (Dynamic Ecological-Land Tenure Analysis) (SOUTHWORTH & DALE, 1991), GEOMOD (PONTIUS, 2001) e LuccME (Land Use and Cover Change Modelling Environment) (AGUIAR et al., 2012). Eles também passam pelas etapas de calibração, validação e projeção.

A modelagem CLUE (VELDKAMP & FRESCO 1996; DE KONING ET AL. 1998; VERBURG ET AL. 1999; KOK ET AL. 2001) é realizada em duas etapas: inicialmente, um modelo de regressão linear é aplicado a dados passados e atuais, para determinar quais os fatores biofísicos e socioeconômicos determinam as mudanças; e a segunda etapa, os resultados desta análise são utilizados para explorar possíveis futuros dentro de um arcabouço espacializado, usando cenários de futuros desenvolvimentos socioeconômicos. Isto é realizado através de diferentes módulos: um módulo calcula a demanda e outro a capacidade de produção para cada tipo de uso em cada célula.

Já o Dinâmica (SOARES-FILHO, 2002), é um modelo de simulação baseado em um autômato celular modificado, no qual as regras de transição são estocásticas, sendo um exemplo de modelo de simulação. Teve sua aplicação no estudo de padrões espaciais gerados pela dinâmica da paisagem.

O modelo DELTA (SOUTHWORTH & DALE, 1991), é um modelo espacializado que simula estocasticamente o comportamento de propriedades (escala local), que integra modelos socioeconômicos e ecológicos, sendo constituído de três sub-modelos ligados que simulam respectivamente, a difusão da colonização, a mudança do uso da terra e a liberação de carbono. O que também pode ser aplicado em escalas regionais, estimando a magnitude do desmatamento e sua localização, muito usado na região amazônica. E o modelo GEOMOD (PONTIUS et al., 2001) tem como objetivo simular processos de desmatamento e mensurar as alterações de emissões de dióxido de carbono, também é considerado uma modelo de simulação e previsão das alterações do uso da terra com aplicação em diversas escalas.

De acordo com a generalização de modelos Lucc proposta por Verburg et al. (2006), o arcabouço de modelagem de mudanças de uso da terra espacialmente explícita LuccME (AGUIAR et al., 2012), é uma plataforma genérica que disponibiliza diferentes componentes de demanda, potencial e alocação, podendo ser desenvolvido modelo de mudanças de uso da terra para o estudo da desertificação, por exemplo. Nos modelos LuccME, os componentes podem ser selecionados e modificados através das diferentes aplicações ou escala de análise e facilmente parametrizados a partir de uma interface simples (LuccME, 2017). Portanto, o modelo LuccME diferencia-se dos demais modelos por possibilitar projetar e visualizar as mudanças, suas intensidades e localizações (BEZERRA, 2016).

## 2.2. Mudança do uso e cobertura da terra

Os conceitos de cobertura da terra e uso da terra podem ter conceitos parecidos, mas não são equivalentes. De acordo com Turner et al. (1994) cobertura da terra compreende a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície terrestre, por exemplo, floresta, gramínea, água, ou área construída. Já o uso da terra se refere aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial etc. Mesmo que geralmente ao se ocorrer uma mudança no uso da terra, normalmente acarretam mudanças em sua cobertura, entretanto, pode ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações no seu uso, e uma única classe de cobertura pode suportar múltiplos usos (TURNER, 1994).

Para Aguiar (2006), a questão de mudanças do uso e cobertura da terra tem fomentado discussões interessantes, devido ao acelerado processo de mudanças nos últimos tempos e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos dessas mudanças, que causam preocupações em todas as esferas do planeta.

Para estimar a dinâmica de uso e ocupação da terra, a utilização das técnicas atualizadas do sensoriamento remoto e geoprocessamento são úteis e indispensáveis, devido a agilidade no processamento e atualização de dados com menor custo, pois antes os dados consistentes em escala regional sobre a superfície da Terra eram raros e de difícil acesso, demorado e caro para coletar (VAEZA et al., 2010). Atualmente, pode-se caracterizar e comparar as paisagens, fazer gestão ambiental e ordenamento do território com aplicações na modelagem e monitoramento das mudanças na paisagem (STEVIC et al., 2016).

Na modelagem a metodologia da classificação de imagens multiespectrais de sensores orbitais, pode ser útil no processamento dos dados, pois consiste em um processo que permite transformar uma imagem numérica multiespectral, constituída por diferentes bandas, em uma carta temática atribuindo cada pixel a uma determinada classe.

### 2.3. Cenários de mudanças climáticas

A modelagem climática global, é um campo de desenvolvimento recente, caracterizado tanto pelo elevado número de variáveis naturais em processo de cointeração, quanto pela incerteza sobre o comportamento futuro de variáveis antrópicas (BRASIL, 2015).

Existe ainda grande incerteza sobre as mudanças nos regimes pluviométricos, em escala regional. Essa incerteza com relação ao sinal das mudanças de precipitação torna, no momento, impossível estabelecer categoricamente os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas e sobre a atividade agrícola, pois o país situada em grande parte nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, fora do alcance de geadas e temperaturas muito baixas com exceção feita ao Sul e áreas montanhosas do Sudeste, já que o fator climático determinante é o regime de chuvas (NOBRE, 2001).

Para Nobre (2001), as temperaturas do ar à superfície durante o Século XX sofreram um pequeno aumento, compatíveis com o aquecimento global experimentado pelo planeta, território brasileiro. Já sobre às precipitações pluviométricas, as análises não indicaram uma mudança evidente, o que se observa é variabilidade climática nas escalas interanual, relacionadas com o fenômeno de aquecimento (El Niño) e resfriamento (La Niña) das águas do Oceano Pacífico Equatorial, e interdecadal.

A Embrapa avaliou os impactos que o aquecimento global poderá causar às principais culturas agrícolas do país nas próximas décadas, que mostra por exemplo, as perdas nas safras de grãos de R\$ 7,4 bilhões já em 2020, número que pode subir para R\$ 14 bilhões em 2070, o que pode alterar profundamente a geografia da produção agrícola no Brasil, devido à ausência de medidas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e de adaptação dos cultivos, essa mudança pode ocasionar o deslocamento de plantações para áreas nas quais atualmente não se verifica sua ocorrência, como forma de aproveitar as condições climáticas mais adequadas. (EMBRAPA, 2008).

Já nas áreas urbanizadas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima - IPCC, Programa das Nações Unidas e Meio Ambiente - PNUMA e da Organização Mundial de Meteorologia – WMO em 1988, da ênfase na adaptação de estruturas urbana, em resposta ao aquecimento global, que se concretizaram por meio de ações como: projetos de infraestrutura como os de defesa costeira, nas Ilhas Maldivas e na Holanda; medidas de prevenção às inundações provocadas por ruptura dos lagos glaciais, no Nepal;

políticas e estratégias de gestão dos recursos hídricos, na Austrália; e repostas dos governos às ondas de calor em alguns países europeus (NACARATTI, 2008).

Para Nacaratti (2008), na região Sudeste, por ter a maioria de seus estados limítrofe com o oceano atlântico, com exceção o estado de Minas Gerais, as variações das marés poderiam provocar o “empilhamento” na costa do Estado do Rio de Janeiro e destruir grande parte da infraestrutura urbana à beira mar, por exemplo. Essas projeções talvez ainda não sejam suficientes para classificar a cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana como “em situação de vulnerabilidade”, no entanto, o poder público tem demonstrado a preocupação e reconhecendo o problema, devido em grande parte pela opinião pública, de forma que, algumas iniciativas de redução de emissões e mitigação dos impactos já foram esboçadas.

O IPCC no seu quinto relatório, prevê que o planejamento urbano integrado, junto com o desenvolvimento orientado para o trânsito e formatos urbanos mais compactos que favoreçam o deslocamento a pé e de bicicleta podem levar a mudanças significativas nas emissões, em que apoia o investimentos em infraestrutura interurbana, como trens de alta velocidade que substituam voos de curta duração, isso podem reduzir as emissões do transporte entre 20% e 50% do previsto para 2050 – levando em consideração o aumento da demanda por transporte e mobilidade (SIMS et al., 2014).

As projeções de impactos decorrentes de mudanças climáticas futuras indicam tendências que podem orientar estratégias de adaptação, pois as projeções são feitas para modelagens de cenários climáticos e de impactos futuros, com o intuito de antecipar a probabilidade de ocorrência desses eventos, permitindo que os governos possam atuar preventivamente. E essa é uma das maiores dificuldades com a quais os gestores deparam-se na hora da tomada de decisão, pois é algo que exhibe algumas incertezas. No entanto, existe consenso no debate e na literatura que, mesmo ante a incerteza relativa à grandeza e à distribuição espacial dos fenômenos climáticos, é preciso avançar em ações que reduzam a vulnerabilidade e aumentem a resiliência do meio urbano e natural (KLUG, et al.; 2016).

## 2.4. Sensoriamento remoto e Clima

O uso de séries temporais na detecção de mudanças de cobertura e uso da terra, o tempo e o clima constituem-se uma aplicação importante e atual, dos dados de sensoriamento remoto (BROXTON et al., 2014). Uma das vantagens em utilizar séries temporais de dados meteorológicos é contornar as dificuldades encontradas na aquisição de dados observados em estações meteorológicas de superfície, sendo uma alternativa eficaz aos dados observados, os dados estimados, obtidos por satélites meteorológicos e também produzidos por reanálise atmosférica, os quais tornam possível a observação e monitoramento contínuo do tempo e do clima em nível global (MOREIRA et al., 2017).

Para a obtenção de dados meteorológicos estimados de séries de reanálise geradas a partir da assimilação de dados meteorológicos, pode ser através de estações meteorológicas de superfície, aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radiossonda. Contudo, apesar do acúmulo já existente, a dinâmica da atmosfera e a instabilidade dos ambientes devido aos diferentes usos e cobertura da terra, somado a função da variabilidade de tipos climáticos a nível global, a validação dos dados estimados por satélite ou reanálise comparados aos dados observados ainda é necessária, pois podem induzir a erros, com isso o dimensionamento desses erros e incertezas dos modelos contribui para o ajuste dos mesmos da melhor forma possível (PARKER, 2016).

Os satélites meteorológicos de observação global, atualmente em órbita, são: GOES e o NOAA - AVHRR (EUA), o Meteosat (Europeu), o MTSAT (Japão), o FY-1 e FY-2 (China), o GOMS e o Meteor (Rússia) e o KALPANA (Índia), o Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), um projeto conjunto entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace and Exploration Agency (JAXA) (MOREIRA et al., 2017).

As variações das condições meteorológicas, como as alterações causadas pelo tempo e clima, podem ter com o uso de índices de vegetação (IV's) um indicador da variação espacial e temporal em resposta às alterações climáticas, pois os IV's descrevem a vegetação que respondem rapidamente à variação das condições meteorológicas, através das séries temporais de índices de vegetação do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (LOS, 2015).

### **3. OBJETIVO GERAL**

O estudo tem por objetivo principal de calibrar um modelo espacialmente explícito no período compreendido entre 2010 e 2016, para gerar cenários simulados entre 2020 e 2030 de mudança de uso e cobertura da terra no estado do Rio de Janeiro, Brasil.

#### **3.1. Objetivo Específico**

- Selecionar os dados de influência na mudança do uso e cobertura da terra;
- Parametrizar o modelo com demanda, potencial e alocação;
- Gerar e validar no LuccMe com modelo selecionado;
- Simular os cenários de 2020 e 2030 no LuccMe.

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1. Área de estudo**

O Estado do Rio de Janeiro localiza-se entre os paralelos 20°45' e 23°15' S de latitude sul (aproximadamente 300 km de extensão norte-sul) e os meridianos 40°55' e 44°45' W de longitude a oeste de Greenwich (cerca de 400 km de extensão oeste-leste) na região sudeste do Brasil (Figura 1). Possui uma área de 43.780,157 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 16.635.996 milhões de habitantes e 92 municípios que se distribuem em oito regiões de governo região metropolitana, região do médio vale do paraíba, região centro-sul fluminense, região serrana, região das baixadas litorâneas, região norte fluminense, região noroeste fluminense e região da costa verde (IBGE, 2018).

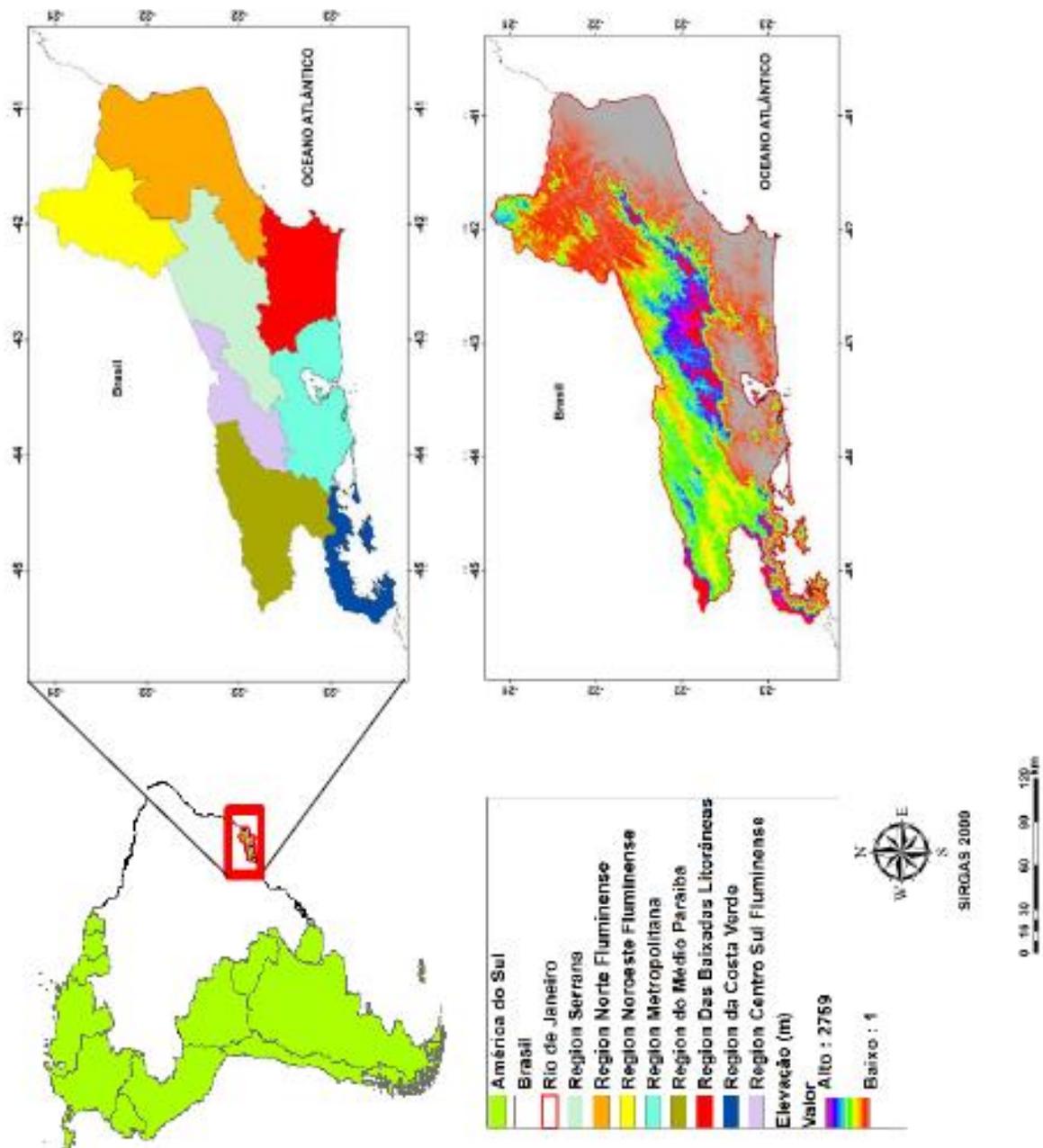


Figura 1. Localização geográfica das 8 regiões de governo e em destaque abaixo a elevação do Estado do Rio de Janeiro.

#### 4.1.1. Vegetação

A Floresta Atlântica ou Mata Atlântica é considerada um *hotspot*, por ser uma das florestas mais ricas em biodiversidade do planeta e ao mesmo tempo uma das mais ameaçadas. O estado do Rio de Janeiro está completamente inserido no bioma Mata Atlântica, e apesar dos estudos fitossociológicos no Brasil terem se iniciado no estado do Rio de Janeiro, a Mata Atlântica fluminense ainda é muito pouco conhecida sob este enfoque. Com ecossistemas como restingas, manguezais, campos de altitude e um grande conjunto de formações florestais, o bioma é um dos mais ricos do mundo em biodiversidade. A floresta Atlântica, com sua diversidade e exuberância, formando uma longa faixa florestal contínua de extensões variadas para o interior, é resultado da influência climática úmida combinada à variação de gradientes de altitude e latitude. Tais características associadas aos ecossistemas costeiros garantiram ainda maior diversidade paisagística ao Estado do Rio de Janeiro. Os ciclos econômicos e os processos de ocupação do território provocaram alterações na paisagem que devem ser consideradas no planejamento territorial (SAFFORD & MARTINELLI, 2010).

No território do Estado, a cobertura vegetal nativa e original observada são de apenas 19%, aproximadamente, registrada atualmente, dos remanescentes de vegetação, cerca de 18% correspondem a vegetação de floresta, 1% a de restinga e apenas 0,25% representam vegetação de mangue (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2008) (Figura 2).

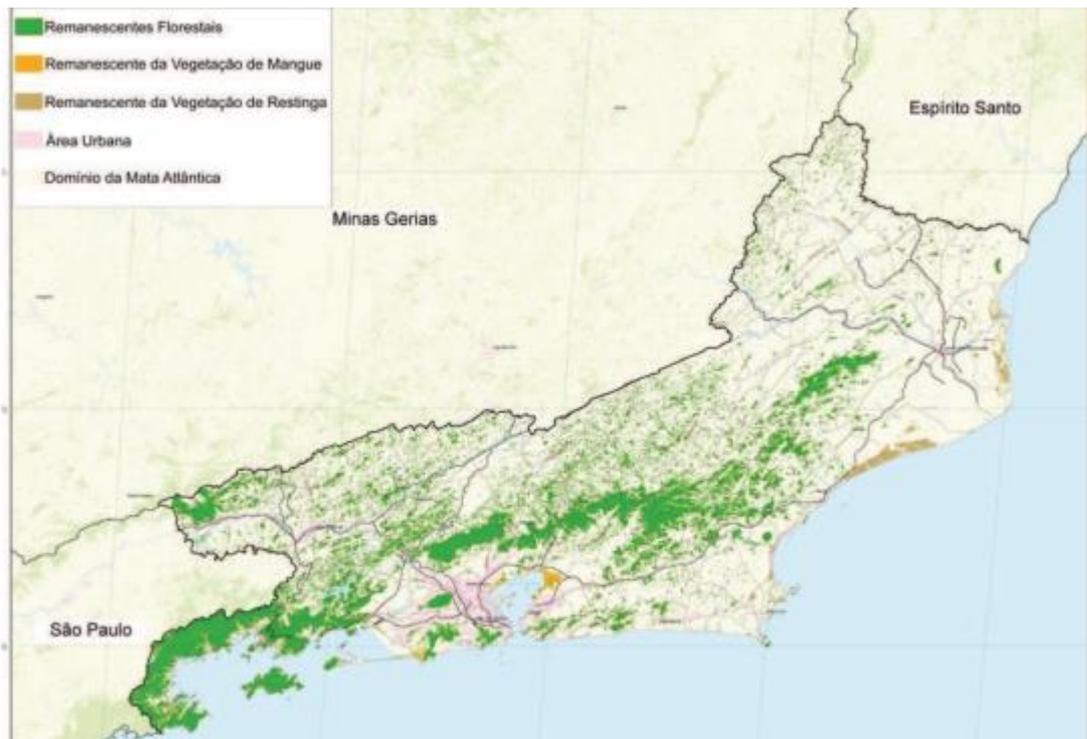


Figura 2. Remanescentes de vegetação do Estado do Rio de Janeiro (Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2008).

#### 4.1.1.1. Fitofisionomias da vegetação do Estado do Rio de Janeiro

A Floresta dos Tabuleiros corre de Pernambuco até o Rio de Janeiro, o projeto RADAMBRASIL (1987) classifica esta floresta como “Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas”. Distinguem-se das outras formações de Mata Atlântica lato senso por ocuparem uma extensa área de planície ou tabuleiro costeiro, de origem terciária, com suas espécies distribuídas ao longo de um gradiente climático (sentido litoral-interior) (Silva & Nascimento, 2001); restinga é a vegetações de influência litorânea presente principalmente na Região dos Lagos; os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais jovens, ocorrem em terrenos baixos e planos e regiões estuarianas, deltas, às margens de lagunas, ao longo de rios e nas suas desembocaduras, orlas de baías e canais naturais, estendendo-se até onde ocorre o fluxo da maré, e nunca estando exposto à ação direta das ondas; floresta ombrófila densa situadas na vertente oceânica das serranias ao longo da cordilheira Atlântica, ou que estejam em áreas próximas ao oceano sob influência das massas de ar úmidas que adentram o continente vindas do mar (RADAMBRASIL, 1987).

#### 4.1.2. Clima

Com isso, o clima é bastante diversificado em virtude da topografia acidentada, com morros, serras, vales, diversas fitofisionomias, regiões de baixada e baías, além da proximidade com o Oceano Atlântico. Sua posição latitudinal favorece a uma ampla exposição à radiação solar (NUNES et al., 2009). Nos campos da distribuição espacial de temperatura do ar e de chuva destaca-se a presença marcante da Serra do Mar, localmente denominada de Serra dos Órgãos, com altitudes que variam entre 100 e 2.275 m. Os maiores índices pluviométricos médios anuais encontram-se na divisa da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, onde a chuva varia entre 2.500 e 2.800 mm (NUNES et al., 2009).

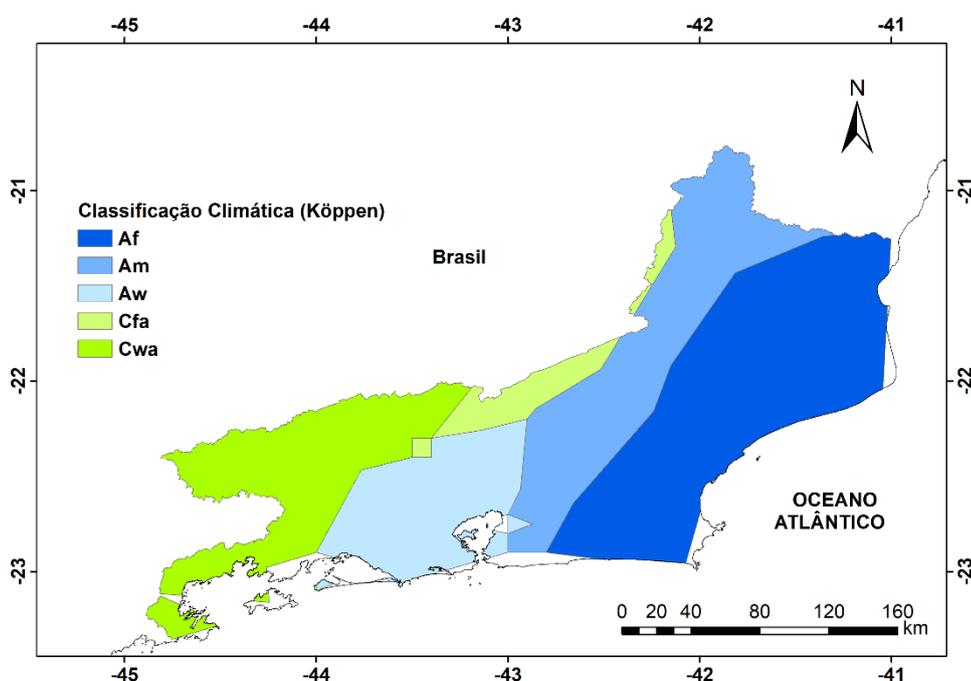


Figura 3. Clima do Estado do Rio de Janeiro (ALVARES et al., 2013).

#### 4.1.3. Solos

O conhecimento sobre os solos é indispensável para a avaliação das potencialidades e limitações ambientais de uma região, além compreender as inter-relações entre os diversos componentes do meio. Com isso, a Embrapa Solos, proposto pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), faz um levantamento e apresenta as informações das principais características dos solos dominantes no Estado do Rio de Janeiro (FILHO et al., 2000).

As fases do relevo do estado são subdivididas segundo critérios de declividade, forma do terreno, altura relativa das elevações, tipo e comprimento das pendentes, para estabelecer o grau de limitação no emprego de implementos agrícolas e à susceptibilidade à erosão. As principais classes de solos foram feitas através das descrições morfológicas, análises físicas, químicas e mineralógicas de seus perfis representativos (FILHO et al., 2000).

#### 4.1.4. Topografia

A topografia do Estado tem uma influência marcante no regime de precipitação, com máximos nas áreas de elevada altitude e mínimos sobre as regiões de baixada e costeira, há extensas áreas próximas ao nível do mar, como a baixada litorânea e a região norte do Estado, e áreas montanhosas com altitudes acima de 1500 metros, que influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação ao longo do estado, além da sua posição geográfica e dos aspectos dinâmicos da atmosfera (SOBRAL, 2017).

#### 4.2. Dados utilizados

A síntese dos dados utilizados para classificação dos usos e cobertura da terra encontram-se na Tabela 1, incluindo sua tipologia, finalidade e referência para a geração da modelagem dos mapas de cobertura e uso da terra.

Como a cobertura terrestre apresenta heterogeneidade espectral, peculiaridades que afetam o comportamento espectral das informações coletadas por sensoriamento remoto, foi utilizados diferentes fontes na classificação das classes, que apresentam resultados satisfatórios no processamento de dados heterogêneos.

Tabela 1 – Dados das classes de cobertura utilizados, indicando-se o tipo, a finalidade, referência bibliográfica e o ano.

<b>Dado</b>	<b>Tipo</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Ano</b>
Municípios RJ	Polígono	Delimitação da área de estudo.	IBGE	2010
Área Urbana	Polígono	Composição das classes	IBGE	2010
NDVI	<del>Raster</del>	Composição das classes	MOD13Q1 V006	2000-2018
Uso e Cobertura	<del>Raster</del>	Composição das classes	MODIS MCD12Q1	2001,2010 e 2016
Hidrologia	Polígono	Composição das classes	Agencia Nacional das Águas / INEA	2010
Temperatura	<del>Raster</del>	Composição das classes	Xavier et al. (2016)	1980-2013
Chuva	<del>Raster</del>	Composição das classes	Xavier et al. (2016)	1980-2013

#### 4.2.1. Índice de vegetação

O índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é matematicamente definido como a razão da diferença do valor da refletividade do infravermelho próximo e do vermelho e a soma destas refletividades (ROUSE et al. 1973), conforme a equação abaixo:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (1)$$

em que,

$\rho_{NIR}$  é a refletividade do infravermelho próximo (banda 2- 841-876 nm) e  $\rho_{red}$  é a refletividade do vermelho (banda 1- 620-670 nm).

Para o índice de vegetação foi utilizado o produto MOD13Q1 V006, quadrante, h13v11 e h14v11, disponibilizados em *Raster* no formato Hierarchical Data Format - HDF (.hdf), que pertence à NASA (). Este produto possui temporalidade de 16 dias e resolução espacial de 250 m x 250 m.

Os arquivos de índice de vegetação foram convertidos para a extensão Geotiff e reprojctados para o *Datum* WGS84, e as cenas dos quadrantes foram unidas para enquadrar o estado do Rio de Janeiro, utilizando o MODIS Reprojection Tool (MRT). Posteriormente, utilizando o ArcGIS 10.5 para o processamento, em que se criou um banco de dados espaciais para o cálculo do valor médio dos meses, que apresentaram mais de 1 arquivo do MOD13Q1, com objetivo de se obter os índices de vegetação dos anos 2000 a 2018.

#### 4.2.2. Variáveis meteorológicas: Tmax, Tmin e chuva acumulada

Foram utilizados dados mensais de chuva acumulada (mm), temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) do ar (°C) e calculado a média dos extremos de acordo com a equação proposta pelo boletim N°56 da FAO (FAO, 98). Os dados são provenientes de reanálise produzida e validada por Xavier et al. (2016), com resolução de 0.25° x 0.25° no formato NetCDF (.nc), as quais são disponibilizadas por meio de servidor mantido pela *The University of Texas at Austin*.

Os dados foram extraídos da biblioteca NetCDF no software ArcGis v. 10.5 e, desse modo, foram obtidos arquivos em *Raster* (ferramenta *Make NetCDF Raster Layer*). Em seguida, os *Rasters* foram delimitados utilizando-se a malha do estado do Rio de Janeiro (área de estudo).

Para os anos de 1980 a 2013 os dados produzidos por Xavier são disponibilizados em média mensal e total mensal acumulado (Chuva). Portanto, foram gerados *Rasters* mensais para os anos, a fim de se obter, posteriormente, os valores anuais das variáveis meteorológicas.

#### 4.2.3. Produto de uso e cobertura da terra – MCD12Q1

Os dados de cobertura da terra foram obtidos do MCD12Q1, um produto de nível 3 dos conjuntos de dados de cobertura da terra do *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* - MODIS. Este produto é derivado da saída MODIS () lançada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) dos Estados Unidos no final de 2008, com dados de observação anuais processados dos satélites Terra e Aqua aplicados para representar os tipos de cobertura da terra. O período coberto pelos dados escolhidos varia entre os anos de 2001, 2010 e 2016.

Como o produto original MCD12Q1 é armazenado em formato de dados hierárquicos (HDF) e com a projeção senoidal, é necessário o pré-processamento de dados, incluindo conversão de formato. O sistema de conversão de projeção profissional MODIS Reprojection Tools (MRT) é utilizado para este propósito. Em que, o formato de dados MODIS HDF é convertido em Geotiff, e a projeção de dados é convertida para WGS84 / UTM e o mosaico de imagens e o subconjunto também são concluídos.

#### 4.3. Softwares utilizados

Na Tabela 2 estão relacionados os softwares utilizados, quase todos com código aberto, com exceção do software ArcGIS versão 10.5, e suas finalidades.

Tabela 2 – Softwares utilizados, indicando-se a finalidade.

Software	Finalidade
MRT	Converter para a extensão Geotiff e reprojetar para o <i>Datum</i> WGS84
ArcGIS 10.5	Processamento de imagens
R 3.4.1	Análise estatística exploratória dos dados
GeoDa 1.8	Análises estatísticas espaciais
QGIS 2.18.13	Padronização de variáveis, tabelas, <i>datum</i> e projeção; edição vetorial.
FILLCELL 2.0.1	Gerenciador de scripts de preenchimento de células compatíveis com LuccMe.
LuccME 3.1	Gerenciador de modelos.

#### 4.4. Desenvolvimento metodológico

##### 4.4.1. Tratamento do banco de dados para modelagem

Durante a preparação do banco de dados espacial, os vetores referentes aos mapas previamente publicados foram agrupados e editados. Além da tabela de atributos e tipos de variáveis, foram padronizados o *datum* (WGS 84) e a projeção (UTM, fuso 23S).

O mapeamento foi iniciado com a seleção das feições relacionadas à base cartográfica: perímetro do município, malhas hidrográfica e viária, corpos d'água e mancha urbana. A base cartográfica utilizada foi mantida intacta. Isto significa que quaisquer alterações relacionadas à mancha urbana e aos corpos d'água não foram consideradas.

A escala da base cartográfica do estado do Rio de Janeiro referente ao perímetro municipal adotada é de 1:250.000 (IBGE, 2018). Com o objetivo de utilizar polígonos e

linhas referentes à malha hidrográfica e corpos d'água em escala mais detalhada, optou-se por utilizar os dados da Agência Nacional das Águas /INEA, cuja escala aproximada é 1:50.000. Em relação às demais feições de classe – malha viária e mancha urbana – foram mantidas as da base cartográfica de 1:250.000.

Após a definição da base cartográfica, foram inseridos os polígonos, linhas e pontos referentes às classes temáticas no gerenciador de scripts de preenchimento de células – Fillcell 2.0.1., para criação do plano celular e preenchimento das células.

#### 4.4.2. Modelagem LuccMe

Para o desenvolvimento de um modelo de mudanças de uso e cobertura da terra para o Estado do Rio de Janeiro, optou-se por utilizar o arcabouço de modelagem de mudanças de uso e cobertura da terra espacialmente explícita (LuccME), criado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE) (AGUIAR et al., 2012).

O LuccME é uma estrutura de software com código aberto para o desenvolvimento de modelos do uso e cobertura da terra espacialmente explícito, que simplifica processos de mudanças da terra em combinação com componentes ambientais e sociais básicos (AGUIAR et al., 2012).

Visando subsidiar a modelagem, foi construído um banco de dados, de espaço celular de 5 x 5 km<sup>2</sup>, com dados referentes aos anos de 2001 a 2016 anuais.

##### 4.4.2.1 Processo de modelagem

Após ter completado a etapa de tratamento dos dados, segue a etapa que antecede a modelagem propriamente dita, com a escolha do problema de estudo, ajusta-se o espaço celular com os dados no software LuccMe, processando a quantidade e localização desses dados. A modelagem começa na etapa de parametrização (demanda, potencial e alocação), com as fases de calibração, validação, como mostra a figura 4, e por fim, faz-se a estimativa dos cenários pessimistas e otimistas.

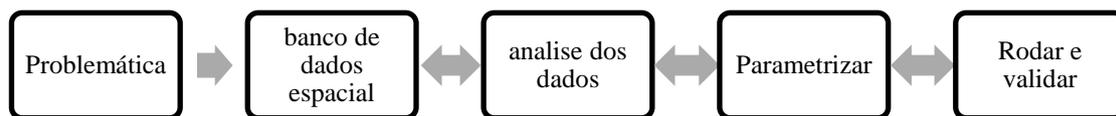


Figura 4. Fluxograma das etapas para construção de um modelo de uso da terra no LuccME 3.1 (LuccMe, 2017).

Na etapa de calibração, as variáveis foram alocadas a fim de gerar as probabilidades de transição que alimentaram o modelo (figura 5), para isso usamos o ano de 2010.

A validação consistiu na comparação entre o mapa simulado e o mapa real para avaliar o desempenho do modelo em simular o fenômeno estudado de mudança.

Para a projeção dos cenários futuros, de 2020 e 2030, com hipóteses pessimistas e otimistas.

- i. Na hipótese pessimista, a vegetação sofre perdas drásticas devido a expansão agrícola, principalmente de cana-de-açúcar, no Noroeste Fluminense, da ocupação desordenada da área urbana, com o aumento demográfico, que pode ter consequências alarmantes em degradação ambiental.
- ii. Já a hipótese otimista, políticas públicas socioambientais são desenvolvidas para desacelerar o desmatamento da floresta nativa, como por exemplo, planejamento urbano, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

Cada hipótese foi definida, após um copilado de informações a respeito das tendências e potencialidades econômicas do estado, além das projeções feitas por alguns autores como Klug, et al. (2016).

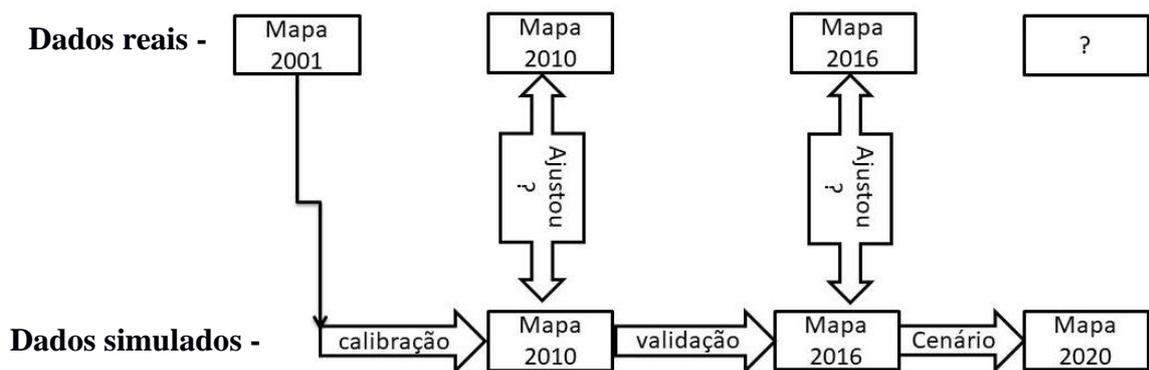


Figura 5. Etapas do processo de modelagem com modelo selecionado (LuccMe, 2017).

#### 4.4.2.2. Análise estatística do modelo

A fim de obter a estatísticas utilizada no tratamento dos dados, utilizaremos o software GeoDa 1.8, que trabalha de forma específica com análises estatísticas espaciais, e o software R 3.4.1, ambos com código aberto.

Inicialmente, o modelo de regressão usual (mínimos quadrados ordinários) foi ajustado com os dados espaciais das classes e posteriormente incorporou-se a dependência espacial. Além do modelo matemático, os resultados obtidos foram apresentados em forma de índices que medem a associação espacial global e local.

Esses índices auxiliaram nos casos atípicos que inferem na posição das classes, para assim, gerar a informação necessária que foi utilizada na etapa de validação do modelo, como por exemplo, os valores do coeficiente das variáveis, o valor de akaike info criterion, e a probabilidade de similaridade dos mapas simulados com os mapas reais.

Para efeito de comparação dos resultados, após o processo de modelagem, foi estabelecida uma análise exploratória dos mapas simulados com os reais, por meio do boxplot, que representaram a variação dos dados entre os anos estudados dos mapas reais e simulados, com os cenários pessimistas e otimistas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos mapas de uso e cobertura do produto MCD12Q1, entre os anos de 2001, 2010 e 2016, foi elaborado um boxplot (Figura 6a), por ser uma ferramenta gráfica comparativa que apresentou a análise da posição das classes, à dispersão e à distribuição dessas classes de uso e cobertura nos anos estudado, com o tamanho da área ocupada em

km<sup>2</sup>. As classes não tendo distribuição simétrica, pois mais de 50% das mesmas são maiores que a mediana, o que torna a distribuição assimétrica positiva em cada boxplot. O tamanho da área das classes de valores discrepantes é representado pelos outliers. O ano de 2001 apresentou menor variabilidade de tamanho de classe de uso e cobertura, que nos outros anos, no entanto, teve a maior área que representa a classe H (savanas).

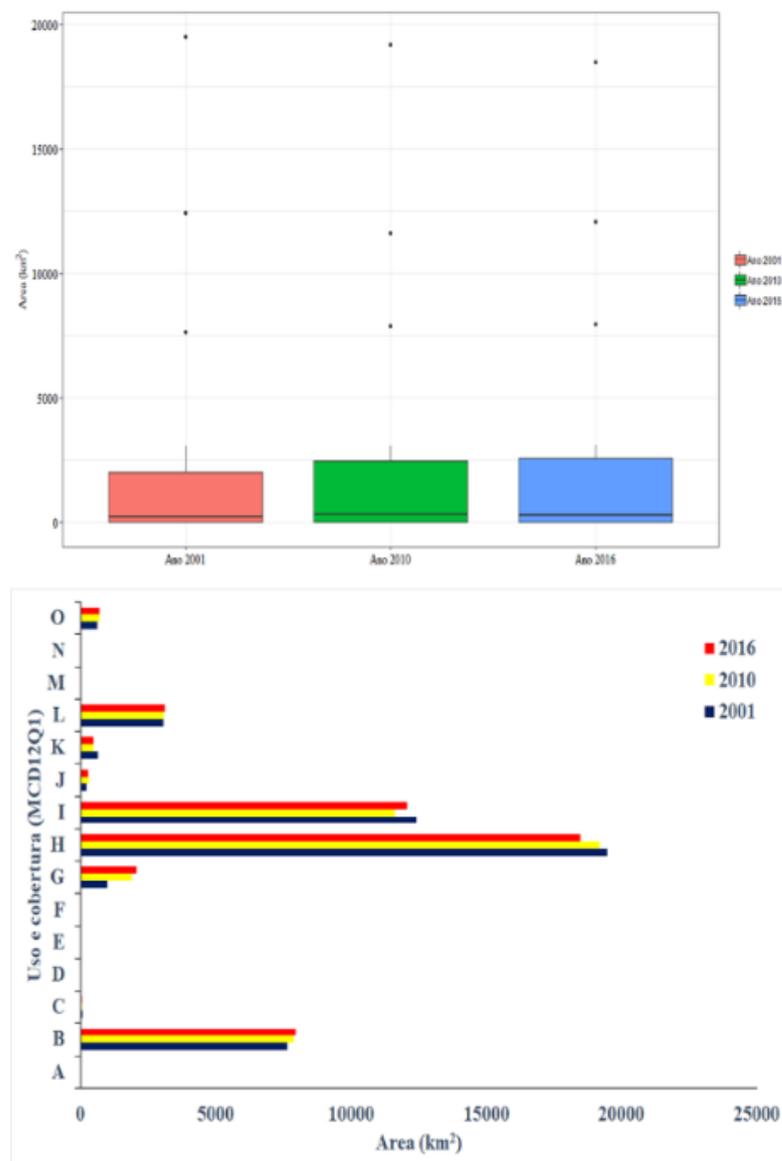


Figura 6. Boxplot dos mapas reais de 2001, 2010 e 2016 (a) e distribuição das classes de uso e cobertura por área do produto MCD12Q1 do estado do Rio de Janeiro (b).

Com produto MCD12Q1 foram mapeadas nove classes de cobertura para o estado do Rio de Janeiro, sendo floresta ombrófila, floresta ombrófila decídua, savanas arbóreas, savanas, pastagens, pântano, terras agrícolas, terrenos urbanos e construídos e corpos de água (Tabela 3). A classe de floresta ombrófila decídua teve pouca expressividade em

tamanho de área em km<sup>2</sup> devido a escala do gráfico (Figura 8b). Já as classes de savana, pastagens foram as classes que tiveram maior área, com mais de 1000 km<sup>2</sup> para cada classe em todos os anos, contudo observa-se uma tendência de perda de área ao longo dos anos estudado. Em seguida temos a classe de floresta ombrófila de maior tamanho de área, que com o tempo de 2001 a 2016 teve sua área aumentada.

Tabela 3. Classes de uso e cobertura do solo para o estado do Rio de Janeiro (MCD12Q1).

Classe	Sigla
Floresta	A
Floresta Ombrófila	B
Floresta Ombrófila Decídua	C
Florestas Mistas	D
Mata Densa	E
Arbustos abertos - clareiras	F
Savanas Arbóreas	G
Savanas	H
Pastagens	I
Pântano	J
Terras Agrícolas	K
Terrenos Urbanos e Construídos	L
Mosaico de cultivo e vegetação natural	M
Solo exposto	N
Corpos de Água	O

Fonte. Sulla-Menashe & Friedl, 2018.

O uso e cobertura da terra é geralmente considerada o importante indicador ecológico para investigar os recursos ambientais e muitos estudos foram realizados sobre tal questão. Consequentemente, a análise das variações espaciais nos padrões de paisagem da cobertura da terra pode ser muito útil para avaliar o sistema ecológico regional qualitativamente e quantitativamente (Balthazar et al., 2015). As imagens do produto MCD12Q1 de uso e cobertura do MODIS mostraram-se eficientes para identificação das classes nos níveis de exploração e reconhecimento.

### 5.1. Modelo de uso e cobertura do estado do Rio de Janeiro

Para simplificar a organização das classes de uso e cobertura da terra do Rio de Janeiro, através da interpretação visual e classificação de imagens foi utilizada um

sistema de classificação hierárquico, em que se mapeou seis classes, floresta, pastagem, outros, agricultura, área urbana e água. A classe outros representa as áreas inundadas, afloramento rochoso e solo exposto.

As Figuras 7 e 8 representam os mapas simulados no modelo LuccME\_RJ para os anos 2010 e 2016 oriundos dos mapas observados de calibração e validação, respectivamente.

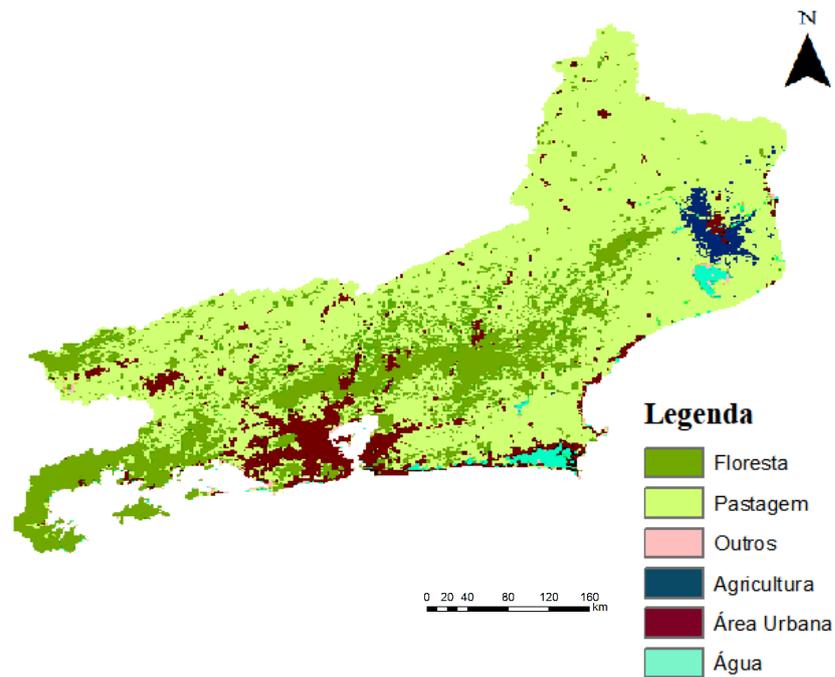


Figura 7. Mapa simulado para calibração do modelo LuccME\_RJ de uso e cobertura de 2010.

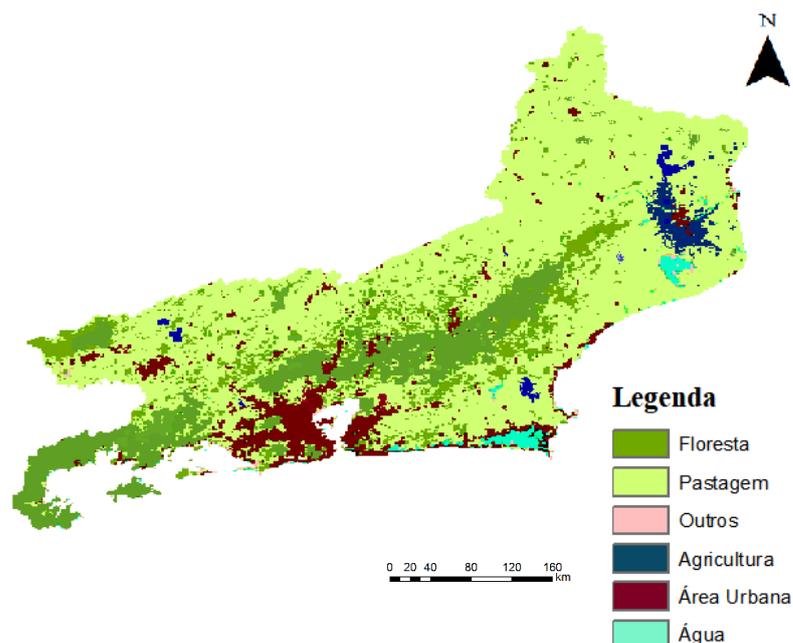


Figura 8. Mapa simulado para validação de uso e cobertura de 2016.

Os mapas simulados de calibração e validação apresentam predominância da classe pastagem e o baixo índice de área de vegetação nativa. Apesar do acréscimo da classe floresta ao longo de cinco anos, devido as normas de grande abrangência e repercussão, tais como o Código Florestal (Lei ), bem como várias outras que se relacionam ou orientam o licenciamento ambiental.

A identificação dos tipos de cobertura da terra é sempre o primeiro requisito para monitorar e avaliar o padrão de paisagem. Nos últimos anos, muitos estudos se concentraram em analisar as características e mudanças dinâmicas dos padrões de paisagem em áreas urbano-suburbanas, agricultura, floresta, terra seca, terras úmidas, etc., através de várias imagens de sensoriamento remoto (ZHAO EL AL., 2018).

As queimadas, expansão agricultura, loteamentos clandestinos, expansão urbana, são fatores que intensificam a mudança de uso e cobertura da terra, que vão de encontro com a lei nº 11.428/2007, que representa a lei da Mata Atlântica, pelo qual bioma é protegido legalmente. Segundo Clemente et al., 2017 a alta variabilidade dos focos calor e de queimadas no estado do Rio de Janeiro se deve ao uso e à ocupação da terra, a práticas agropastoris e a atividades industriais, sendo o período mais suscetível de ocorrência de incêndios e queimadas a estação mais secas do ano, que compreende os meses de agosto, setembro e outubro.

A gestão pública estadual, precisa adotar medidas de monitoramento através das imagens de satélites ambientais e medidas mitigadoras para os incêndios, com acompanhamento semanal, a fim de evitar a supressão da vegetação e identificar com mais rapidez qualquer alteração iniciada no bioma para garantir a integridade da vegetação e a preservação da fauna e da flora (CLEMENTE et al., 2017).

## 5.2. Cenários otimista e pessimista futuros

Os cenários futuros de mudança de uso e cobertura para os anos de 2020 e 2030 têm importante relevância, ao apresentar o panorama da dinâmica de mudança ao longo do tempo acerca do estado do Rio de Janeiro, pois demonstrando a vulnerabilidade de algumas classes a intervenção antrópica, como também fornece subsídios para tomada de decisão acerca de medidas de adaptação passíveis a serem implementadas, visando a diminuição dos impactos.

O boxplot (Figura 9) representa a comparação do tamanho das áreas, dos cenários otimistas de 2020 e 2030, dos cenários pessimistas de 2020 e 2030 com o passado, que mantem a distribuição assimétrica positiva em cada boxplot. Em que, a variabilidade da distribuição das classes com o tempo indica, que quanto mais o tempo passa, o tamanho das áreas de cada cenário aumenta, chegando a ultrapassar o limite do estado, por causa da célula de grade que extrapola. Contudo, as classes apresentaram os mesmos padrões de tamanho nos cenários otimista de 2020 e 2030 com os pessimista de 2020, o que não aconteceu com cenário pessimista de 2030, tendo os maiores valores de classe de uso e cobertura, com a classe de maior outlier, devido a classe da área urbano, que aumentou 183321 Km<sup>2</sup> de área.

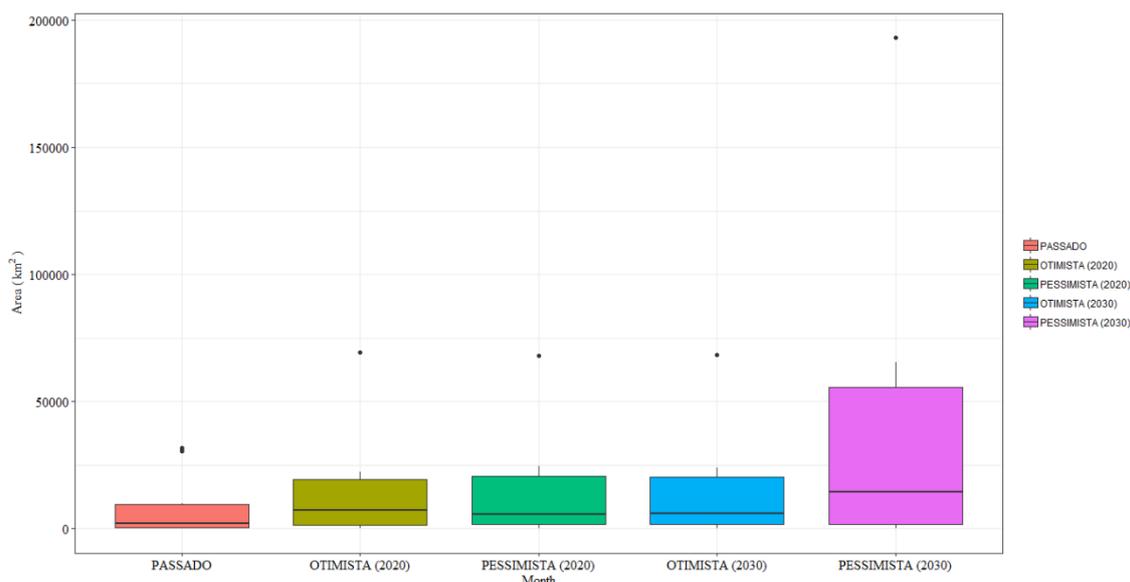


Figura 9. Boxplot de comparação dos cenários futuros com passado pela área.

Sendo assim, podemos estimar os padrões da dinâmica de mudança da cobertura da terra, utilizando os cenários de 2020 e 2030, conforme a tabela 4, em que, a classe pastagem tem a maior área entre as outras classes, mas com o tempo a tendência é de diminuição, com perda de área de pastagem para outras classes em todos os cenários. O que acontece de forma inversa com a classe de floresta. A agricultura mantém um padrão de área ocupada, tendo um crescimento no cenário otimista de 2020 e 2030, com perdas de áreas nos cenários pessimistas. Já a classe de área urbana não teve um significativo aumento de tamanho durante os anos dos cenários de 2020 e cenário otimista de 2030, no entanto com cenário pessimista teve, um aumento discrepante no seu tamanho de área, devido a tendência das perdas drásticas das outras classes.

Tabela 4. Tamanho das áreas das classes dos cenários pessimistas e otimistas em comparação com passado.

Classes	Passado	Otimista 2020	Pessimista 2020	Otimista 2030	Pessimista 2030
Pastagem	31092.08	69448.25	68030.50	68260.25	65281.25
Floresta	9555.33	22194.00	24662.25	23939.50	26930.25
Água	935.67	587.00	1511.50	1515.00	1515.50
Outros	14.92	145.25	152.25	154.75	125.50
Agricultura	522.75	3823.00	2438.50	2440.75	2352.75
Área Urbana	3083.17	10779.50	9240.50	9634.00	192955.00
Total	45203.92	106977.00	106035.50	105944.25	289160.25

Como nos anos 2005, 2010 e 2015, ocorreram eventos climáticos extremos, como secas e enchentes em locais que não tem o histórico de ocorrências (PANISSET et al., 2018), o ano de 2030, tende a seguir os padrões ocorridos nesses anos, que é responsável que por mudanças significativas ao ambiente urbano e do ecossistema.

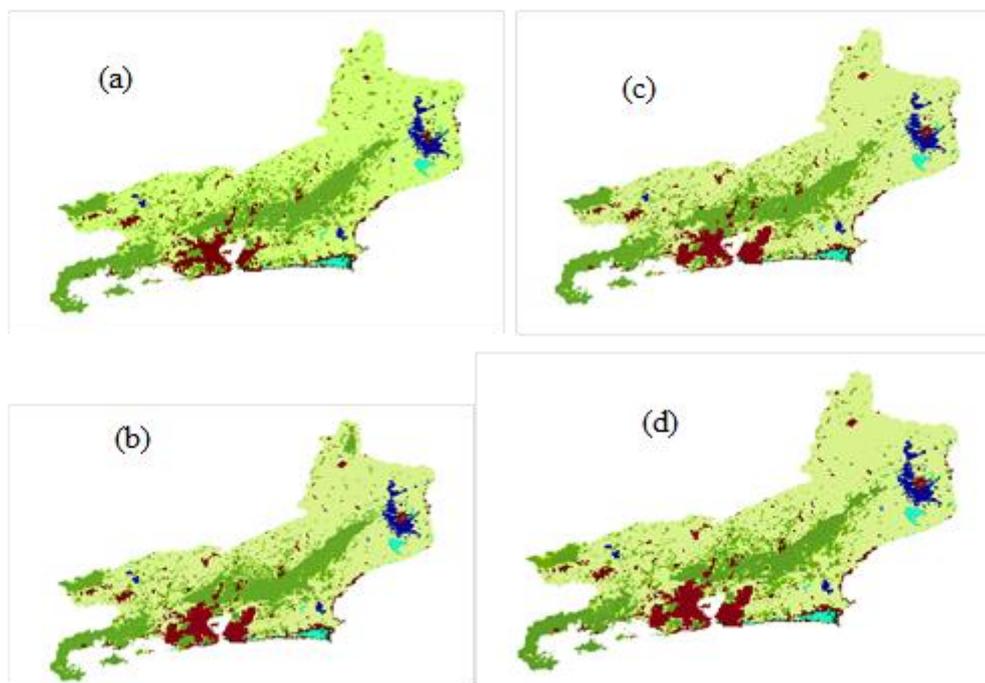


Figura 10. Cenário otimista 2020 (a), Cenário otimista 2030 (b), Cenário pessimista 2020 (c), Cenário pessimista 2030 (d).

No cenário otimista (Figura 10a e 10b) as mudanças da vegetação se demonstram com mais intensidade, as áreas que estavam sofrendo o processo de restauração e reflorestamento se recuperam ao ponto de mudarem de classe. Nesse cenário as construções irregulares construídas em áreas de risco nas unidades de conservação, são realocadas, dando espaço para o crescimento da vegetação nativa, além da legislação ter surtido efeito, aumentando as áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente, devido a readequação ambiental.

Ao estipular as demandas para o cenário negativo (Figura 10c e 10d) podemos observar que a área urbana aumentou de 9240.50 Km<sup>2</sup> para 192955.00 Km<sup>2</sup>, devido a tendência de crescimento da população e conseqüentemente, aumenta expansão urbana no período de 2016 a 2030. Com isso, também aumenta a perda de áreas de vegetação

dos maciços florestais para ocupação irregular de casas que se inserem na mata atlântica de forma ilegal ao fazerem a supressão da vegetação nativa.

O que corrobora ao histórico do processo de evolução urbana do Rio de Janeiro que demonstra uma sucessão de intervenções que alteraram o meio natural e colaborou para ampliar as fragilidades e problemas ambientais. No plano nacional, a região metropolitana do estado, alcançou o maior grau de urbanização, aproximadamente 99,5%, a maior densidade de ocupação, 2.285,5 hab./km<sup>2</sup> e cresceu a uma taxa média geométrica anual de 1,12 % aa. entre 91 e 2000 (NACARATTI, 2008). Com posição estratégica para a navegação marítima, determinou, desde sua formação, papel de destaque na rede de comércio do Atlântico Sul. Atualmente é a maior aglomeração urbana da Zona Costeira Brasileira.

Ambos os cenários a agricultura se mantem nas áreas mais produtivas e produtoras, não tendo um aumento ou perda de área significativa, pois o Rio de Janeiro não é um estado agrícola e o tempo simulado não permitiu estipular a dinâmica de mudança de forma expressiva.

## **6. CONCLUSÃO**

As imagens MODIS foram de fundamental importância na condução dos trabalhos, devido a confiabilidade dos dados e pela disponibilidade do tempo de estudo.

O monitoramento do uso e cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro se mostra como uma importante ferramenta, para a preservação dos ambientes naturais e no planejamento estratégico das áreas urbanas, pois é um dos Estados brasileiro que mais sofre com a pressão antrópica, sendo assim, podendo auxiliar na tomada de decisão e desenvolvimento de políticas públicas que ajudam na prevenção e minimização dos desastres naturais.

A utilização do modelo LuccME\_RJ, reforça que essa tecnologia precisa ser mais aplicada para o monitoramento da dinâmica ambiental, pois serve de alerta, das consequências da exploração da paisagem, que continua sofrendo uma grande perda dos recursos naturais, pois a tendência da dinâmica de mudanças das classes de uso e cobertura da terra, podem permitir a observação dos principais fluxos de mudanças.

O emprego deste modelo, seja no aprimoramento no planejamento, ou na utilização em outros projetos como na uma etapa intermediária no processo de estimativas municipais, estaduais, ou grandes áreas, podendo ser incorporado nas projeções, nas

avaliações e perspectivas de técnicos e pesquisadores quanto ao desenvolvimento econômico nas regiões brasileiras, chegando-se possivelmente a estimativas ambientais mais consistentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, L.J.O. et al. Avaliação de alvos em áreas sob desertificação no semi-árido paraibano com base nos sensores Hyperion e LANDSAT 7 ETM+. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21, abril, INPE, p. 347-353, 2005.
- AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudança do uso do solo na amazônia: explorando a heterogeneidade intra-regional. 2006. 182 p. (sid.inpe.br/MTCm13@80/2006/08.10.18.21-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, v. 209, n. 2-4, p. 169–188, dez. 2007.
- AGUIAR, A. P. D.; CARNEIRO, T.; ANDRADE, P. R.; ASSIS, T. O. LuccMESoloME: an open-source framework for spatially explicit land use change modelling. *GPL News*, n. 8, p. 21-23, 2012.
- ALMEIDA, J.B. et al. O Sensoriamento Remoto aplicado ao Estudo da Desertificação na Região Semiárida do Norte de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geom.*, v.2, n. 2, p.41-49, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, p. 711–728. 2013.
- BALTHAZAR, V.; VANACKER, V.; MOLINA, A.; LAMBIN, E.F. Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. *Ecol. Indic.*, 48, 63–75. 2015.
- BEZERRA, G. S. Contribuição De Fatores Socioeconômicos, Biofísicos e da Agropecuária à Degradação da Cobertura Vegetal como “Proxy” da Desertificação no Semiárido do Nordeste do Brasil. 177 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.
- BLANK, D. M. P. O. Contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, mai./ago. 2015.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima. Brasília: SAE/PR, 2015.

BROXTON, P. D.; ZENG, X.; SULLA-MENASHE, D.; TROCH, P. A. A Global Land Cover Climatology Using MODIS Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 53, p. 1593-1605, 2014.

CERA, J.C e FERAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no Sul do Brasil no clima presente e futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, p. 81 – 88, 2015.

CLEMENTE, S. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LOUZADA, M. A. P. Focos de calor do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro: uma abordagem de gestão e legislação ambiental *Rev. Ciênc. Agroamb.* v.15, n.2, 2017.

DALLA-NORA, E. L.; DE AGUIAR, A. P. D.; LAPOLA, D. M.; WOLTJER, G. Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? *Land Use Policy*, v. 39, p. 403–411, jul. 2014.

DE KONING, G.H. et al. Clue: a tool for spatially explicit and scale sensitive exploration of land-use changes. In L. Lebel & D. Murdiyarso IC-SEA report no. 5. Modelling global change impacts on tropical landscapes and biodiversity. Bogor, Indonesia, pp. 29-40. 1998.

DIAS, M. Eventos Climáticos Extremos. *Revista USP*, (103), 33-40. 2014.

during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 68, n. 10, p. 1041–1049, 2002.

EMBRAPA. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. São Paulo, 2008.

FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura), 1998. Evapotranspiração de culturas: diretrizes para o cálculo de requisitos de culturas [online]. Roma, Itália: Organização para Alimentação e Agricultura. Disponível em: . Acessado em 30 de fevereiro de 2019.

FILHO, A. C.; LUMBRERAS, J. F.; SANTOS, R. D. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM, 2000.

Fundação SOS Mata Atlântica; INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas. Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, São Paulo, Brasil. 2008.

KLUG, L.; MARENGO, J.A.; LUEDEMANN, G. Mudanças climáticas e os desafios brasileiros para implementação da nova agenda urbana. In. COSTA, M. A. O Estatuto da

Cidade e a Habitat III: um balanço de quinze anos da política urbana no Brasil e a nova agenda urbana, s. 1.: IPEA, 2016.

KOK, K. et al., 2001. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 223-238.

LOPES, A. E.R.; RODRIGUES, A. S. B.; COSTA, G.S. Análise da Contextualização e da Sensibilização na Cobertura de Eventos Climáticos Extremos Pelo Jornal Online “Folha de São Paulo”. *Aturá Revista Pan-Amazônica de Comunicação*, Palmas, v. 2, n. 2, p. 85-106. 2018.

LOS, S.O. Modelling spatial and temporal vegetation variability with the Climate Constrained Vegetation Index: evidence of CO<sub>2</sub> fertilisation and of water stress in continental interiors. *Geoscientific Model Development Discussions*, v. 8, p. 4781-4821, 2015.

LUCCME. Guia do usuário. Versão 3.1, Setembro 2017.

MACEDO, R. C.; ALMEIDA, C.M.; SANTOS, J. R.; RUDORFF, B. F. T. Modelagem Dinâmica Espacial das Alterações de Cobertura e Uso da Terra Relacionadas à Expansão Canavieira. *Bol. Ciênc. Geod.*, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 2, p.313-337. 2013.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006.

MATALLO JR., H. Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. *Cadernos da UNESCO Brasil, série Meio Ambiente e Desenvolvimento*, v. 2. Brasília: Unesco, 2001.

MOREIRA, A.; FONTANA, D. C; KUPLICH, T. M.; CARDOSO, M. A. Dados meteorológicos estimados em condições de clima subtropical e a relação com índices de vegetação. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, n 69/6, p. 1075-1091. 2017.

NACARATTI, M. A. Os Cenários de Mudanças Climáticas como Novo Condicionante para a Gestão Urbana: as Perspectivas para a População da Cidade do Rio de Janeiro. *Anais do XVI Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, Caxambu, MG, Brasil. 2008.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. *Parcerias Estratégicas - Número 12 – setembro*. 2001.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 de junho de 2018.

NUNES, L.H.; VICENTE, A.K. & CANDIDO, D.H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A., FERREIRA, N.J., JUSTI DA SILVA, M.G.A. & SILVA

- DIAS, M.A.F. (eds.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo, Oficina de Textos, p. 243-258. 2009.
- PANISSET J.S., LIBONATI R., GOUVEIA C.M.P., MACHADO-SILVA F., FRANÇA D.A., FRANÇA J.R.A., PERES L.F. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, 38(2), 1096-1104. 2018.
- PARKER, W.S. Reanalyses and observations: What's the Difference? *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 97, n. 9, p. 1565-1572, 2016.
- PONTIUS, R. G. Statistical methods to partition effects of quantity and location
- PONTIUS, R. G.; CORNELL, J. D.; HALL, C. A. Modeling spatial pattern of land-use change with geomod2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.85, n 1-3, p. 191-203, jun. 2001.
- RADAM BRASIL. Levantamento dos recursos naturais – folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: Mistério das Minas e Energia, 32:780, 1983.
- RIBEIRO, M. C. et al. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, London, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. In: *Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 3, 1973, Washington, D. C. Proceedings. Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309-317, 1973.
- SAFFORD, H. D., & MARTINELLI, G. Southeast Brazil. IN: *Inselbergs: Biotic diversity of isolated rock outcrops in Tropical and Temperate regions*. Alemanha: Springer, p. 339-389. 2000.
- SANTOS, R. F. Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <<http://modal.cetesb.sp.gov.br/portal/index.php?livros>>. Acesso em 21 set. 2018.
- SIMS, R. et al. Transport. In: EDENHOFER, O. et al. (Eds.). *Climate Change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014.
- SLOVINSCKI, N. C.; VICENS, R. S.; Pimenta, M. L. F.; CRONEMBERGER, F. M. Utilização de modelo digital de elevação e grades climáticas na cartografia de unidade paisagem de primeira ordem do Estado do Rio de Janeiro. *Anais XV Simpósio Brasileiro*

de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.5958, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

SOARES-FILHO, B. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), 217-235. 2002.

SOBRAL, B. S. Caracterização da seca no estado do Rio de Janeiro baseada no índice SPI via modelo DRINC. 2017. 154f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biosistemas da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2017.

SOUTHWORTH, F., DALE, V.H., O'NEILL, R.V. Contrasting patterns of land use in Rondonia, Brazil: simulating the effects on carbon release. *International Social Sciences Journal* 130:681-698. 1991.

SOUZA, B. L.; SILANS, A. M.B.P.; SANTOS, J.B. Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá. *Rev. bras. eng. agríc. Ambiente*, v.8, n.2-3, Campina Grande maio/dez. 2014.

STEVIC, D.; D.; B, I.; DOJČINOVIĆ, N.; JOKOVIĆ, J. Automated identification of land cover type using multispectral satellite images. *Energy and Buildings*, v. 115, p. 131-137, 2016.

Sulla-Menashe, D.; Friedl, M. A. User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product. USGS: Reston, VA, USA, 2018.

TURNER, B.L.; MEYER, B.L. "Global Land Use and Land Cover Change: An Overview." In *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*, eds. W.B. Meyer and B.L. Turner II, 3-10. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina/Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010. Volume Brasil. Florianópolis: UFSC, CEPED, 2012. 94 p. Disponível em: Acesso em: 22 jul. 2018.

VAEZA, R.F.; FILHO, P.C.O.; MAIA, A.G.; DISPERATI, A.A. Uso e ocupação do solo em Bacia Hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Floresta e Ambiente*, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

VELDKAMP, A. & FRESCO, L.O., 1996. CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects. *Ecological modelling*, 85, 253-270.

VERBURG, P.H. et al., 1999. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological modelling*, 116(1), 45–61.

VIEIRA, R. M. S. P. Susceptibilidade à degradação/desertificação no semiárido brasileiro: tendências atuais e cenários decorrentes das mudanças climáticas e do uso do solo. 2015. 87 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

ZANIN, M.; TESSAROLO, G.; MACHADO, N.; ALBERNAZ, A. L.M. Mudanças climáticas e a cobertura vegetal nativa: impactos em um país mega diverso e seus biomas. *Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil*. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, p 93- 125. 2016.

ZEHR, S.C. Public representations of scientific uncertainty about global climate change. *Public Understanding of Science*, n° 9, 85-103 p. 2000.

ZHAO, J.; WANG, J.; JIN, Y.; FAN, L.; XU, C.; LIANG, D.; HUANG, L. Land Cover Based Landscape Pattern Dynamics of Anhui Province Using GlobCover and MCD12Q1 Global Land Cover Products. *Sustainability*, 10, 1285. 2018.