



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A ANÁLISE DA DINÂMICA DA  
VEGETAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL

DÉBORA JOANA DUTRA

BELO HORIZONTE

2018

DÉBORA JOANA DUTRA

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A ANÁLISE DA DINÂMICA DA  
VEGETAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista

Orientador: Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Brianezi

BELO HORIZONTE

2018

Dutra, Débora Joana.

Utilização de geotecnologias para a análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do ribeirão Serra Azul / Débora Joana Dutra: 2018.

76 p.;

Orientador: Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Co-orientador: Daniel Brianezi

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)  
– Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018

1. Vegetação. 2. Geoprocessamento. 3. Análise Ambiental. I. Dutra, Débora Joana  
II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Utilização de  
geotecnologias para a análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do ribeirão Serra Azul.

CDD ----

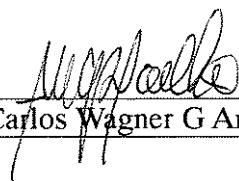
Débora Joana Dutra

UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A ANÁLISE DA DINÂMICA DA  
VEGETAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 06 / 12 / 18

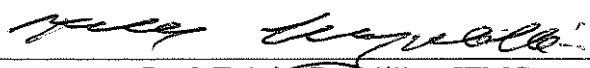
Banca examinadora:



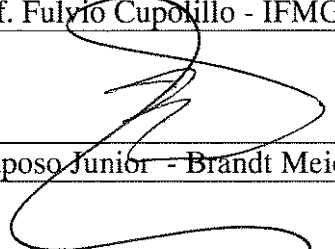
Prof. Orientador Carlos Wagner G Andrade Coelho - CEFETMG



Prof. Co-orientador Daniel Brianezi - CEFETMG



Prof. Fulyio Cupoillo - IFMG



Prof. Alceu Raposo Junior - Brandt Meio Ambiente

Aos meus pais por serem os ventos que guiam a vela do meu barco da vida, aos meus irmãos que são o meu cais seguro onde sempre encontro apoio, ao meu avô Raimundo (in memoriam) que na sua simplicidade de homem do campo me ensinou a respeitar a natureza e a minha madrinha Lurdinha (in memoriam) por sempre acreditar nos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

A vida é um livro cheio de páginas em branco a espera de ser preenchido pela experiência que temos ao longo da nossa jornada neste mundo escola. Nesta jornada agradeço primeiramente a Deus e aos mentores espirituais pela oportunidade de preencher essas páginas.

O presente trabalho é resultado de muita dedicação e esforço e, gostaria de agradecer a todos pela ajuda, atenção, incentivo e auxílio. Em especial deixo os seguintes agradecimentos:

A minha família, em particular aos meus queridos pais, José e Rosângela, por todo amor, carinho, sacrifícios e incentivo para que pudesse realizar meu sonho.

Aos meus irmãos, Pedro e Lucas, obrigada pelo apoio incondicional em todas as horas e por estarem sempre ao meu lado.

A Vilmara e ao Reginaldo pela amizade, por me incentivarem a fazer o curso e por me darem as primeiras lições sobre o meio ambiente em suas respectivas aulas de biologia e geografia durante o ensino médio.

A Paula, Priscilla e Larissa pela amizade de infância, por sempre me incentivarem a ser uma pessoa melhor e por estarem ao meu lado durante a minha graduação.

Ao CEFET-MG pela oportunidade de me tornar Engenheira Ambiental e Sanitarista e pela oportunidade de participar dos programas de monitoria, iniciação científica e liga universitária.

Aos professores Carlos Coelho e Daniel Brianezi pela respectiva orientação e coorientação para a elaboração e desenvolvimento deste trabalho. Agradeço a confiança, paciência, dedicação e conselhos.

Aos funcionários e demais professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental por todo apoio, incentivo e contribuição para a minha formação profissional.

Por fim, aos presentes que o CEFET-MG me proporcionou na forma de amigos. Muito obrigada por compartilharem os momentos de estudo, trabalho, risadas e alegrias. Graças a vocês os momentos vividos aqui se tornaram mais leves.

“A Terra produziria sempre o necessário, se com o necessário soubesse o homem contentar-se. Se o que ela produz não lhe basta a todas as necessidades, é que ele a emprega no supérfluo o que poderia ser empregado no necessário.”

Allan Kardec

## RESUMO

DUTRA, D.J., Utilização de geotecnologias para a análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do ribeirão Serra Azul. 2018. 76 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

A conservação dos recursos naturais tem se tornado cada vez mais importante, principalmente devido a questões relativas ao uso e ocupação da superfície e uso inadequado dos recursos ambientais. Essas ações têm ocasionado diversas pressões no meio ambiente, sendo alguns desses impactos o desmatamento e a falta de água. A sub-bacia do ribeirão Serra Azul é uma das regiões que sofreram com esse fenômeno, tendo decretado em 2015 situação de escassez hídrica na região do reservatório Serra Azul. Em busca de entender os impactos sofridos na região, o objetivo do presente trabalho consiste em realizar uma análise temporal, dos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015, da dinâmica vegetal da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul por meio de técnicas de processamento digital de imagem. A metodologia empregada por meio da utilização de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento possibilitou a elaboração de mapas de índice de vegetação, precipitação, temperatura do solo bem como uso e ocupação da superfície. Através da consulta a literatura e análise dos resultados encontrados foi possível estabelecer uma relação entre a dinâmica vegetal da região de estudo e os parâmetros analisados, principalmente em áreas relativas a expansão urbana na região de estudo. Foi possível identificar que a classificação utilizada para o SAVI foi a que melhor se adaptou a vegetação de cerrado. Além disso, foi possível identificar o aumento da temperatura da superfície ao longo do tempo de estudo bem como a diminuição da precipitação da região. Dessa forma, dentro da escala e resolução estudada os resultados permitiram analisar o comportamento da dinâmica vegetal da sub-bacia do ribeirão Serra Azul nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015, sendo possível analisar a sua interação com outros fatores, como temperatura, precipitação e uso e ocupação da superfície.

Palavras-Chave: Vegetação. Geoprocessamento. Análise Ambiental.



## ABSTRACT

DUTRA, D.J., Use of geotechnologies to analyze the vegetation of the sub-basin Serra Azul stream. 2018. 76 p. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

The conservation of natural resources has become increasingly important, mainly due to the use and occupation of the surface and inadequate use of environmental resources. These actions have occasioned several pressures on the environment, with some of these impacts being deforestation and lack of water. The sub-basin of the Serra Azul stream is one of the regions that suffered from this phenomenon, having decreed in 2015 the situation of water scarcity in the region of the Serra Azul reservoir. In search of to understand the impacts suffered in the region, the objective of the present work is to perform the temporal analysis, from the years 2000, 2005, 2010 and 2015, of the vegetation dynamics of the Sub-basin Serra Azul stream by means of techniques of digital image processing. The methodology used by means of the use of satellite images and geoprocessing techniques enabled the elaboration of maps of vegetation, precipitation, temperature soil, beyond surface use and occupation. Through of the literature consultation and analysis of the results obtained it was possible to establish a relationship between the vegetation dynamics of the study region and the parameters analyzed, especially in areas related to urban expansion in the study region. It was possible to identify that the classification used for SAVI was the one that best adapted to cerrado vegetation. In addition, it was possible to identify the increase of the surface temperature along the study time as well as the decrease of the precipitation of the region. Thus, within the scale and resolution studied the results allowed to analyze the behavior of the vegetation dynamics of the sub-basin Serra Azul stream in the years of 2000, 2005, 2010 and 2015, being possible to analyze its interaction with other factors such as temperature, precipitation and surface use and occupation.

Keywords: Vegetation. Geoprocessing. Environmental analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### A) FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. ....	22
Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento de um SIG .....	24
Figura 3 - Curvas espectrais de diferentes alvos .....	25

### B) GRÁFICOS

Gráfico 1 - Boxplot com a distribuição de dados de NDVI .....	39
Gráfico 2 - Boxplot com a distribuição de dados de SAVI .....	45
Gráfico 3 - Boxplot com a distribuição de dados de temperatura de superfície.....	47
Gráfico 4 - Índices Oceânicos Niño no período de 2000 à 2015.....	50
Gráfico 5 - Média das precipitações para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015.....	53
Gráfico 6 - Variação do NDVI ao longo da área urbana 2015 .....	59
Gráfico 7 - Variação do SAVI ao longo da área urbana de 2015 .....	60
Gráfico 8 - Variação da temperatura de superfície ao longo da área urbana do ano de 2015 ..	61
Gráfico 9 - Variação de NDVI ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015 .....	63
Gráfico 10 - Variação de SAVI ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015 .....	64
Gráfico 11 - Variação da temperatura de superfície ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015 .....	65

### C) MAPAS

Mapa 1 - Localização da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul .....	28
Mapa 2 - Localização das estações pluviométricas .....	33
Mapa 3 - Comparação do estágio de vegetação por meio da utilização de NDVI para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	37
Mapa 4 - Comparação do SAVI para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015.....	42
Mapa 5 - Comparação da variação da temperatura de superfície para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	46

Mapa 6 - Comparação da variação da precipitação anual para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	52
Mapa 7 - Comparação da variação do uso e ocupação da superfície para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas das imagens utilizadas e respectivos satélites .....	27
Tabela 2 - Intervalo de NDVI conforme a classificação da região .....	29
Tabela 3 - Intervalo de SAVI para a classificação da região.....	30
Tabela 4 - Valores das constantes para as bandas termais das imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8 .....	32
Tabela 5 - Estações pluviométricas .....	34
Tabela 6 - Classes de uso, cor e alvos utilizados.....	35
Tabela 7 - Área de abrangência de cada intervalo de NDVI entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	38
Tabela 8 - Área de abrangência de cada intervalo de SAVI conforme a atividade fotossintética entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015.....	43
Tabela 9 - Área de abrangência da temperatura de superfície entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	48
Tabela 10 - Ocorrências de El niño e La niña entre os anos de 2000 a 2016.....	49
Tabela 11 - Área de abrangência das classes de uso e ocupação da superfície entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 .....	57
Tabela 12 - Quantidade de área urbana e de vegetação ao longo da área urbanizada do ano de 2015 .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA - Agência Nacional de Águas

EVI - Enhanced Vegetation Index

IAF - Índice de Área Foliar

IDW - Inverse Distance Weighting

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

PDI – Processamento Digital de Imagem

RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

USGS – United States Geological Survey

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
3.1	Índices de Vegetação .....	16
3.2	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	17
3.3	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) .....	19
3.4	Temperatura da superfície.....	20
3.5	Precipitação.....	21
3.6	Geoprocessamento em análises ambientais .....	23
4	METODOLOGIA.....	27
4.1	Área de estudo.....	27
4.2	Cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	29
4.3	Cálculo do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).....	30
4.4	Temperatura da superfície.....	31
4.5	Precipitação.....	32
4.6	Elaboração do mapa de uso e ocupação da superfície .....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1	Índices de Vegetação .....	36
5.2	Temperatura da superfície.....	45
5.3	Precipitação.....	51
5.4	Uso e ocupação da superfície.....	55
6	CONCLUSÃO.....	67
7	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	69
8	REFERÊNCIA .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, o homem procurou várias formas de adequar a natureza as suas necessidades. Dessa forma, ele promoveu diversas mudanças e transformações no meio para assegurar a sua sobrevivência no planeta. Essas pressões antrópicas contribuíram de forma significativa para a redução da biodiversidade e impossibilitou, em alguns casos, a recuperação natural dos recursos ambientais (EMIDIO e COIMBRA; 2017).

Uma das formas de compreender essa transformação na natureza é por meio da forma de ocupação de uma determinada superfície. As atividades oriundas da forma do uso e ocupação do solo é um dos principais fatores responsáveis pelas pressões recebidas no meio ambiente e sua consequente degradação. No Brasil, biomas como o cerrado tem sofrido diversas consequências oriundas da forma como o homem ocupa a superfície. Dentro desse aspecto, as atividades agropecuárias tem sido um dos principais contribuidores para os impactos ambientais, ocasionando diversos reflexos no ecossistema, como o excesso de desmatamento (CUNHA et al, 2008).

Na região metropolitana de Belo Horizonte, a bacia do Paraopeba é uma das principais regiões a sofrerem com as pressões antrópicas. Sendo que em abril de 2015 a região decretou estado de escassez hídrica na bacia de contribuição e na porção hidrográfica do reservatório Serra Azul, pois os reservatórios da região atingiram o volume de 15% da sua capacidade. (MINAS GERAIS, 2015; COPASA 2017).

Uma das principais formas de analisar a relação homem e a natureza se dá por meio dos estudos de paisagens e da dinâmica vegetal de uma região. De acordo com Emidio e Coimbra (2017), a paisagem é um dos principais fatores responsáveis por atestar se um determinado local possui um bom equilíbrio ecológico ou não, sendo que as transformações antrópicas que ocorrem no meio físico são de grande importância para entender a relação do homem com a natureza. Dessa forma, os estudos sobre as formas de uso e ocupação da superfície servem como um estímulo para incentivar a conservação de uma região ou criar áreas de alertas acerca da sua degradação, sendo um importante sensor de qualidade ambiental.

Nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais importante a conservação dos recursos naturais devido à má ocupação do solo e o uso inadequado dos recursos ambientais. Por meio dessa visão, as práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de perda de solo e de impactos ambientais tem se tornado grandes aliados para um bom planejamento agroambiental (MELLO et al, 2005).

Nesse sentido, para atender a essa demanda e solucionar a pressão causada pela expansão das atividades econômicas e a decorrente competição por esses recursos é essencial a adoção de políticas baseadas em estudos que integrem aspectos tanto ambientais quanto sociais e econômicos. Para que essas políticas ocorram torna-se necessário a elaboração de informações e de sistemas que possam auxiliar na articulação e geração de subsídios para possíveis intervenções. Atualmente, diversos modelos matemáticos e técnicas de geoprocessamento tem servido como amparo para essas ações por meio da análise, monitoramento e simulação de condições que poderiam ocorrer em uma determinada região (MENDES e CIRILO, 2013).

Dessa forma, buscando suprir os desafios gerados na busca pelo crescimento econômico e a manutenção das potencialidades ambientais essas ferramentas possibilitam uma abordagem integradora dessa demanda. Um dos instrumentos de grande interesse para esse processo é a modelagem ambiental, pois considera o diagnóstico, processo e as mudanças ocorridas durante a elaboração de um sistema que vise a solução de um problema (CHRISTOFOLETTI, 1999). Esse modelo pode ser definido como características de um ambiente que podem ser reformulados, simplificados, facilmente apresentado e no qual podem ser extraídos conclusões. Nesse contexto, as geotecnologias têm se tornado uma ferramenta útil para a aplicação desses modelos (MENDES e CIRILO, 2013).

## **2 OBJETIVOS**

Analisar a dinâmica vegetação da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul. Para isso, o trabalho constitui-se em um objetivo geral e cinco objetivos específicos.

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise temporal, dos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015, da dinâmica vegetal da Sub-bacia do Ribeirão Serra Azul por meio de técnicas de processamento digital de imagem.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar a condição da vegetação por meio de índices de vegetação;
- b) Estimar a temperatura superficial;
- c) Analisar a distribuição pluviométrica da região;
- d) Mapear o uso e ocupação da superfície; e
- e) Avaliar a dinâmica da vegetação.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os recursos naturais são de grande importância para as atividades cotidianas da sociedade, pois são responsáveis pelo fornecimento dos chamados serviços ecossistêmicos e ambientais. Tendo em vista a degradação de grande parte desses recursos no meio ambiente, é de grande importância o planejamento de ações que visem a sua preservação e garanta esses recursos para população.

#### 3.1 Índices de Vegetação

A vegetação apresenta diversas propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, possuindo múltiplos componentes refletores, além de estar sobre uma região constituída de solos ou restos vegetais, que apresentam uma reflexão diferente da vegetação. Dessa forma, esse elemento se torna um alvo complexo dentro do sensoriamento remoto (EPIPHANIO et al, 1996).

Uma forma de dimensionar esses dados e aumentar a eficiência na extração dessas informações é o uso de índices espectrais de vegetação ou índices de vegetação. Esses índices constituem na integração de duas ou mais bandas espectrais, de acordo com um determinado procedimento metodológico, que visa realçar as características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar e outros em relação ao solo (EPIPHANIO e FORMAGGIO;1991).

Os índices de vegetação são medidas que mapeiam a presença de vegetação em pixel, fornecendo ao usuário medidas da quantidade ou condição da vegetação captada por um sensor. O objetivo geral dessa ferramenta é projetar uma vegetação empírica ou semi-empírica que possa ser aplicada sobre todos os biomas terrestre. Para isso, explora-se o comportamento da assinatura espectral de uma superfície. Normalmente utiliza-se as porções vermelhas e infravermelha do espectro eletromagnético. Assim, quanto mais forte o sinal, maior será a cobertura de vegetação na superfície. Uma das grandes vantagens da aplicação desses índices consiste na simplicidade dos métodos. Além disso, não exigem o uso de suposições nem adição de informações diferentes das próprias medições (HUETE e JUSTICE, 1999; EPIPHANIO et al, 1996).

Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) a proposição desses índices está no comportamento da refletância da vegetação em duas regiões, denominadas visível e infravermelha. Na região do visível os pigmentos presentes nas folhas, como a clorofila, carotenos e xantofilas, são os grandes responsáveis pela reflexão da radiação incidente. Assim,

são esses pigmentos que definem como a curva dos fatores de reflectância irão se comportar na região espectral. Vale ressaltar que dentre os pigmentos, somente a clorofila é capaz de absorver a radiação na região do vermelho. Na região do infravermelho próximo, ocorre a absorção de uma pequena radiação e acontece um considerável espalhamento interno da radiação ao longo da folha. Dessa forma, a reflectância nessa região do espectro é resultante da interação da energia incidente ao longo da estrutura da folha. Alguns fatores como a disponibilidade de água podem causar alterações na reflectância de uma folha nessa região.

As análises de vegetação e detecção de mudanças por meio desses índices possibilita avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal. Assim, a detecção qualitativa da vegetação é uma das principais aplicações do sensoriamento remoto para tomada de decisão e gerenciamento ambiental (MARCUS,2010).

Na literatura existem diversos índices como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) e Índice de Vegetação Melhorado (EVI). Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) esses índices têm sido propostos pela literatura com o intuito de explorar as propriedades espectrais da vegetação, principalmente nos campos das regiões visíveis e do infravermelho próximo. De acordo com Boratto e Gomide (2013) esses índices facilitam a obtenção e modelagem de parâmetros como área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura de solo. Além disso, a região do espectro eletromagnético infravermelho pode fornecer informações sobre a evapotranspiração das plantas.

### **3.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

O estudo da variação da vegetação ao longo da sazonalidade é de grande importância para a elaboração da fenologia de uma vegetação. Visto que a vegetação sofre mudanças de curto e longo prazo, os estudos de séries temporais por meio do sensoriamento remoto são de grande importância para a compreensão da dinâmica vegetal de uma região. Atualmente existe várias técnicas que visam a redução de ruído e a remoção de dados contaminados por nuvens para melhorar a qualidade dos estudos de vegetação (FORKEL, 2013).

As técnicas com o uso de combinações das bandas infravermelho próximo e vermelho tem se tornado muito comum para o monitoramento da biomassa da vegetação e do seu estado fisiológico. A técnica de NDVI é bastante utilizada por ser mais sensível a clorofila provinda dos pigmentos que participam dos processos fotossintéticos da natureza (TUCKER, 1979; GAO et al, 2000; HUETE et al 2002).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é caracterizado como um processo de realce entre bandas vermelho e infravermelho próximo de sensores de satélites por meio de operações matemáticas. Rouse et al (1973) e Rouse et al. (1974), equação 1, propõem uma equação para o cálculo desse índice para a obtenção de uma faixa de variação de -1 a 1.

$$NDVI = \frac{(IVP-V)}{(IVP+V)} \quad (1)$$

Onde

IVP = refletância no infravermelho;

V = a refletância no vermelho.

Quanto mais próximo o resultado estiver de 1, maior será a densidade da cobertura vegetal do local, ou seja, ela se encontra em um grau de desenvolvimento maior. A refletância das nuvens se dá de forma semelhante nas bandas vermelho e infravermelho próximo. Assim, os valores de NDVI para esses fatores são mais próximos de zero. Os valores de solo descoberto de vegetação ou com vegetação pequena e espessa apresenta valores positivos, mas não muito elevados. A água por possuir uma refletância maior na banda vermelho que na banda infravermelho próximo. Dessa forma, apresenta valores negativos e mais próximos de -1 no cálculo de NDVI. (MELO; SALES e OLIVEIRA, 2011).

O NDVI é uma ferramenta utilizada para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, possibilitando a comparação interanual entre esses perfis. Dessa forma, esse índice possibilita a detecção de atividades sazonais e fenológicas, como a duração de período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPPLICH, 2012).

De acordo com Huete et al (1997), o sucesso e a precisão do cálculo do NDVI dependem da forma como os algoritmos de vegetação são realizados bem como a forma como os sensores são capazes de representar as diferenças espaciais e temporais da vegetação de um determinado local. Nos últimos anos satélites como MODIS e Landsat tem proporcionado boas respostas para o cálculo desses índices. Dessa forma, a medida que os sensores vão melhorando a sua tecnologia e a contaminação atmosférica sendo redefinida e diminuída, espera-se que a detecção do NDVI se torne cada vez melhor para a detecção de sinais de vegetação e não vegetação de uma superfície.

### 3.3 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), é um índice proposto por Huete (1988), que visa um ajuste do NDVI por meio da adição de uma constante L (equação 2).

$$SAVI = (1+L) * \frac{(IVP-V)}{(L+IVP+V)} \quad (2)$$

Onde

IVP = refletância no infravermelho próximo;

V = a refletância no vermelho;

L = Fator de ajuste para o solo.

Para a elaboração da equação, Huete (1988) observou que os valores da refletância de um dossel sobre diferentes solos de fundo não são corretamente descritos pelo NDVI. Dessa forma, ele propôs o uso desse índice de vegetação para a correção do NDVI. Para isso, é realizado um deslocamento da origem do par ordenado das bandas vermelha e infravermelha próximo para o ponto de encontro da linha do solo com a linha da vegetação. Esse deslocamento se dá por meio da adição de uma constante L na equação.

O fator de ajustamento de solo (L) pode assumir valores entre 0,25 e 1. Em geral o valor de 0,5 é comumente utilizado para o fator L, mas deve-se levar em consideração o padrão de vegetação da região, que para esse fator corresponde a densidades intermediárias (RÊGO et al., 2012; ALLEN; TASUMI e TREZZA, 2002).

De acordo com Huete (1988) e Santos, Aparecido e Zimbazk (2015) o fator pode assumir diversos valores de acordo com o tipo de vegetação podendo ser:

- 0,25 para regiões de vegetação densa;
- 0,5 para vegetação com densidades intermediárias ou superfícies heterogêneas;
- 1 para vegetações de baixa densidade

O SAVI proporciona a correção do solo e permite a obtenção de densidade vegetal durante a análise das bandas vermelho e infravermelho. Em regiões com grande variabilidade da composição vegetal, ou seja, heterogêneas, recomenda-se o uso desse fator de correção. Devido à dificuldade de se estabelecer um padrão comum para as características vegetais de regiões com presença de diversos tipos de vegetação e solo exposto, sugere-se o uso do fator L=0,5 (SANTOS, APARECIDO e ZIMBAZK, 2015; RÊGO et al., 2012).

### 3.4 Temperatura da superfície

A temperatura pode ser definida de acordo com a movimentação de moléculas. Dessa forma, quanto maior a rapidez do deslocamento maior será a temperatura. Esse parâmetro pode ser definido tomando como base o grau de calor que um corpo possui. Assim a temperatura é responsável por medir o fluxo de calor que passa de um corpo para outro (AYOADE,2010).

A temperatura da superfície é de grande importância para os estudos climatológicos, pois a modulação da temperatura do ar nas camadas mais baixas da atmosfera é de grande valia para o balanço de energia da superfície. Na superfície as trocas e o balanço de energia são influenciados pelas interações da radiação com a cobertura da terra, sendo extremamente influenciado pelo tipo de ocupação da superfície. (VOOGT e OKE, 2003; SOUSA e FERREIRA JÚNIOR, 2012).

De acordo com Barros e Lombardo (2016), as medições de temperatura da superfície por meio de sensores é uma alternativa bastante viável, principalmente em fenômenos referentes ao comportamento da temperatura do ar em regiões da baixa atmosfera. Esses estudos têm se tornando de grande importância quando associados a pesquisas de radiação de onda longa emitida pela superfície. Normalmente quando se trata de estudos de gradiente de temperatura em áreas urbanas, busca-se identificar regiões denominadas de ilhas de calor e frescor.

Com relação as alterações climatológicas, a falta de vegetação é uma das principais causas de modificação da temperatura de superfície de uma região. Isso se deve principalmente ao crescimento desordenado das cidades que suprimem grande parte da área vegetal para a construção ou ampliação de vias, edifícios e outros. Essas ações promovem a pavimentação das áreas urbanas e o consequente aumento da incidência de radiação solar direta no solo. Dessa forma, as regiões urbanas tendem a ter uma maior temperatura da superfície, redução da umidade e alteração dos ciclos de precipitação. É importante ressaltar que as consequências oriundas da supressão da vegetação estão atreladas principalmente ao desconforto térmico da população urbana (ABREU, 2008).

Outro fator importante nesses estudos se referem a quantidade de nuvens e alguns constituintes da atmosfera, como aerossóis e CO<sub>2</sub>, que afetam o volume da energia que alcança a superfície terrestre, pois são alguns fatores que influenciam na temperatura da superfície. Além disso, as distâncias em relação aos corpos hídricos costumam influenciar na temperatura do ar e causar diferenças básicas nas características das superfícies continentais e hídricas. Outro fator importante são os valores de albedo e do calor específico. Se o albedo apresentar valores elevados, menor será a quantidade de radiação absorvida pela superfície para a elevação

da sua temperatura. De mesmo modo, se o calor específico de uma superfície é elevado, maior será a energia absorvida pela superfície para aumentar a sua temperatura (AYOADE, 2010).

### **3.5 Precipitação**

Dentro do ciclo hidrológico, Figura 1, a precipitação é um dos parâmetros mais importantes desse processo visto que pode influenciar várias atividades antropogênicas como agricultura, pesca, pecuária e água para abastecimento e consumo humano (SILVA, 2012). De acordo com Tucci (2012), o ciclo hidrológico é visto como um fenômeno no globo do qual ocorre a circulação fechada entre a superfície terrestre a atmosfera da água. Em áreas menores é interessante considerar esse ciclo como aberto ao nível local, pois o volume evaporado em um determinado local do planeta não precipita sempre no mesmo local, pois existem movimentos contínuos na atmosfera.

Em hidrologia, toda água proveniente do meio atmosférico e que atinge a superfície terrestre pode ser entendida como precipitação. Esse fator é de grande relevância para estudos em uma bacia, pois pode possibilitar o controle de diversos fatores de degradação do meio. Na meteorologia esse termo é utilizado para qualquer deposição derivada da atmosfera que esteja em forma líquida ou sólida, por exemplo chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro. Em regiões tropicais o termo precipitação pluvial é visto como sinônimo de precipitação, pois nesses lugares a presença de neve é quase inexistente. (TUCCI, 2012; AYOADE, 2010).

A distribuição da precipitação na superfície terrestre é tida como mais complexa se comparado com a da insolação ou da temperatura do ar. Isso acontece devido a influência de vários fatores como topografia, a distância dos grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar e outros. A precipitação pluvial é de grande importância para o crescimento da planta em qualquer época do ano em que ela ocorra (AYOADE, 2010).

Figura 1 - Representação esquemática dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Perlman e Evans (2018)

A representação da distribuição da pluviosidade é essencial para se determinar a influência da precipitação no ciclo hidrológico, tanto espacialmente quanto de modo temporal. Dessa forma, é possível elaborar sistemas eficientes de manejo em setores agroflorestais e agrícolas. Entretanto, vale ressaltar que a falta de informação pode tornar um obstáculo para a determinação do espaço e consequentemente da influência desse parâmetro em uma região (WANDERLEY; AMORIM e CARVALHO, 2012).

No setor agroflorestal o mapeamento da precipitação pluvial e de outros parâmetros ambientais é de grande importância, pois os modelos associados a essas práticas possibilitam uma melhor visão da produção florestal. Dessa forma, os modelos possibilitam a compreensão e controle desses sistemas florestais, principalmente nas atividades associadas ao zoneamento florestal e mapeamento de produção. Essas ferramentas contribuem, em termos climatológicos em uma investigação mais profunda do mapeamento e concluem de forma efetiva o processo de interpolação espacial (VIOLA et al., 2010).

### 3.6 Geoprocessamento em análises ambientais

Dentro das sociedades sempre foi de grande importância a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de diversos recursos para a realização de atividades. Entretanto, até pouco tempo essas informações eram realizadas em documentos e mapas de papel, o que dificultava a combinação de dados. Somente com o advento da informática que se tornou possível a combinação desses dados e consequente surgimento do geoprocessamento (CÂMARA, MONTEIRO e MEDEIROS, 2004).

Essa ferramenta, segundo Meirelles (2007) e Câmara, Monteiro e Medeiros (2004), se apoia na percepção de fenômenos ambientais e na transformação de dados georreferenciados em informações importantes, por meio da utilização de técnicas computacionais e matemáticas. Dessa forma, de acordo com Mendes et al (2013), o geoprocessamento é visto como uma estruturação simplificada da realidade que através de um conjunto de tecnologias trabalha de forma integrada na representação, simulação, planejamento e gerenciamento da realidade.

Uma tecnologia bastante utilizada no geoprocessamento denomina-se sistema de informações geográficas (SIG), que é visto como uma ferramenta de análise capaz de realizar a integração dos dados de várias fontes e criar um banco de dados georreferenciados que possibilita a criação, armazenamento, processamento, análise e exibição de documentos cartográficos associados ou não a um banco alfa numérico. (CÂMARA, MONTEIRO e MEDEIROS, 2004; ROCHA, 2000). Uma outra visão sobre essa ferramenta, apresentada por Longley (2013), define o SIG como uma ferramenta capaz de manter complexos inventários que ao receber a perspectiva geográfica permite gerenciar os recursos de forma analítica revelando novas perspectivas sobre eles.

O SIG, de acordo com a Figura 2, constitui-se em um ciclo onde as fontes de dados são obtidas pelo mundo real, pelo processo de entrada, gerenciamento, armazenamento e análise dos dados. Dessa forma, são geradas informações que servem de auxílio para a tomada de decisão do usuário. Assim, é possível criar um plano de ação para implantação de determinada solução no mundo real, que podem necessitar de uma nova aquisição de dados, reiniciando o ciclo. (HAMADA, 2007).

Segundo, Câmara e Medeiros (1996), é possível identificar quatro questões relacionados aos estudos ambientais com o uso de sistema de informações geográficas, sendo eles:

a) Mapeamento temático, que busca a caracterização e organização do espaço para o estabelecimento de ações e estudos futuros;

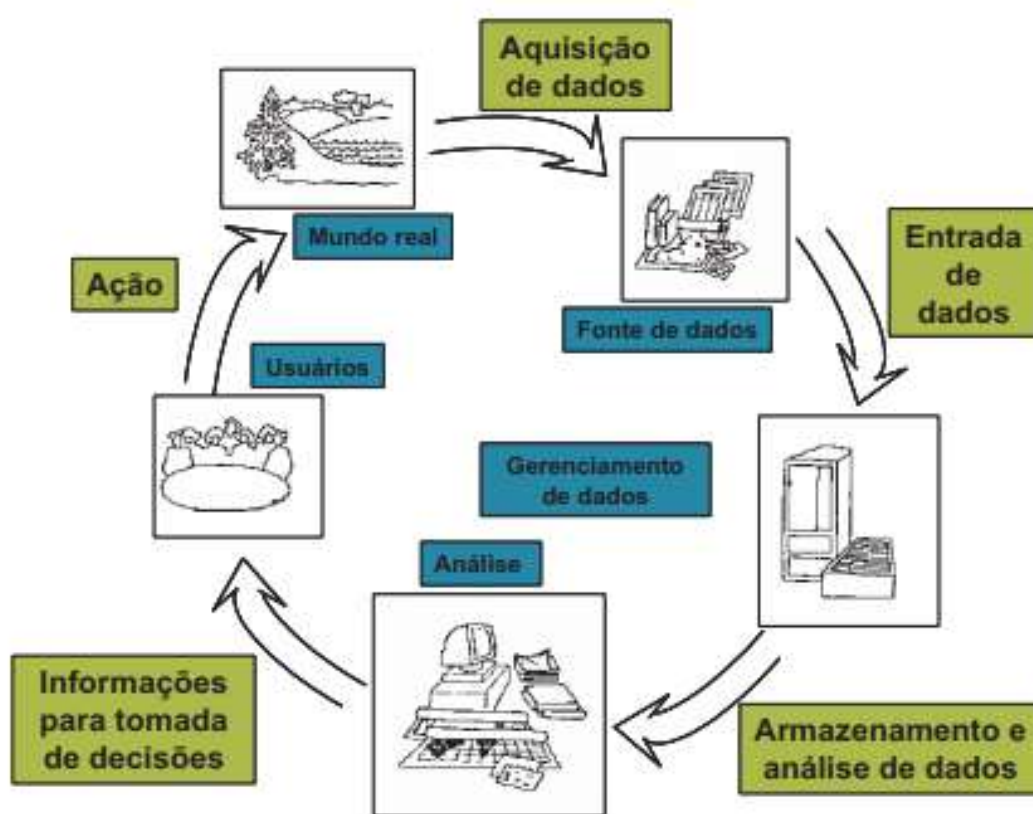


b) Diagnóstico ambiental, que visa o estudo específico de regiões de interesse para sua preservação ou ocupação;

c) Avaliação de impacto ambiental, que tem como objetivo o monitoramento dos impactos provindos da ocupação humana no ambiente; e

d) Ordenamento territorial, que busca um processo de desenvolvimento sustentado por meio da racionalização e normatização da gestão e ocupação do espaço

Figura 2 - Representação esquemática do funcionamento de um SIG

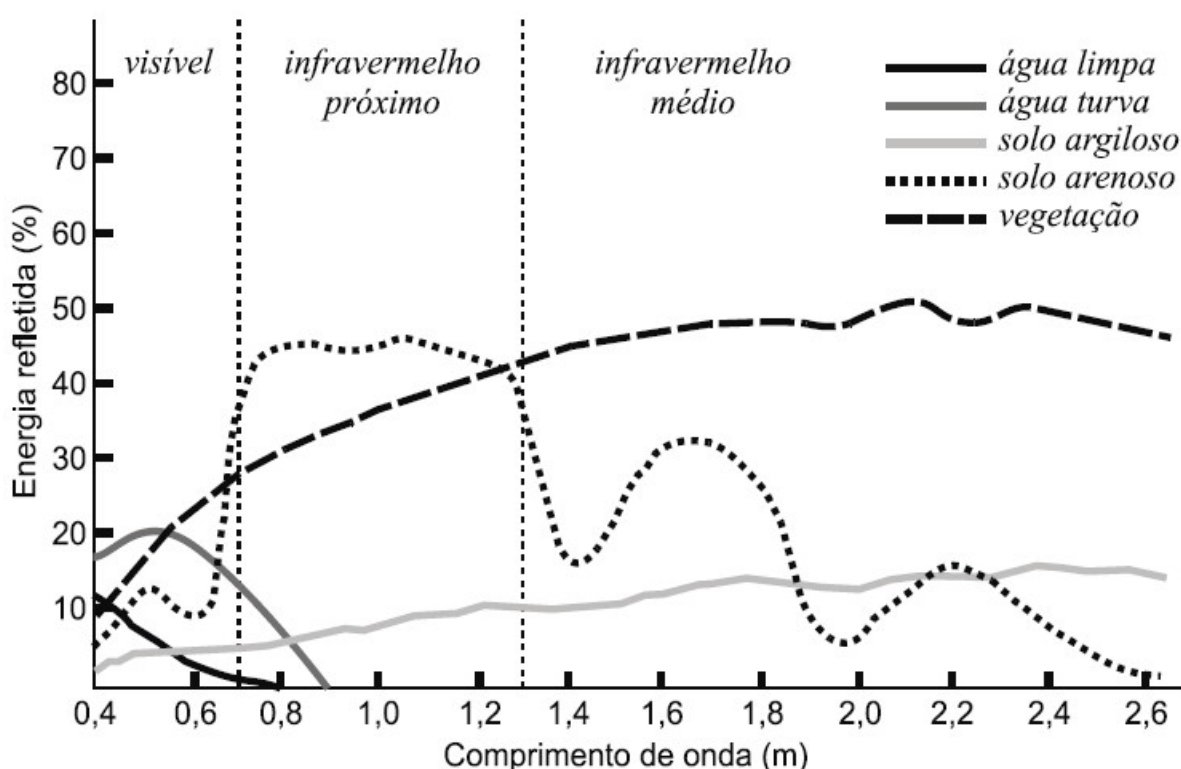


Fonte: Hamada (2007)

O sensoriamento remoto é uma outra ferramenta utilizada dentro do geoprocessamento que possibilita a obtenção de diversos tipos de dados da superfície terrestre através da captura e do registro da energia que é emitida ou refletida pela superfície terrestre. As evoluções desse sistema por meio da utilização de sensores mais potentes possibilitam imagens com resoluções cada vez melhores. Além disso, por meio de técnicas de extração advindas do processamento da imagem, ocorreu a aplicação de diversas áreas do conhecimento na utilização de imagens (FLORENZANO, 2011; ROCHA, 2000).

Segundo Moraes (2002), a energia que é emitida ou refletida pelos objetos terrestres, nas suas diferentes qualidades e quantidades, é a principal base de dados para que todo o processo de identificação realizado pelo sensoriamento remoto ocorra. Assim, os objetos podem ser identificados nas imagens e nos dados dos sensores, além de, por meio da energia refletida, Figura 3, ser possível identificar suas principais características. Dessa forma, os sensores remotos têm se tornados ferramentas de grande utilidade para a realização de trabalhos que necessitam de mapear ou monitorar recursos naturais.

Figura 3 - Curvas espectrais de diferentes alvos



Fonte: Florenzano (2002)

De acordo com Florenzano (2011), as imagens de satélites trazem uma visão conjunta e dinâmica da superfície terrestre. Desse modo, elas são capazes de mostrar o meio ambiente e suas transformações, podendo, por exemplo, destacar os diversos impactos causados por fenômenos naturais e pela ação antrópica durante a ação de uso e ocupação da superfície. As regiões rurais possuem grande potencialidade no estudo de uso da terra, pois caracterizam-se por áreas cobertas por matas secundárias, pastagens, cultivos e áreas reflorestadas. No meio

urbano as técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas nos estudos referentes a urbanização, limite das áreas urbanas e o processo de conurbação.

No início dos anos de 1970 a aplicação de técnicas de processamento digital de imagem no estudo da vegetação ganhou muito destaque. Até meados da década de 1980 essas técnicas continuaram sendo intensas e possibilitaram a inclusão de diversas metodologias de classificação digital da imagem e interpretação visual para análise de vegetações. Dessa forma, atualmente a escolha ou a definição de determinada alternativa em um trabalho é bastante influenciada pelo grau de conhecimento de que se dispõe e da ferramentas e opções correlacionadas com o conhecimento técnico (PONZONI; SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

Dessa forma, a análise ambiental busca investigar os processos naturais buscando estabelecer relação com os processos e estruturas encontradas na sociedade. Assim, é capaz de diagnosticar e prognosticar diversas potencialidades ambientais presentes no meio rural e urbano (ROCHA, 2000).

## 4 METODOLOGIA

Utilizou-se as bandas das imagens do satélite Landsat 5 e 8 para análise ambiental da área de estudo nos anos 2000, 2005, 2010 e 2015 fornecidas pelo serviço geológico americano (USGS),

Tabela 1. Para a realização das técnicas de processamento digital de imagem utilizou-se um software ArcGis 10.2.

Tabela 1 - Datas das imagens utilizadas e respectivos satélites

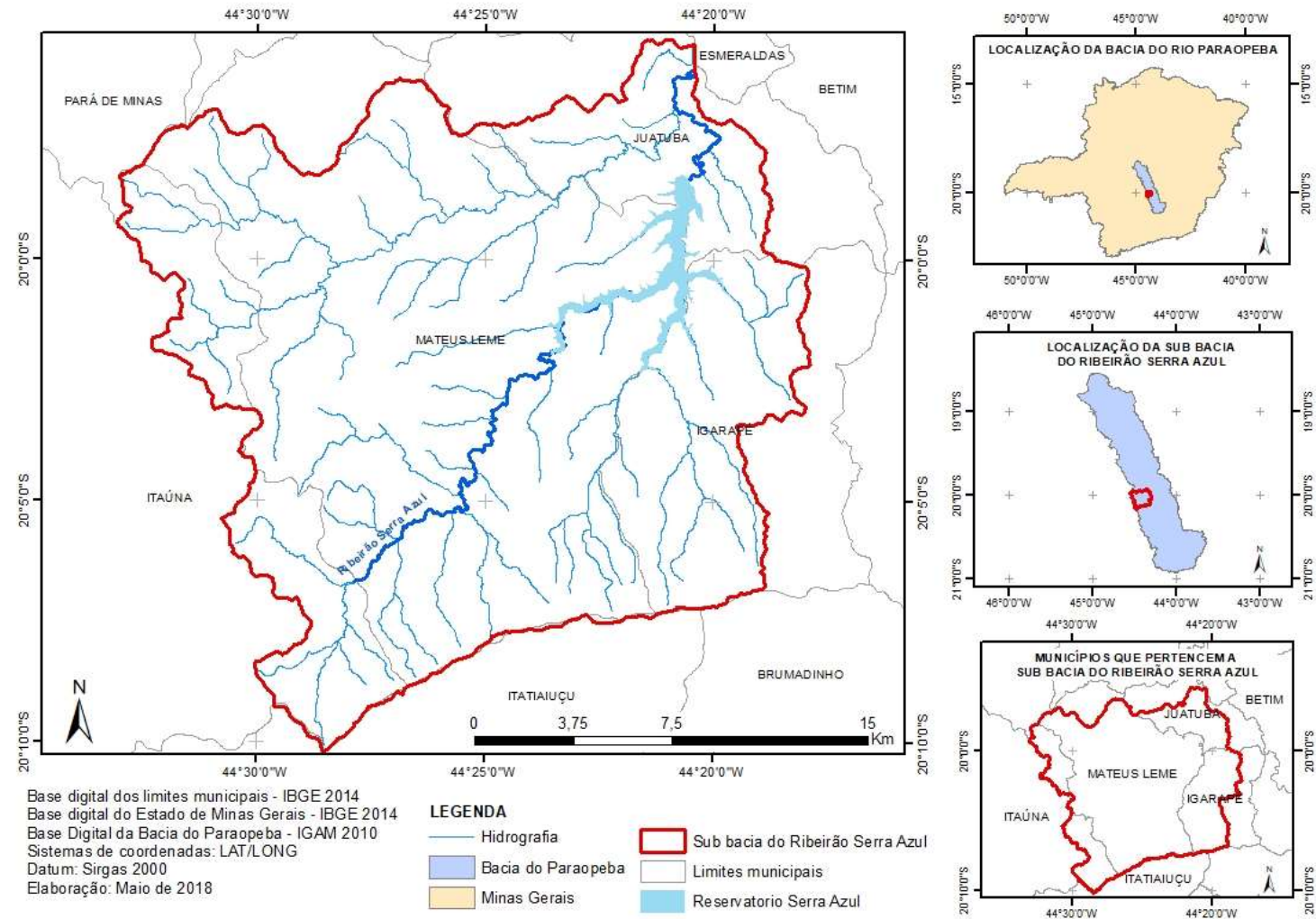
Datas	Satélite
18/06/2000	Landsat 5
02/07/2005	Landsat 5
01/08/2010	Landsat 5
31/08/2015	Landsat 8

### 4.1 Área de estudo

A sub-bacia do ribeirão Serra Azul localiza-se entre os municípios de Mateus Leme, Juatuba, Igarapé e Itaúna, conforme mostrado pelo Mapa 1. Segundo PBH (2013), nessa região está localizado o reservatório Serra Azul, que é responsável pelo abastecimento de água a população da região sendo proibido atividades náuticas esportivas, pesca ou recreação nessa área.

O principal ribeirão que compõe é o Serra Azul, que pertence a bacia do Rio Paraopeba. De acordo com a classificação climática do IBGE, a região está inserida na Zona Tropical Brasil Central Subquente, semi-úmido com 4 a 5 meses secos. Essa região possui uma umidade caracterizada como semiúmido, com quatro a cinco meses de período de seca (VIANA, 2009; PBH, 2013; IBGE, 2018).

Mapa 1 - Localização da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul



## 4.2 Cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI foi gerado por meio das bandas vermelho e infravermelho próximo dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. Para o satélite Landsat 5, utilizou-se respectivamente as bandas 3 e 4, e para o satélite Landsat 8, utilizou-se respectivamente as bandas 4 e 5. Através da equação proposta por Rouse et al. (1973) e Rouse et al. (1974), equação 3, foi possível obter o valor do índice em uma variação de faixa de -1 a 1.

$$NDVI = \frac{(IVP-V)}{(IVP+V)} \quad (3)$$

Onde

IVP = refletância no infravermelho

V = a refletância no vermelho

Após o cálculo do NDVI realizou-se a classificação da região por meio da classificação elaborada por Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015) em seus estudos sobre dinâmica florestal em áreas de mata atlântica, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalo de NDVI conforme a classificação da região

Classes	Intervalos
Floresta Madura	NDVI > 0,8
Estágio avançado	0,7 < NDVI < 0,8
Estágio médio	0,5 < NDVI < 0,7
Estágio inicial	0,2 < NDVI < 0,5

Fonte: Adaptado de Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015)

As regiões de vegetação em estágio inicial se caracterizam com predominância da vegetação arbustiva, tendo ocorrência de espécies arbóreas esparsas e vegetação de pequeno porte. As regiões de estágio médio são aquelas que possuem vegetação de transição do porte arbustivo para o arbóreo variando de forma aberta e fechada. Já as áreas de vegetação em estado avançado são aquelas que possui em predominância a fisionomia arbórea, caracterizada com dossel fechado e podendo apresentar poucas regiões de sub-bosque. Por último, as regiões de floresta maduras se caracterizam pela predominância de vegetação arbórea e fechada (MALLMANN, PRADO e PEREIRA FILHO, 2015).

### 4.3 Cálculo do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

O SAVI foi gerado por meio das bandas vermelho e infravermelho próximo dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. Para o satélite Landsat 5, utilizou-se respectivamente as bandas 3 e 4, e para o satélite Landsat 8, utilizou-se respectivamente as bandas 4 e 5. Através da equação proposta por Huete (1988), equação 4:

$$SAVI = (1 + L) * \frac{(IVP - V)}{(L + IVP + V)} \quad (4)$$

Onde

IVP = refletância no infravermelho próximo banda 5 no Landsat-8;

V = a refletância no vermelho banda 4 no Landsat-8

L = Fator de ajuste para o solo (0,5)

Após o cálculo do SAVI realizou-se a classificação da região proposto por Cerqueira e Santos (2017) conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Intervalo de SAVI para a classificação da região

Classes	Intervalos
Áreas de bastante vegetação	SAVI > 0,9
Áreas de alta vegetação	0,7 < SAVI < 0,9
Áreas de média vegetação	0,5 < SAVI < 0,7
Áreas de baixa vegetação	0,3 < SAVI < 0,5
Áreas de pouca vegetação	0,1 < SAVI < 0,3
Solo exposto	0 < SAVI < 0,1
Corpos Hídricos	SAVI < 0

Fonte: Adaptado de Cerqueira e Santos (2017)

As áreas de pouca vegetação se caracterizam como regiões de vegetação esparsa e de pequeno porte. As áreas de cobertura vegetal entre baixa a média vegetação se caracterizam por vegetações arbustivas em estado de transição, podendo se apresentar de forma espaçada ou fechada. Já as áreas de alta vegetação são aquelas que possuem grande fisionomia vegetal, de porte arbóreo, tendo como característica a presença de dosséis fechados, mas com poucas

presenças de áreas espaçadas. As áreas com bastante vegetação são aquelas caracterizadas com grande porte arbóreo e grande densidade de vegetação (CERQUEIRA e SANTOS, 2017).

#### 4.4 Temperatura da superfície

As imagens de satélite são armazenadas em uma estrutura matricial denominada raster. Essa estrutura é composta por uma matriz com n linhas e m colunas, conhecida como M (n,m), onde cada célula, caracterizada como um elemento da imagem denominado pixel, apresenta um valor z que guarda uma determinada informação, como uma cor ou um tom de cinza a ele atribuído (FITZ, 2008).

Utilizou-se a metodologia proposta por Coelho e Correa (2013) e, Chander e Markham (2003). Para o cálculo da temperatura da superfície, primeiramente foi realizado a conversão do número digital, também conhecido como nível radiométrico, para a radiância espectral no topo da atmosfera ( $L_\lambda$ ). Esse processo foi realizado na banda 6 do satélite Landsat 5 e na banda 10 do satélite Landsat 8, por meio da equação proposta por USGS (2018) para produtos oriundos da série Landsat, equação 5.

$$L_\lambda = M_l \cdot Q_{cal} + A_l \quad (5)$$

Onde:

$M_l$  = Fator multiplicativo de redimensionamento da radiância para a banda termal;

$Q_{cal}$  = Número digital do pixel; e

$A_l$  = Fator aditivo de redimensionamento da radiância para a banda termal.

Após a relação da conversão dos níveis de cinza, realizou-se o cálculo para a temperatura de brilho no sensor,  $T_{rad}[K]$ , em Kelvin, por meio da equação abaixo:

$$T_{rad}[K] = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

Onde:

$K_1$  = Constante termal de calibração 1 da banda termal;

$K_2$  = Constante termal de calibração 2 da banda termal;

$L_\lambda$  = Radiância espectral no topo da atmosfera



Por fim, realizou-se a conversão dos dados obtidos em Kelvin para Celsius,  $T_{rad}[^{\circ}\text{C}]$ , gerando a temperatura de superfície em graus Celsius, conforme mostrado pela equação 7.

$$T_{rad}[^{\circ}\text{C}] = T_{rad}[\text{K}] - 273 \quad (7)$$

Onde:

$T_{rad}[\text{K}]$  = Temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante [Kelvin]

Os dados para realização da conversão de números digitais ( $Q_{cal}$ ) para radiância no topo da atmosfera ( $L_{\lambda}$ ) e para o cálculo da temperatura foram obtidos no arquivo de metadata das imagens utilizadas na realização do trabalho, Tabela 4.

Tabela 4 - Valores das constantes para as bandas termais das imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8

Data	K1	K2	$M_l$	$A_l$
18/06/2000	607,76	1260,56	0,0553750000	1,18243
02/07/2005	607,76	1260,56	0,0553750000	1,18243
01/08/2010	607,76	1260,56	0,0553750000	1,18243
31/08/2015	774,8853	1321,0789	0,0003342000	0,1000000000

#### 4.5 Precipitação

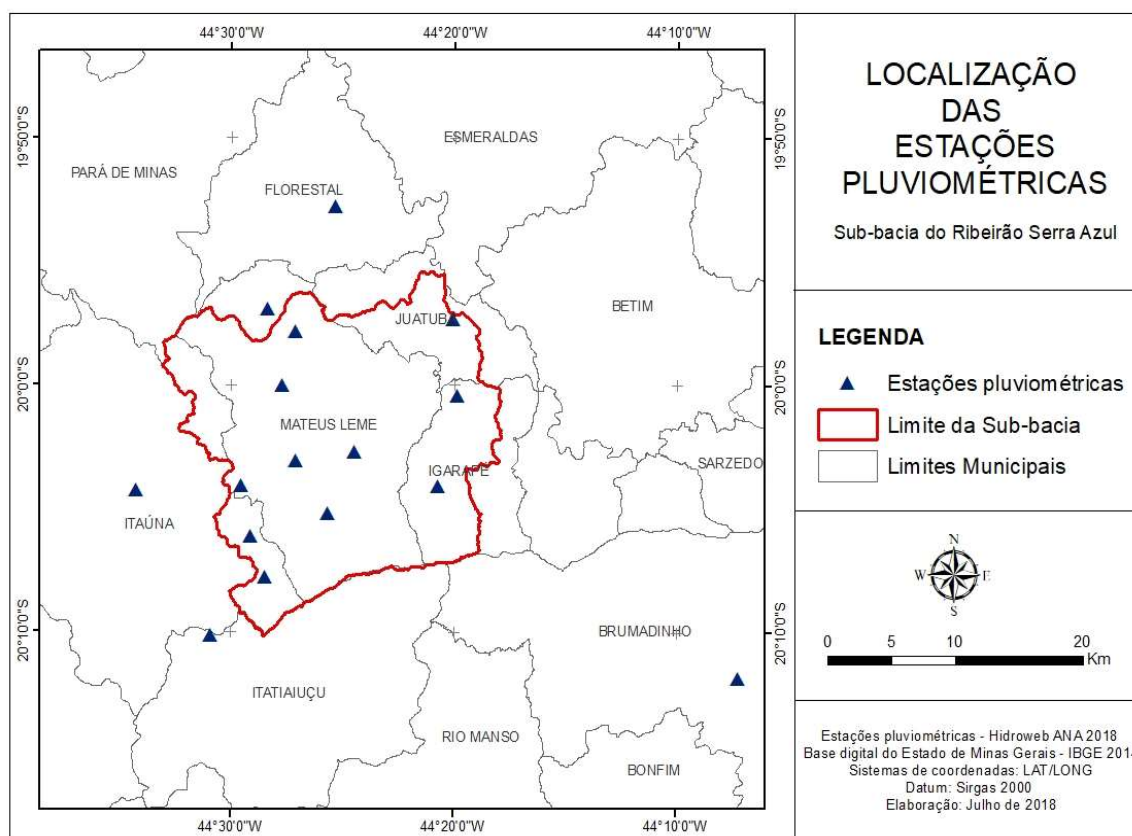
Os dados de precipitação foram obtidos por meio do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). De acordo com ANA (2018), esse portal integra o Sistema Nacional de Informações e consta dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Nesse portal é possível acessar dados de níveis fluviais, vazões, precipitações, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

Para o presente estudo foram analisados os dados de precipitação anual para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015 separadamente. Além disso, elaborou-se um gráfico com as respectivas precipitações mensais para cada ano de estudo, sendo elas dos meses de janeiro a dezembro. O procedimento foi realizado dessa forma, para verificar como a precipitação se comportou em cada ano e no mês da imagem para uma comparação com as outras variáveis estudadas e com a análise temporal estabelecida para o presente trabalho.

Para a interpolação dos dados utilizou-se, em ambiente de SIG, a técnica de ponderação do inverso da distância (IDW). De acordo com Jakob e Young (2016), esse método é bastante utilizado em estudos de pluviosidade anual utilizando o pressuposto de vizinhança para sua aplicação. Dessa forma, os itens mais próximos são tidos como mais parecidos que os mais distantes. Assim, para atribuir um valor a um local não medido, o método usará os valores amostrais em volta do ponto, que terão um peso maior se comparado com os distantes. Isso permite afirmar que cada ponto irá exercer uma influência em um ponto que diminui na medida que a distância entre eles aumenta. Assim o valor atribuído a um pixel se dará pela relação dos pixels vizinhos a ele.

De acordo com o Mapa 2 foram utilizados dados de 16 estações pluviométricas para a identificação das chuvas ao longo do período de estudo. É importante ressaltar que só foram considerados no estudo os dados de estações que abrangiam todos os anos que foram estudados, ou seja, só foram analisadas estações com dados para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015. Por meio de software ArcGis 10.2 foi realizado a interpolação dos dados das estações pluviométricas estudada e elaborado o mapa de precipitação anual da sub-bacia para cada ano.

Mapa 2 - Localização das estações pluviométricas



Os dados apresentados foram referentes a distribuição anual de cada ano estudado. Além disso, foram considerados apenas as estações que possuíam dados completos para todos os meses, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Estações pluviométricas

Código	Estação	Cidade
1944007	Fazenda Escola	Florestal
2044002	Itaúna - montante	Itaúna
2044041	Fazenda laranjeiras - jusante	Itaúna
2044020	Calambau	Itaúna
2044026	Fazenda coqueiros	Itaúna
2044043	Estiva	Mateus Leme
2044052	Jardim	Mateus Leme
2044054	Serra Azul	Mateus Leme
2044019	Fazenda Vista Alegre	Mateus Leme
2044024	Fazenda Curralinho	Mateus Leme
2044053	Escola de Veterinária	Mateus Leme
1944027	Juatuba	Mateus Leme
1944026	Barro preto	Mateus Leme
1944004	Ponte Nova do Paraopeba	Juatuba
2044016	Fazenda Benedito Chaves	Itatiaiuçu
2044008	Melo Franco	Brumadinho

#### 4.6 Elaboração do mapa de uso e ocupação da superfície

Utilizou-se as imagens do satélite Landsat 5 e Landsat 8 para a realização do mapa de uso e ocupação da superfície. Para a delimitação da área urbana utilizou a composição de bandas espectrais de forma a estabelecer a cor real do ambiente, por meio de técnicas de PDI. Após esse processo realizou-se a classificação da imagem, conforme demonstrado na Tabela 6, conforme classificação elaborada por Garlet et al (2013) para a seleção das diversas classes de uso e ocupação da superfície.

Tabela 6 - Classes de uso, cor e alvos utilizados.

Classe	Cor atribuída	Alvos Coletados
Vegetação	Verde escuro	Mata
		Cultivo
		Gramma/Pastagem
		Solo sem vegetação
Solo exposto	Marrom	Terraplanagem
		Mineração
		Telhados metálicos
		Asfalto
Urbanização	Cinza	Rodovia
		Áreas urbanas
		Curso d'água
Água	Azul	Reservatórios
		Lagos
		Lagoas

Fonte: Adaptado de Garlet et al. (2013)

Posteriormente, realizou-se a análise da expansão urbana e supressão vegetal da região ao longo da escala temporal estudada. Considerou-se a área compreendida pela área urbana do ano de 2015 como base para a análise da região, visto que a área se encontrava totalmente urbanizada, o que facilita a análise de supressão vegetal da região nos outros anos de estudo.

Para realização desse processo, utilizou-se técnicas de geoprocessamento para retirada dos dados das áreas urbanas de cada ano bem como das áreas de supressão vegetal. Posteriormente elaborou-se gráficos para correlação com os parâmetros utilizados na pesquisa.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Visto a importância da análise ambiental para a preservação dos recursos naturais, para entender o comportamento da dinâmica vegetal no presente trabalho, após aplicação da metodologia proposta os resultados foram separados em quatro itens.

### 5.1 Índices de Vegetação

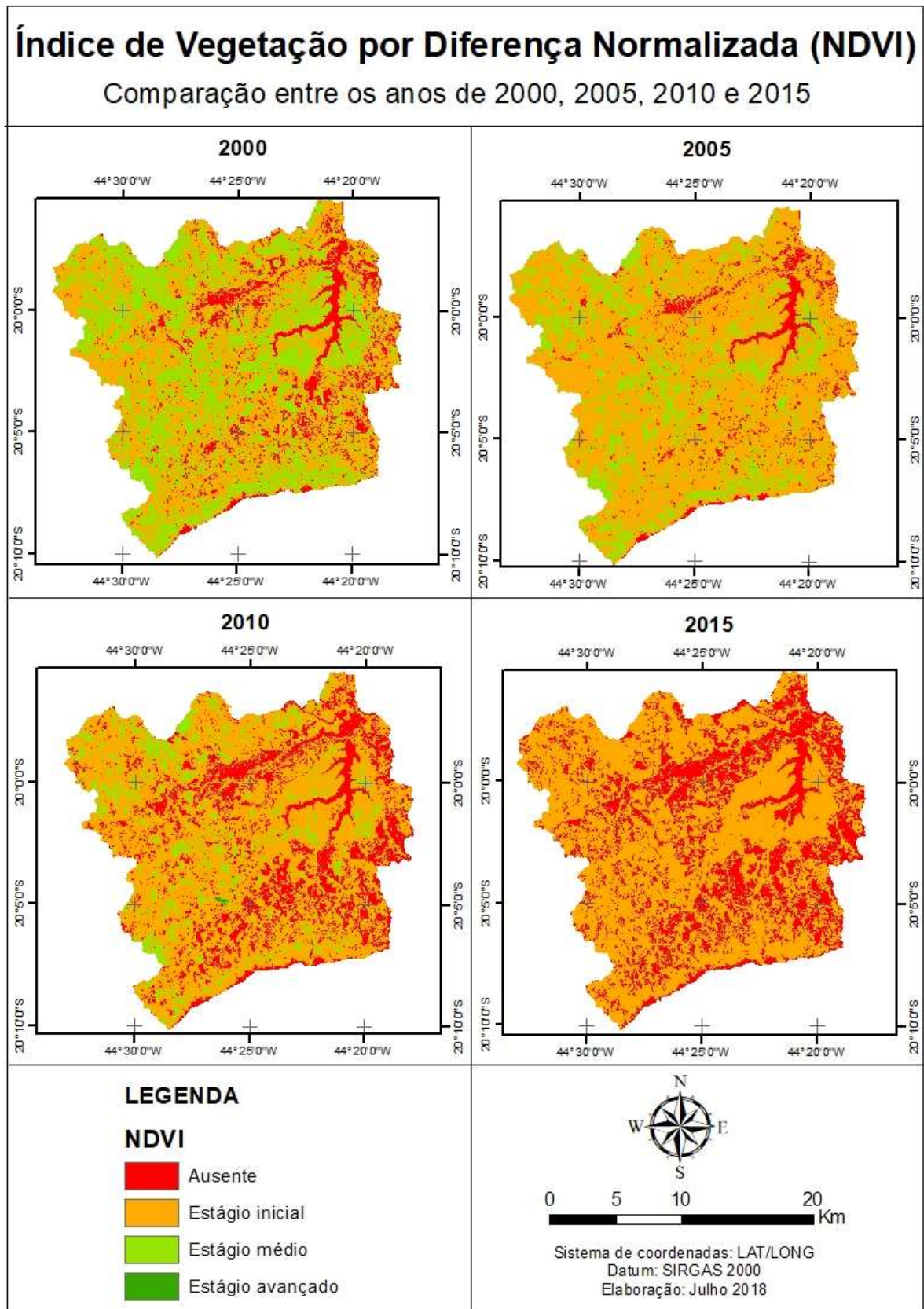
No estudo realizado, mapa 3, foi possível identificar a dinâmica temporal da vegetação para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015. A região não apresentou nenhuma área de floresta madura, ou seja, com  $NDVI > 0,8$ .

Além disso, a região apresentou áreas com ausência de vegetação, representada pelo valor de  $NDVI < 0,2$ . Essa ausência se deve pela presença do Reservatório Serra Azul, solo exposto e atividade minerária na região. Através da análise temporal do NDVI foi possível identificar o comportamento da vegetação conforme o critério de classificação estabelecido. O NDVI assumiu dentro da escala temporal analisada valores de -0,51 a 0,77, sendo que os valores mais baixos estão associados a ausência de vegetação e corpo d'água.

Fernandes (2016), em seu trabalho realizado em regiões de cerrado no estado de Goiás encontrou valores próximos ao da região de estudo, que variam entre -0,47 a 0,83. Os valores baixos foram relativos a áreas com ausência de vegetação. Esses valores próximos ao encontrados nesta pesquisa pode-se dar pela característica da vegetação e ao fato de ambas regiões estarem inseridas parcialmente no mesmo bioma.

Segundo Gandhi et al (2015), o NDVI varia de acordo com a capacidade da clorofila a de absorver a luz solar e da reflexão da radiação infravermelha exercida pelas células foliares, que possuem grande quantidade de água. Quanto maior for o grau de verde de uma planta maior a sua concentração de clorofila. De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) quanto mais elevado são os valores de NDVI maior a quantidade de vegetação fotossintetizante ativa presente na região e quanto menor esses valores, menor a quantidade de vegetação a região apresenta.

Mapa 3 - Comparação do estágio de vegetação por meio da utilização de NDVI para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



A tabela 7 representa a variação da cobertura vegetal ao longo do tempo analisado. É possível identificar uma grande variação entre as classes analisadas, sendo predominante as áreas com vegetação em estágio inicial.

Tabela 7 - Área de abrangência de cada intervalo de NDVI entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015

Classe	2000		2005		2010		2015	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Ausente	52,486	11,72	29,567	6,60	96,924	21,64	136,438	30,47
Estágio inicial	229,189	51,18	321,454	71,78	299,395	66,85	311,179	69,48
Estágio médio	166,158	37,10	96,780	21,61	51,109	11,41	0,232	0,05
Estágio avançado	0,016	0,00	0,050	0,01	0,422	0,09	0,000	0,00

Foi possível observar que no ano 2000 predominava na região áreas de vegetação em estágio inicial, que ocupava 51,18% da área estudada, seguida de estágio médio, representada por 37,10%. No ano de 2005 foi possível identificar um aumento significativo da área de estágio inicial, correspondendo a 71,78%. No ano de 2010 a vegetação sofreu redução, sendo possível observar que nesse período área de vegetação ausente obteve um aumento, representada por 21,64%. Em 2015, houve um aumento das áreas com ausência de vegetação e de estágio inicial, se comparado com ano de 2010. Além disso, as vegetações de estágio médio e avançado se encontraram em seus menores valores ao longo da análise temporal.

A ausência de vegetação apresentou um grande crescimento ao longo do tempo. Isso se deve principalmente as atividades presentes na região. Através dos estudos realizados na região por Neves et al (2007), para os anos de 1984 a 2002, é possível identificar que a região tem sofrido grande interferência de atividades agrícolas, pecuária, mineração e outros. Dessa forma, a região que originalmente era constituída de vegetação típica do cerrado vem sofrendo constante degradação para a instalação dessas atividades.

Durante os anos analisados a classe que apresentou maior área de abrangência foi a de estágio inicial, NDVI entre 0,2 e 0,5. De acordo com o trabalho de Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015), em estudo realizado em mata atlântica, esse estágio é caracterizado por uma abundância de vegetação arbustiva.

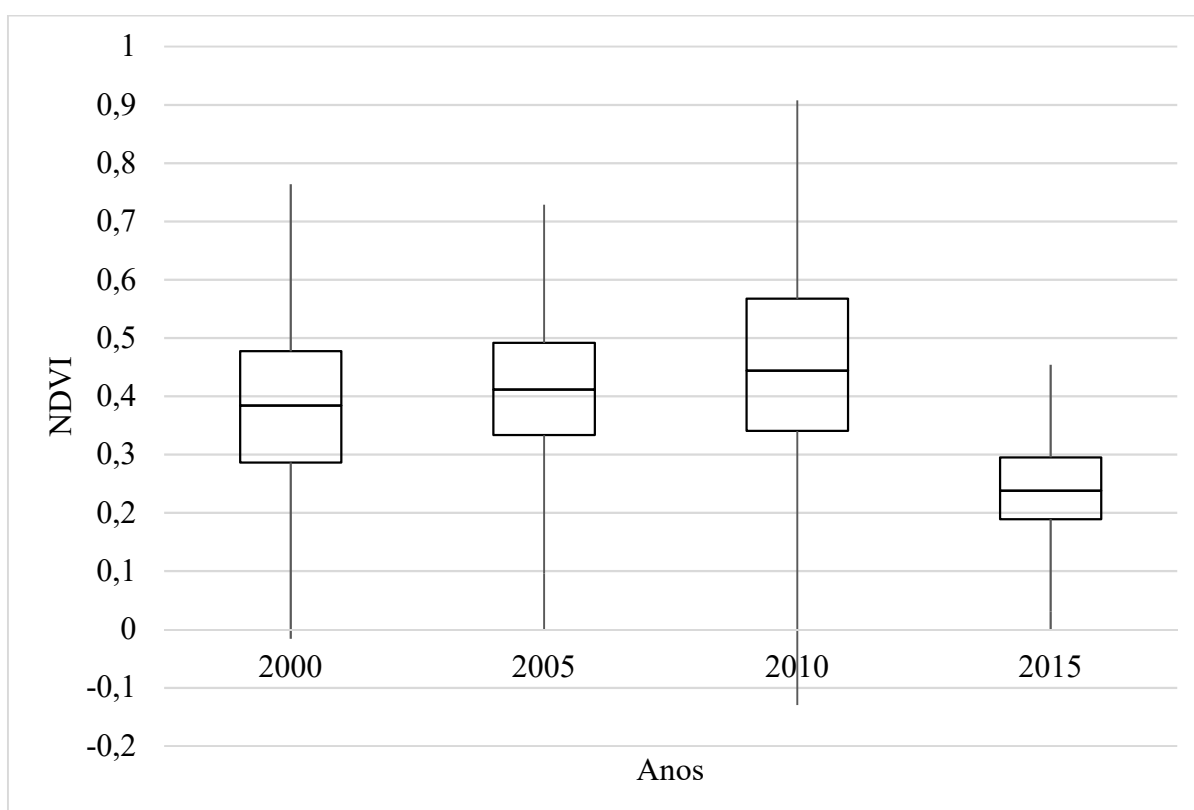
A região apresenta uma grande exploração agrícola com grande ênfase na pecuária e no cultivo de produtos para o atendimento da região metropolitana. Além disso, há na região a

presença de empresas de fabricação de carvão destinado a siderurgia. Dessa forma, a região apresenta um grande cultivo da espécie *Eucalyptus spp* (NEVES et al, 2007; GOMIDES, 1980).

É possível identificar que essas atividades contribuem significativamente para a predominância da classe de estágio inicial e ausência de vegetação na bacia. A pouca representatividade das outras classificações pode ocorrer pelo fato dessas atividades possuem uma constante retirada da cobertura vegetal do solo. Além disso, é possível identificar que no ano de 2015, a região apresentou o maior percentual com ausência de vegetação e estágio inicial. Concomitantemente, as regiões apresentadas pelo estágio médio e avançado sofreram uma maior perda, se comparado com os períodos anteriores.

O Gráfico 1 representa um panorama geral da distribuição dos dados de NDVI ao longo da escala temporal analisada. Foi possível identificar que o ano de 2010 foi aquele que apresentou maior amplitude dos dados, de 0,91, e o ano de 2015 foi aquele que apresentou a menor amplitude, de 0,42. O ano de 2000 apresentou uma amplitude de 0,76 e o ano de 2005 de 0,63.

Gráfico 1 - Boxplot com a distribuição de dados de NDVI





Foi possível identificar no boxplot apresentado que os dados obtiveram deslocamento de assimetria, pois o valor de sua mediana ficou mais próximo de algum dos quartis. O ano de 2010 foi aquele que apresentou maior deslocamento dos dados em relação a assimetria. Dessa forma, é possível identificar que no caso estudado os dados tendem a apresentar valores menores que o valor da mediana de NDVI. A assimetria apresentada pelo NDVI nos anos de estudo pode ser justificada pelo fato desse índice está correlacionado a diversos fatores ambientais, caracterizando a multivariabilidade de parâmetros associados a esse índice. Além disso em relação ao intervalo interquartilico, ou seja, o tamanho da caixa do gráfico boxplot, foi possível identificar que o ano de 2010 foi aquele que apresentou maior valor, ou seja, foi o ano que apresentou maior dispersão dos dados em relação a medida central (mediana), o que explica esse ano apresentar maior assimetria se comparado com os outros anos analisados.

De acordo com Jesen (2009), o NDVI é um importante índice em análises de vegetação, pois auxilia no seu monitoramento, uma vez que está diretamente associado as mudanças sazonais e interanuais de uma região. Além disso, esse índice possibilita uma melhor análise da vegetação, uma vez que reduz os ruídos da imagem, como sombras de nuvens, variações topográficas e de iluminação. Entretanto, esse índice apresenta algumas dificuldades devido a influência da radiância da trajetória da atmosfera e interferência devido a cor do solo e efeitos de umidade.

Uma das dificuldades percebidas foi em relação a reclassificação da imagem para os intervalos de NDVI. Conforme demonstrado nos resultados, foi possível identificar que a classificação utilizada por Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015), para áreas de mata atlântica, não se adaptou muito bem a regiões de cerrado.

Em regiões de cerrado, a vegetação apresenta uma grande variação do seu comportamento espectral em sua fisionomia entre os períodos de seca e de chuva, no qual costumam perder as folhas na época de seca. Além disso, uma característica dessa vegetação é o processo de regeneração natural da vegetação nativa, principalmente devido a ações de queimadas, que podem afetar as respostas espectrais registradas nas imagens de satélite. Assim, torna-se difícil a identificação de diversas fitofisionomias de cerrado por meio de técnicas de interpretação digital de imagem (SILVA, 2015).

O principal fator para identificação dessa irregularidade se dá na área do Reservatório Serra Azul, que apresentou grandes área de vegetação em estágio inicial e médio. Visto que essa região pertence a áreas de preservação permanente, era esperado resultados próximos a regiões em estágio médio ou avançado. Dessa forma, sugere-se a utilização para trabalhos

futuros de outras sugestões de classes de vegetação, dando-se preferência a estudos em regiões de bioma de cerrado.

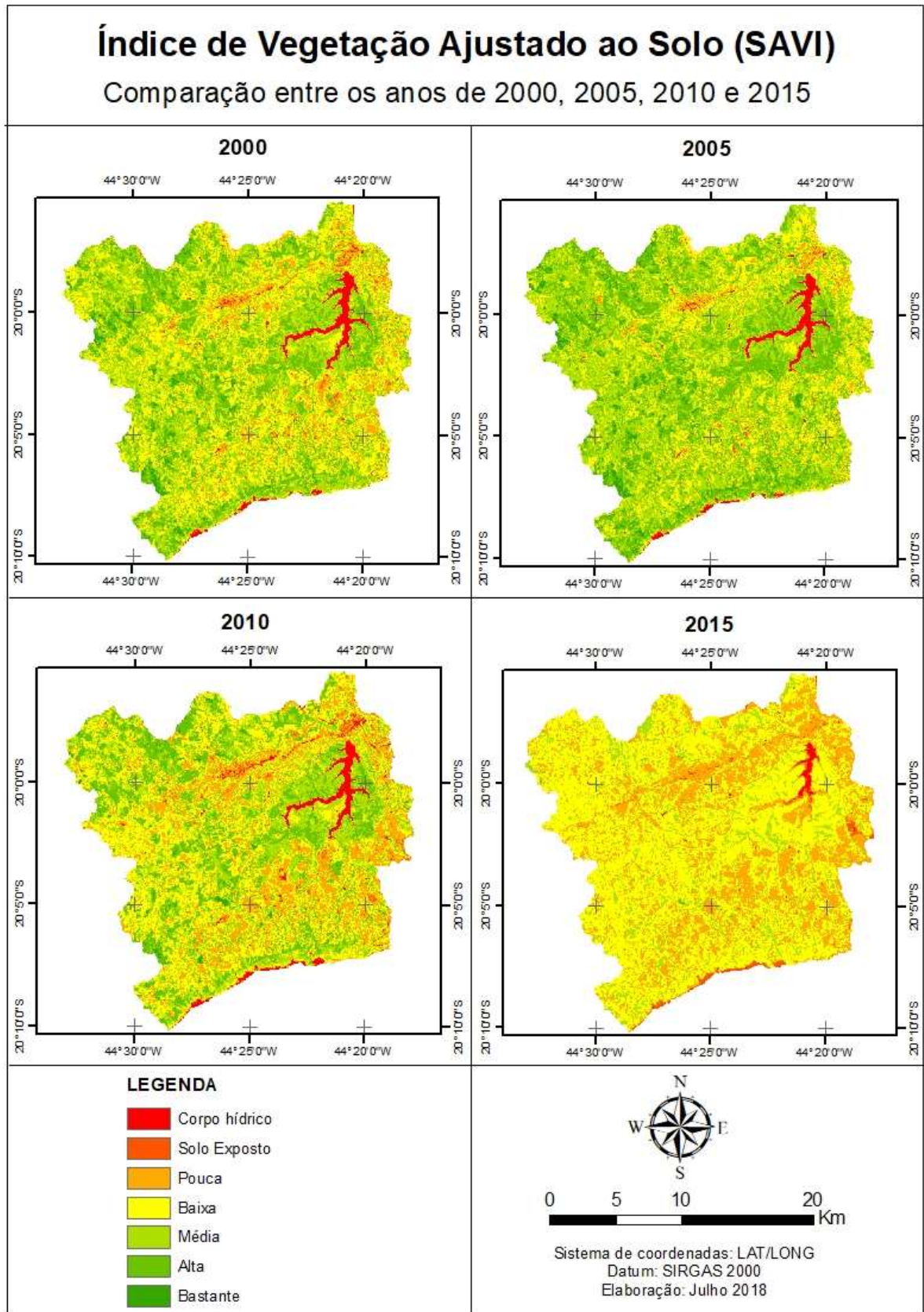
Em busca de melhorar as dificuldades do NDVI, o SAVI é um índice criado para uma melhor identificação da dinâmica florestal, pois não sofre as limitações do NDVI, como a interferência devido a cor do solo e efeitos da umidade (JESEN, 2009). Os resultados obtidos através da utilização do SAVI, expressaram uma melhor representação da região se comparados com os valores encontrados com o uso do NDVI.

As áreas com ausência de vegetação exerceram bastante influência nos resultados encontrados. Através do Mapa 4, é possível identificar que as regiões que o NDVI apresentou como ausentes de vegetação, foram as mesmas que apresentaram as classes corpo hídrico, solo exposto, pouca e baixa atividade fotossintética para classificação do SAVI.

Existem diversas variações entre a estrutura de uma folha e a sua capacidade de interagir com a radiação eletromagnética. Essa variação pode sofrer mudanças conforme a espécie ou entre indivíduos de uma mesma espécie. Isso acontece devido a condição de desenvolvimento do indivíduo no ambiente, sendo os fatores ambientais os principais responsáveis por essas mudanças. Dessa forma, essa variação é dependente de fatores químicos, estruturais e pode ser analisada nos aspectos de absorção, transmissão e reflexão da radiação. (PONZONI; SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012).

De acordo com Ponzoni (2001) e Datt (1998), devido a presença de folhas mais jovens no extrato superior de uma vegetação maiores serão os valores de reflectância encontrados e, dentro do espectro magnético, maiores serão os picos de reflectância apresentados pela região. Em contrapartida, quando maior a presença de folhas mais velhas e de regiões sem cobertura vegetal, menores serão os valores de reflectância. Isso se deve ao fato que as folhas mais velhas possuem maiores alterações nas suas estruturas internas o que afeta em maior proporção a reflectância na região do infravermelho.

Mapa 4 - Comparação do SAVI para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



A Tabela 8 apresenta a área de abrangência de cada intervalo de SAVI analisado. É possível identificar uma grande variação entre as classes, sendo predominante as áreas com pouca e baixa atividade fotossintética. Na área de estudo há predominância da cobertura de pouca e baixa atividade fotossintética ao longo dos anos estudados. Foi possível observar que no ano 2000 predominava na região áreas de média atividade fotossintética, que ocupava 35,19% da área estudada, seguida da vegetação de baixa atividade fotossintética, representada por 29,28%. No ano de 2010 os percentuais de média atividade fotossintética sofreram redução, sendo possível observar que nesse período a baixa atividade fotossintética obteve maior área, representada por 31,97%. Em 2015, a atividade fotossintética da região apresentou uma grande redução, sendo predominante as faixas de pouca e baixa atividade fotossintética, representada respectivamente por 28,60% e 58,77%.

Tabela 8 - Área de abrangência de cada intervalo de SAVI conforme a atividade fotossintética entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015

Classe	2000		2005		2010		2015	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Corpo hídrico	9,136	2,04	8,790	1,96	10,566	2,36	2,352	0,53
Solo exposto	4,912	1,10	2,887	0,64	7,588	1,69	6,041	1,35
Pouca	42,273	9,44	19,483	4,35	84,588	18,89	128,086	28,60
Baixa	131,135	29,28	88,763	19,82	143,168	31,97	263,192	58,77
Média	157,602	35,19	187,639	41,90	120,261	26,85	47,599	10,63
Alta	94,468	21,09	127,130	28,39	78,116	17,44	0,581	0,13
Bastante	8,324	1,86	13,157	2,94	3,564	0,80	0,000	0,00

A ausência de vegetação apresentou um grande crescimento ao longo do tempo. Entretanto, é possível identificar uma redução desse parâmetro no ano de 2015. Isso se deve a questão do aumento das atividades minerária na região e o caso de escassez hídrica da bacia, que ocasionou uma diminuição do volume de água da região do Reservatório Serra Azul. Assim, devido a redução do volume de água, a área com ausência de vegetação na região do reservatório nos anos de 2000, 2005 e 2010 se transformaram em áreas com baixa e pouca atividade fotossintética em 2015.

Ferreira et al (2005), em seu trabalho em áreas de cerrado do estado de Goiás, observou que as áreas de cerrado correspondente a campo limpo e sujo apresentavam uma queda significativa de biomassa durante a época de seca. Isso acontece devido a predominância de

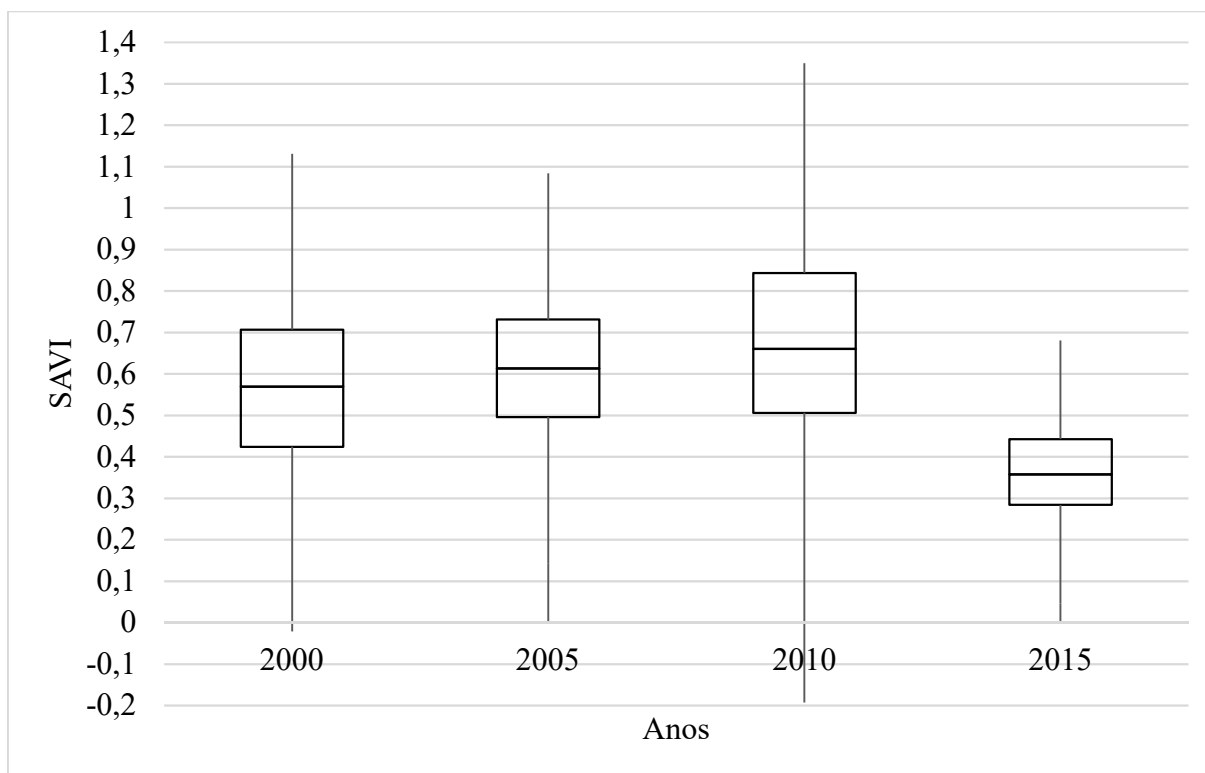
formações herbáceas que durante a época de seca tendem a perder o seu componente fotossintetizante. Em relação aos campos cerrado, o autor observou que os índices variam suavemente entre os períodos de seca e chuva. Essa situação acontece pelo fato dessas vegetações possuírem uma maior biomassa estrutural, como ramos e troncos, durante todo o ano.

De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a sua refletância na região do visível. Isso se deve a grande oferta de pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas. Em contrapartida, o contrário ocorre na região do infravermelho, pois quanto maior a dispersão da radiação eletromagnética ao longo das camadas de folhas maior será a sua resposta ao sensor.

O Gráfico 2 representa um panorama geral da distribuição dos dados de SAVI ao longo da escala temporal analisada. Foi possível identificar que o ano de 2010 foi aquele que apresentou maior amplitude dos dados, de 1,35, e o ano de 2015 foi aquele que apresentou a menor amplitude, de 0,64. O ano de 2000 apresentou uma amplitude de 1,13 e o ano de 2005 de 0,94.

Foi possível identificar no boxplot apresentado que os dados obtiveram deslocamento de assimetria, pois o valor de sua mediana ficou mais próximo de algum dos quartis. Vale ressaltar que a assimetria apresentada ficou menor se comparada com a análise efetuada pelo NDVI. Tanto a assimetria apresentada pelo NDVI como pelo SAVI nos anos de estudo pode ser justificada pelo fato desse índice está correlacionado a diversos fatores ambientais, caracterizando a multivariabilidade de parâmetros associados a esse índice. Além disso em relação ao intervalo interquartilico, ou seja, o tamanho da caixa do gráfico boxplot, foi possível identificar que o ano de 2010 foi aquele que apresentou maior dispersão dos dados em relação a medida central (mediana) dos dados.

Gráfico 2 - Boxplot com a distribuição de dados de SAVI



## 5.2 Temperatura da superfície

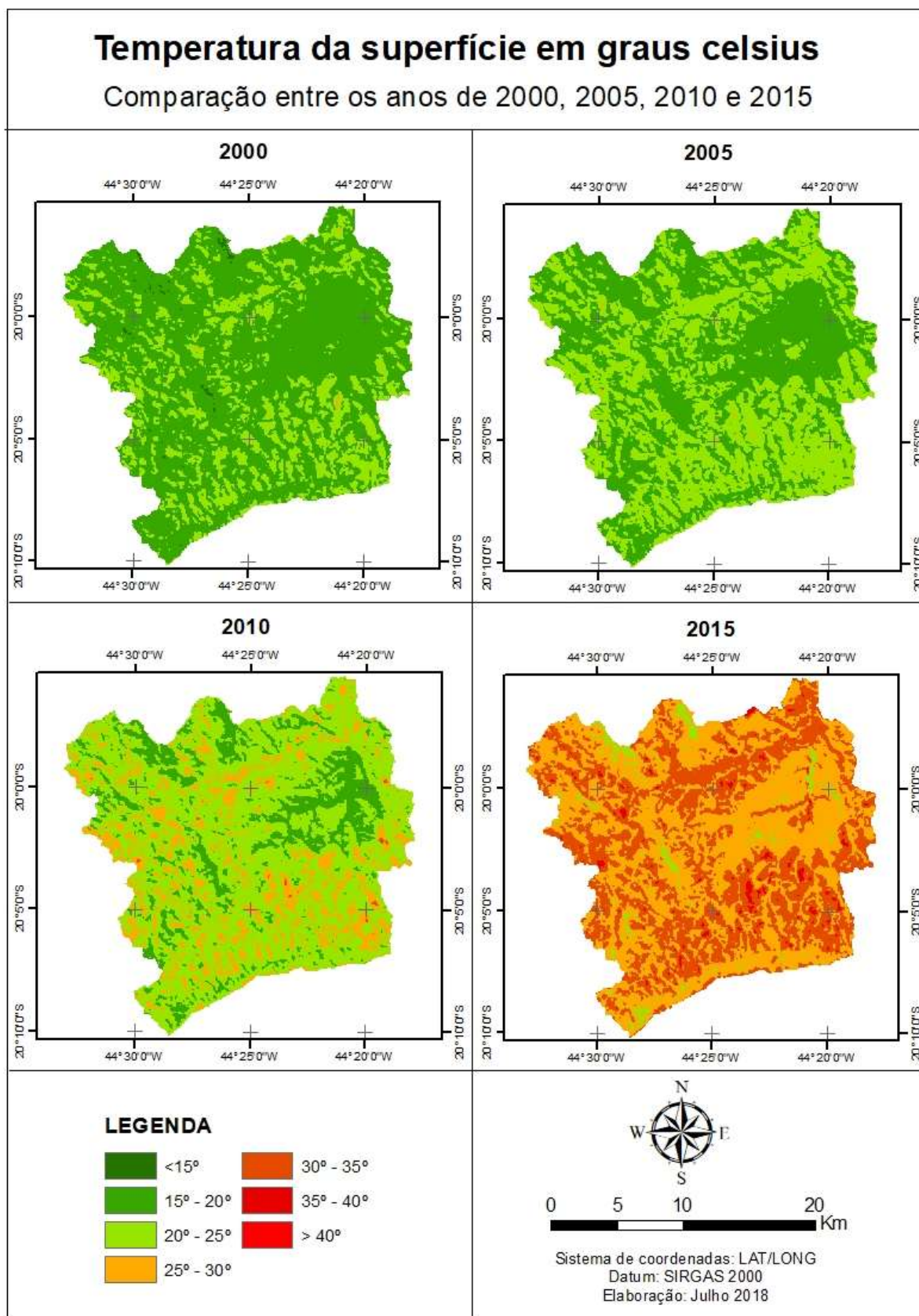
Através do processamento digital de imagem e o uso das imagens de satélite, identificou-se a variação da temperatura de superfície ao longo do período estudado. As imagens foram classificadas nos mesmos intervalos de temperatura, em graus Celsius, para estabelecer uma padronização entre os dados. É possível observar, por meio do Mapa 5, que ao longo do tempo a temperatura da superfície da região apresentou uma grande elevação, chegando a apresentar temperaturas maiores que 40°, ao longo do território estudado.

É possível identificar que os anos de 2000 e 2005 apresentaram as menores temperaturas e que no período de 2010 e 2015 a temperatura de superfície da região sofreu um grande aumento. Especificamente no ano de 2015 as temperaturas variaram entre 20° a mais de 40°, sendo quase o dobro da temperatura de superfície encontrada para o ano 2000.

O panorama geral apresentado pelo mapa o longo do tempo estudado indica que a medida que a cobertura vegetal em estágios avançados foi diminuindo a temperatura da superfície da região foi aumentando.



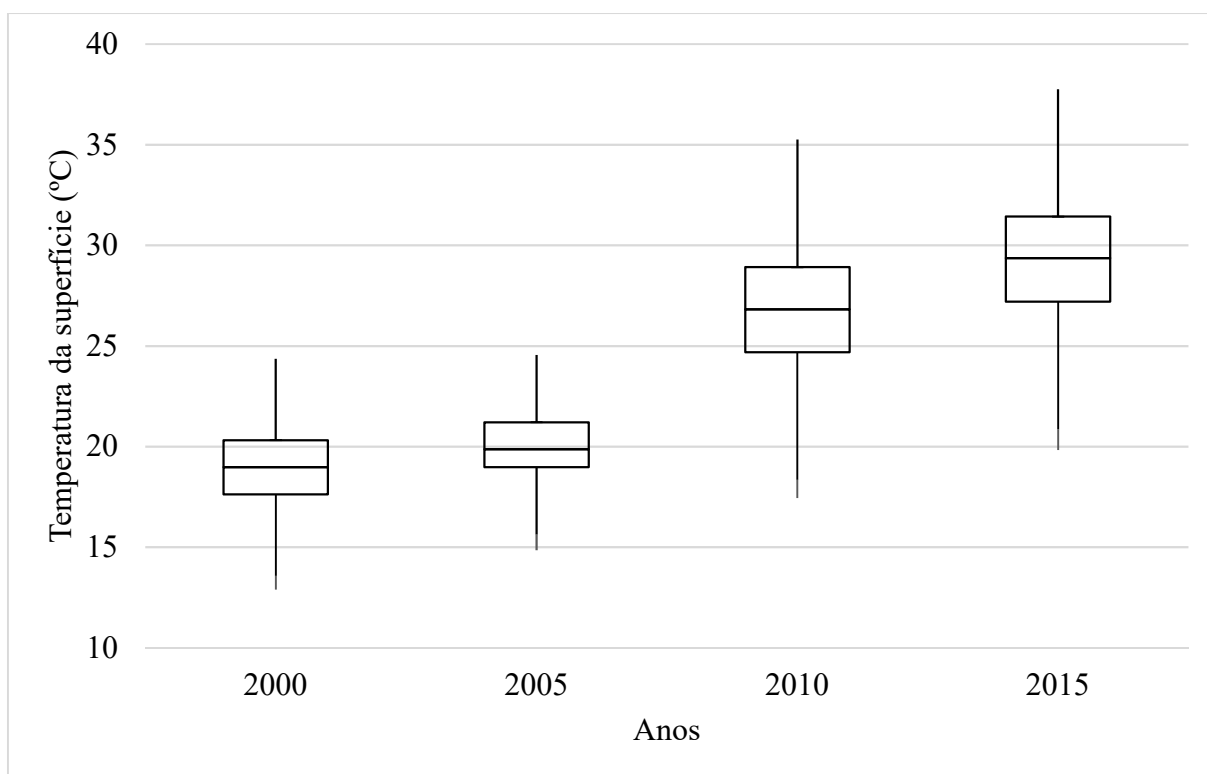
Mapa 5 - Comparação da variação da temperatura de superfície para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



De acordo com Labaki et al (2013), esse processo acontece pelo fato das árvores impedirem que grande parte da radiação incidente atinja a totalidade dos solos ou de construções de uma região. Dessa forma, a vegetação, por meio do efeito de sombreamento e evapotranspiração, reduz a temperatura superficial de uma área. O sombreamento irá auxiliar por meio da atenuação da radiação solar incidente e a evapotranspiração proporciona o resfriamento das folhas e do ar da região. Assim, quanto maior o porte arbóreo de um vegetal maior será a sua contribuição para a diminuição da temperatura de superfície de uma região.

O Gráfico 3 representa um panorama geral da distribuição dos dados de temperatura de superfície ao longo da escala temporal analisada. Foi possível identificar que o ano de 2010 e 2015 foi aquele que apresentou maior amplitude dos dados, de 16,89°C, e o ano de 2005 foi aquele que apresentou a menor amplitude, de 8,9°C. O ano de 2000 apresentou uma amplitude de 10,8°C.

Gráfico 3 - Boxplot com a distribuição de dados de temperatura de superfície



Foi possível identificar no boxplot apresentado que os dados obtiveram deslocamento simétrico, pois o valor de sua mediana ficou mais próximo do centro. A assimetria apresentada pelos gráficos foi de 0,01°C da mediana, exceto para o gráfico de 2015 que apresentou um



deslocamento de 0,1°C. Além disso em relação ao intervalo interquartilico, ou seja, o tamanho da caixa do gráfico boxplot, foi possível identificar que o ano de 2010 e 2015 foram aqueles que se apresentou maior, ou seja, foi o ano que apresentou maior dispersão dos dados em relação a medida central (mediana), visto que ambos os anos apresentaram maior faixa de temperatura de superfície ao longo da área de estudo.

A Tabela 9 apresenta a área de abrangência de cada intervalo temperatura de superfície analisado. É possível identificar uma grande variação entre as classes, sendo predominante a faixa entre 20 a 25°C ao longo do tempo de estudo. Foi possível observar que no ano 2000 predominava na região áreas de faixa entre 15 a 20°C, que ocupava 73% da área estudada, seguida da faixa de 20 a 25°C, representada por 25,53%. No ano de 2010 os percentuais de temperatura sofreram aumento, não sendo possível captar áreas com temperaturas abaixo de 15°C. Em 2015, a temperatura da superfície da região sofreu um aumento, sendo predominante as faixas entre 25 a 30°C, representado por 55,07% da região.

Tabela 9 - Área de abrangência da temperatura de superfície entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015

Classe	2000		2005		2010		2015	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
<15°	1,683	0,38	0	0	0	0	0	0
15-20	331,323	73,99	232,002	51,81	0,785	0	0	0
20-25	114,316	25,53	215,320	48,08	124,071	28	12,059	2,69
25-30	0,478	0,11	0,486	0,11	262,987	59	246,606	55,07
30-35	0	0	0	0	55,987	13	181,412	40,51
35-40	0	0	0	0	3,486	1	7,715	1,72
>40	0	0	0	0	0,501	0,1	0,005	0,001

Visto a influência de fenômenos como El niño e La niña nas temperaturas globais, de acordo com a Tabela 10, é possível identificar que dentro da escala temporal analisada houve a presença dos dois fenômenos. No ano de 2000 e 2010 houve a ocorrência de La niña, sendo que em 2010 a sua intensidade foi moderada. Em 2005 a ocorrência foi normal, ou seja, sem a presença de La niña ou El niño. O La niña pode ter contribuído para um maior aparecimento de faixas de temperaturas entre 15 a 20°C na região. Por último, no ano de 2015 é possível identificar a presença de El niño, sendo a sua intensidade considerada forte, o que pode ter contribuído para o aparecimento de faixa de temperaturas de superfícies mais altas nesse ano de estudo.

Tabela 10 - Ocorrências de El niño e La niña entre os anos de 2000 a 2016

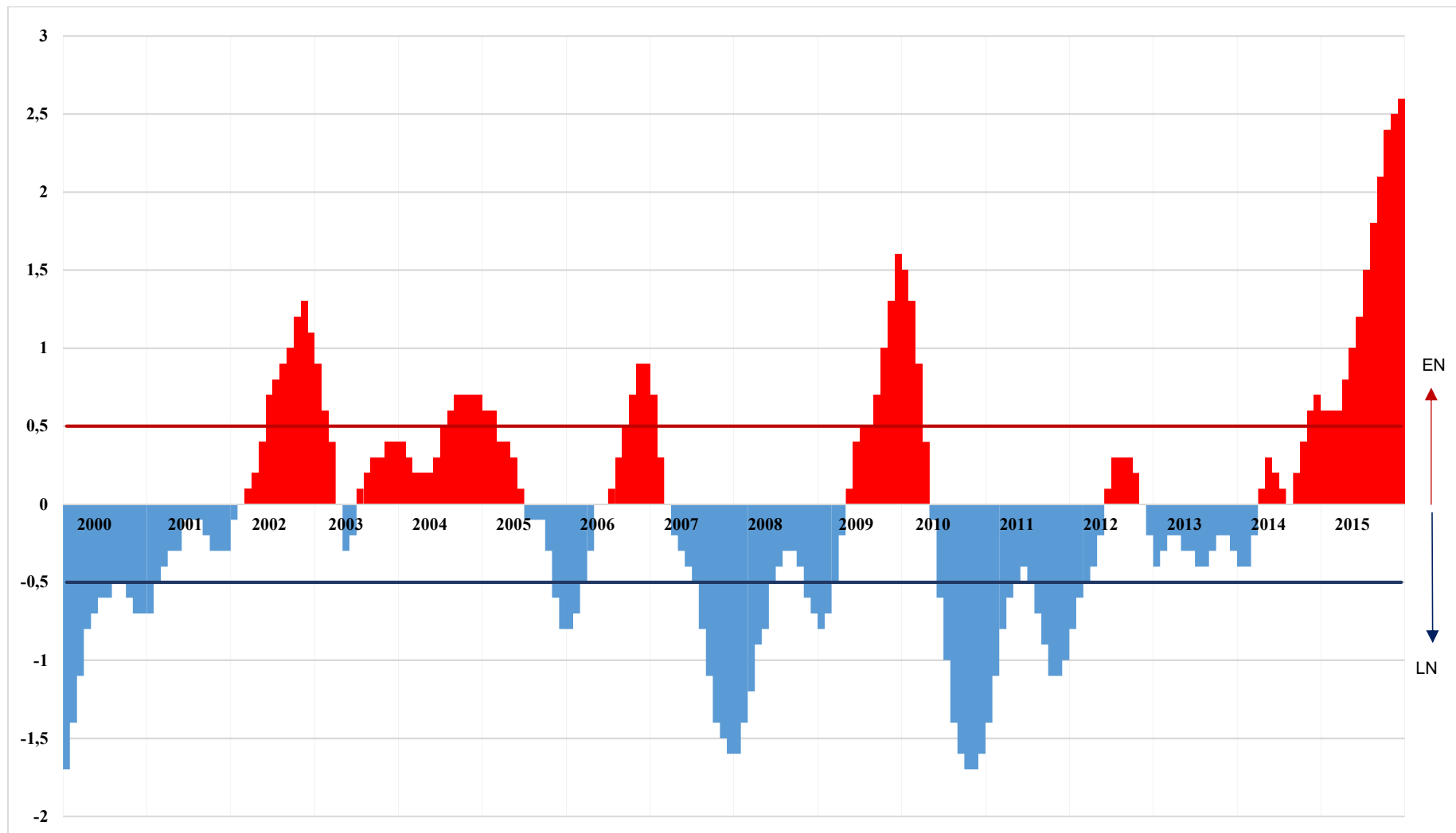
Período	Ocorrência	Intensidade
2000 - 2001	La Niña	-
2001 - 2002	Normal	-
2002 - 2003	El Niño	Moderada
2003 - 2004	Normal	-
2005 - 2006	Normal	-
2006 - 2007	El Niño	Moderada
2007 - 2008	La Niña	Moderada
2008 - 2009	Normal	-
2009 - 2010	El Niño	Moderada
2010 - 2011	La Niña	Moderada
2011 - 2012	La Niña	-
2012 - 2013	Normal	-
2013 - 2014	Normal	-
2014 - 2015	El Niño	-
2015 - 2016	El Niño	Forte

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE (2018) e NOAA (2018)

Segundo da Cunha (2011), o fenômeno conhecido como El niño Oscilação Sul possui duas fases, um quente chamado El niño e uma fria conhecida como La niña, representado pelo Gráfico 4. O comportamento da temperatura de superfície das águas localizadas no Oceano Pacífico associado aos campos de pressão altera o padrão de circulação da atmosfera e isso influencia no clima de diferentes regiões do mundo, podendo causar desvios extremos.

No período de transição do inverno para a primavera, o El niño pode ocasionar o aumento da temperatura e redução da umidade no Brasil. Isso torna a área mais suscetível a queimadas e a incêndios. Na região sudeste é comum as temperaturas ficarem mais altas em relação ao seu valor habitual. Entretanto, é importante ressaltar que a topografia e a cobertura vegetal são elementos que interagem com fatores climáticos, sendo importante a inclusão desses parâmetros para evitar o julgamento errôneos sobre a influência desses fenômenos em uma região. Em Minas Gerais, a variabilidade espacial da distribuição de precipitação bem como da temperatura pode ser explicada por fatores geográficos, como a influência da topografia e das altitudes bem como da concentração de grandes áreas urbanas (PRELA, 2005; MINUZZI, 2003).

Gráfico 4 - Índices Oceânicos Niño no período de 2000 à 2015



Fonte: Adaptado de NOAA (2018)

Segundo Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), em seus estudos sobre ilhas de calor verificaram que a medida que as áreas possuíam maiores quantidades de gramados e árvores, menor a temperatura da superfície encontrada da região de estudo. Além disso, o processo inverso foi encontrado para áreas impermeabilizadas, como ocorrem em ambientes urbanos. De acordo com eles, o relevo tem um papel de grande importância na distribuição da temperatura. Outro fator apresentado é que o uso e ocupação do solo juntamente com a quantidade de cobertura vegetal arbórea são fatores determinantes da forma como a temperatura de superfície será distribuída ao longo de um local.

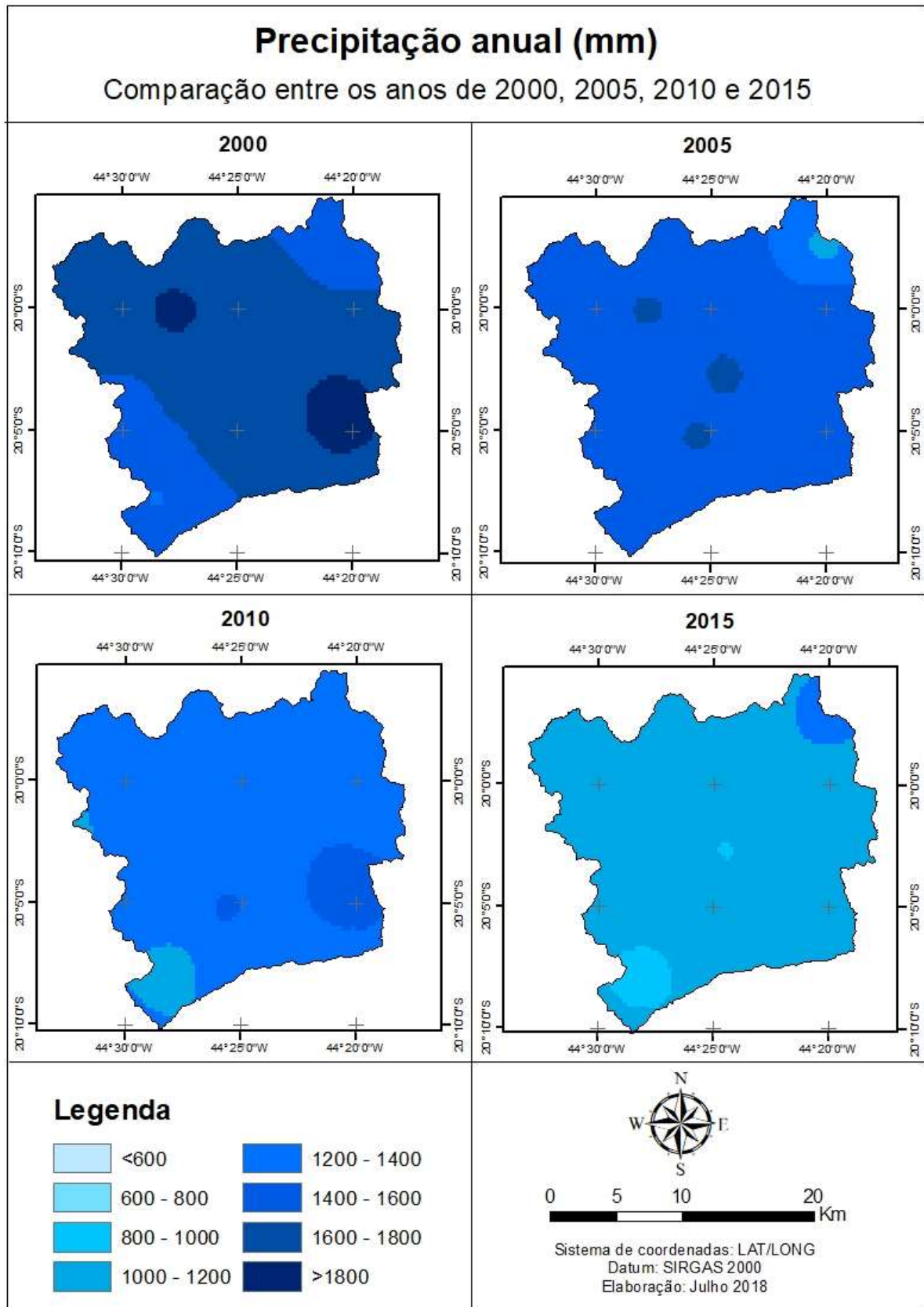
A vegetação possui uma característica seletiva aos diferentes comprimentos de onda. Ela possui a capacidade de absorver cerca de 90% da radiação visível e 60% da radiação infravermelha. A maior parte dessa radiação absorvida é utilizada para a realização de funções vitais da vegetação e o restante é transmitido ao longo das folhas. Através dessa característica a vegetação consegue atenuar a radiação de onda curta e evita efeitos de ofuscamento no ambiente. Com relação a radiação de onda longa, a arborização reduz no calor emitido pelas superfícies e no seu aquecimento. Dessa forma, a vegetação possibilita a criação de microclimas distintos, principalmente em áreas urbanas. Além disso, elas exercem bastante influência com relação a temperatura de uma superfície (LABAKI et al, 2013; BASSO e CORRÊA, 2014).

### **5.3 Precipitação**

As imagens foram classificadas nos mesmos intervalos de precipitação anual para estabelecer uma padronização entre os dados. É possível observar, por meio do Mapa 6, que ao longo do tempo a precipitação anual da região apresentou uma diminuição, chegando a apresentar índices menores que 600 mm, ao longo do território estudado.

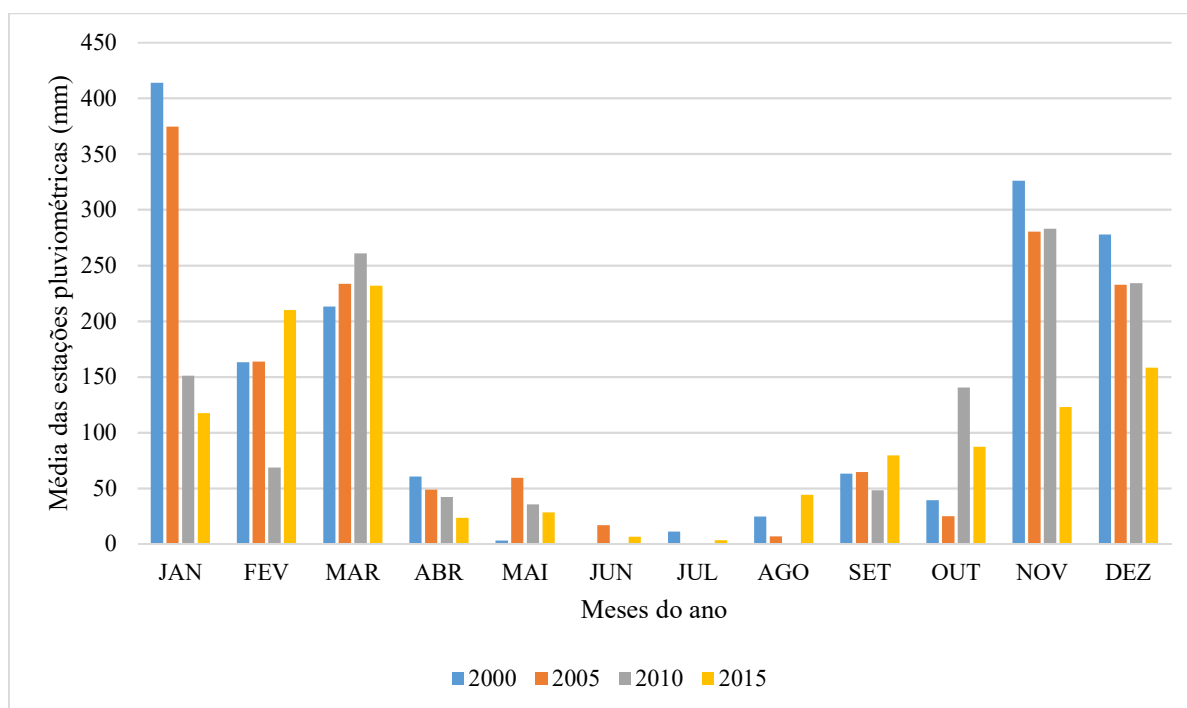
Quando a chuva cai sobre uma cobertura vegetal ela é fracionada em três parcelas, sendo elas interceptadas e armazenada pela vegetação, cai livremente no solo e por último alcança os solos por meio de escoamento pelos troncos da vegetação. Dessa forma, a água da chuva não chega em sua totalidade no solo e parte dela fica retida pela vegetação. No cerrado um dos principais fatores climáticos que influencia na distribuição espacial e temporal dessa vegetação é a precipitação pluvial. Em seu trabalho no cerrado amazônico, os autores identificaram que a inclusão de dados de precipitação nas análises de índices de vegetação permitiu uma melhor compreensão da dinâmica sazonal desse bioma entre as diferentes classes de uso e cobertura da terra (BECERRA; SHIMABUKURO e ALVALÁ, 2009; GIGLIO e KOBİYAMA, 2013).

Mapa 6 - Comparação da variação da precipitação anual para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



O panorama geral apresentado pelo mapa ao longo do tempo estudado demonstra que a medida que a quantidade de chuvas ao longo da bacia foi diminuindo, menor a quantidade de vegetação em estágio avançado na bacia. Visando estudar o comportamento nos meses próximos a data das imagens analisadas elaborou-se o gráfico representado pelo Gráfico 5.

Gráfico 5 - Média das precipitações para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



Fonte: Adaptado de Hidroweb, ANA (2018)

É possível identificar uma grande diminuição da precipitação ao longo da linha temporal estudada. Como característico da região os meses relativos as estações de primavera e verão foram os mais chuvosos e os meses relativos as estações de outono e inverno, se caracterizando como o período de seca da região. É importante ressaltar que para todos os anos o período compreendido no estudo, que variou entre os meses de junho e agosto, apresentou baixas precipitações, chegando, em alguns casos em períodos de seca, ou seja, sem nenhuma precipitação na região de estudo.

Com relação a precipitação é possível identificar que a média anual para os anos de estudos variou entre 1112,61 mm, para o ano 2015, e 1596,03 mm, para o ano de 2000. É importante ressaltar que houve um decréscimo da média anual ao longo dos anos estudados, sendo que para o ano de 2005 essa média foi de 1506,82 mm e para o ano de 2010 foi de 1265,42 mm.

Apesar do decréscimo apresentado ao longo da escala temporal estudado é importante ressaltar que os valores encontrados na bacia estão dentro da série de estudos de precipitação da região. De acordo com Neves (2005), em seus estudos acerca da correlação da dinâmica vegetal e a evapotranspiração na mesma região de estudos, relataram que entre os anos de 1984 a 2002 a média anual de precipitação na região variou em valores abaixo de 1200 mm e acima de 2000 mm.

Rodrigues et al (2015), em seu trabalho sobre a avaliação do escoamento e interceptação da água da chuva conclui que a presença de vegetação auxilia no escoamento superficial da água da chuva e auxilia na sua infiltração no solo. Além disso, é demonstrado que a precipitação minimiza o impacto das gotas devido a presença das copas das árvores. Assim, essa água passa a contribuir no ciclo hidrológico, ficando disponível para as plantas, reabastecimento de lençol freático e para nascentes.

Oliveira et al (2017), ao analisar a região do cerrado verificou que o vigor vegetativo e a disponibilidade hídrica são de grande importância para o processo de evapotranspiração da vegetação. Além disso, definiu-se que quanto maior a biomassa presente na superfície, como a presença de florestas, maior será a evapotranspiração de uma região. Outro fator analisado é que quanto maior a quantidade de áreas sem vegetação ou com presença de gramíneas menor a evapotranspiração de uma região. Dessa forma, os autores definem que tanto a cobertura vegetal como as precipitações são de grande importância para o balanço hídrico de uma região.

Os resultados apresentados apontarem para uma possível correlação entre a vegetação e a precipitação da região. Entretanto, Neves et al (2007), em seus estudos para região entre os anos de 1984 e 2002, defende que para a extensão da área de estudo não é possível identificar uma boa correlação entre os dados. Segundo os autores, se a região fosse mais homogênea seria possível estabelecer uma melhor correlação entre os dados. Além disso, para uma verificação de grandes alterações de vegetação ou de comportamento hidrológico seria necessário que a região sofresse uma grande alteração.

Visto que dentro da linha temporal estudada a região passou por uma grande alteração em seu território, principalmente devido ao episódio de escassez hídrica. Os dados apresentados podem auxiliar estudos futuros dentro da sub-bacia, principalmente para o estabelecimento de uma correlação entre a precipitação e o comportamento da vegetação.

#### 5.4 Uso e ocupação da superfície

Através do processamento digital de imagem e o uso das imagens de satélite, identificou-se a variação do uso e ocupação da superfície do período estudado. É importante ressaltar que existe diversas formas de delimitar as atividades presentes em uma região. Além disso, existe diversos critérios para a classificação dos tipos de uso e ocupação de uma superfície.

Segundo Silveira et al (2015), é importante conhecer como é feito o uso de uma determinada região, pois quando se conhece o uso e ocupação da superfície é possível identificar as atividades presentes bem como os problemas oriundos de ações antrópicas em uma região. Além disso, essa análise permite o planejamento adequado da terra bem como a garantia de preservações de áreas de interesse.

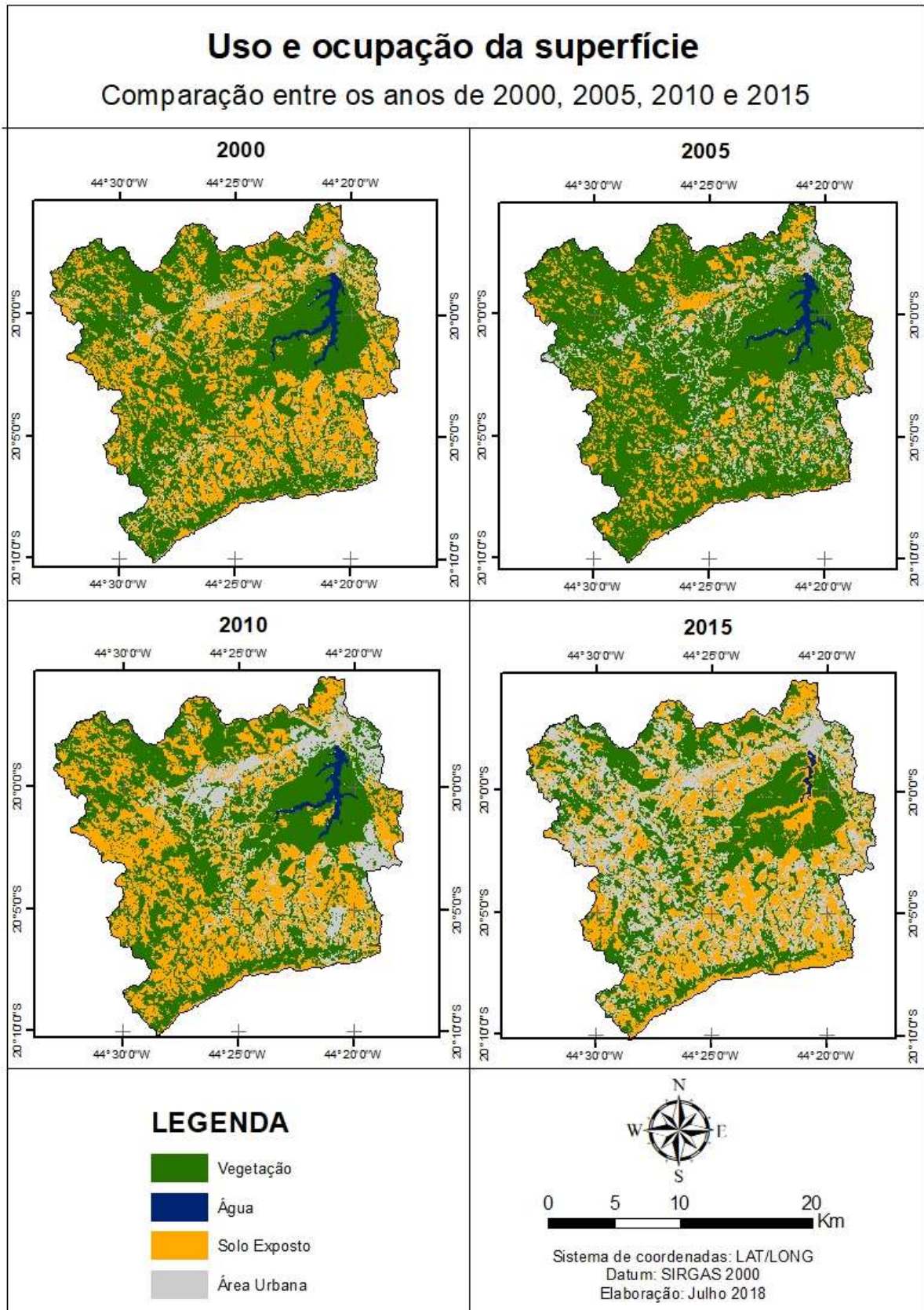
O Mapa 7 apresenta as classes de uso e ocupação do solo analisadas com base na metodologia proposta por Garlet et al (2013). A classificação demonstra o comportamento das classes de solo exposto, água, vegetação e área urbana ao longo da escala temporal analisada na sub-bacia do ribeirão Serra Azul. No mapa, é possível identificar que as classes estudadas sofreram grandes mudanças ao longo do tempo, principalmente as áreas de vegetação da região.

Fernandes et al (2015) considera que a pressão antrópica provinda principalmente das atividades agropecuárias é um fator preocupante em uma região ao se pensar em uma escala temporal. Isso acontece principalmente pelo fato da supressão da vegetação para a execução dessas atividades. Em seu estudo em regiões semiárida, os autores apontaram para a constante expansão dessas atividades na região estudada e da importância de se providenciar medidas para evitar o grande impacto ambiental da região. De acordo com eles, deve-se sempre se preocupar com a redução de impactos locais e regionais dessas atividades e buscar formas para a ampliação dos benefícios socioambientais para as comunidades locais.

A grande variação da vegetação se deve principalmente ao cultivo da espécie *Eucalyptus spp* presente na região. De acordo com Neves et al (2007) e Gomides (1980) o cultivo dessa espécie se deve principalmente pela grande exploração agrícola e pecuária presente na sub-bacia do ribeirão Serra Azul. Além disso, essas atividades ocasionam grande exposição do solo e supressão vegetal. Assim, seria interessante para estudos futuros um maior detalhamento das atividades agropecuárias presentes na região. Outro fator importante que o mapa aponta é para a expansão urbana que ocorreu nos municípios pertencentes a sub-bacia do ribeirão Serra Azul ao longo da escala temporal estudada.



Mapa 7 - Comparação da variação do uso e ocupação da superfície para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015



Segundo Salles et al (2013), a expansão urbana traz diversos conflitos ambientais para uma região sendo eles recorrentes ao longo de toda história. Dentro desses problemas está a impermeabilização do solo e supressão das vegetações. Atualmente, essa problemática vem tomando um maior destaque e conscientização pela população e gestão pública. Para os autores, os municípios devem sempre buscar projetos de melhoria das áreas urbanas, principalmente com a aplicação de unidades de conservação e a fiscalização e monitoramento ambiental.

De acordo com Neves (2005), no passado a área de estudo era predominantemente rural com 70% da sua superfície coberta por vegetação natural e a única área urbana presente na região era o distrito de Serra Azul. Segundo a autora, a partir da inauguração do reservatório Serra Azul na região diversos loteamentos foram inseridos na sub-bacia bem como áreas agrícolas e de reflorestamento. Dessa forma, a vegetação da região começou a ser suprimida para atender as necessidades da população que estava se inserindo ao longo da sub-bacia.

Com relação a área de estudo, Neves et al (2007), em seus estudos na região para os anos de 1984 a 2002, apontaram que no ano de 1989 não existia grandes corpos d'água na região e a área urbana tinha uma característica bastante rural. Outro fator importante que nessa época de estudo a região já enfrentava problemas em relação a solo exposto provindo de atividades agropecuária. Além disso, as atividades de mineração ocupavam pouca área da bacia.

A Tabela 11 representa a variação do uso e ocupação da superfície ao longo do tempo analisado. Com base nos dados é possível identificar um grande aumento da área urbana na região, principalmente entre os anos de 2010 e 2015. É importante ressaltar que o solo exposto na região é oriundo tanto das atividades minerárias como das atividades agropecuárias. A mineração contribuiu bastante para o aumento do índice de solo exposto ao longo do tempo.

Tabela 11 - Área de abrangência das classes de uso e ocupação da superfície entre os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015

Classe	2000		2005		2010		2015	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Água	6,56	1,46	6,67	1,49	6,05	1,35	1,45	0,32
Vegetação	246,37	55,02	303,83	67,85	209,34	46,75	170,77	38,14
Solo Exposto	164,48	36,73	88,35	19,73	167,24	37,35	147,67	32,98
Área Urbana	30,36	6,78	48,92	10,92	65,15	14,55	127,89	28,56

Para o ano 2000, a região apresentava grande quantidade de área de vegetação, de 55,02% do território. Ao comparar com os dados do NDVI é possível identificar que nesse ano predominava na região áreas de vegetação em estágio inicial que ocupava 51,18% da área estudada, seguida de estágio médio, representada por 37,10%.

A região era predominantemente rural, pois a área urbana se encontrava em pequenas concentrações no mapa, sendo representado por 6,78% da região. O fato da região ter predominância rural justifica os valores de solo exposto encontrado, de 36,73%, que são oriundos das atividades de mineração e agropecuária.

Neves et al (2007), em estudos na região nos anos de 1984 a 2002 identificaram um aumento da quantidade de solo exposto e uma redução da vegetação da região, principalmente no que se refere a vegetação esparsa, ao longo do tempo. Segundo o autor as áreas de floresta densa também sofreram grandes diminuições ao longo do território. A região ainda era predominantemente rural e a mineração se encontrava atuante na região.

No ano de 2005 houve um aumento das classes de uso e ocupação do solo exceto para o de solo exposto, que apresentou uma diminuição dos valores. Com relação a vegetação a região apresentada 67,85% da área, sendo principalmente composta, de acordo com os dados de NDVI encontrados, por vegetação em estágio inicial.

Diferentemente de 2005, o ano de 2010 apresentou um grande crescimento de área urbana e solo exposto e uma diminuição da quantidade de água e vegetação da região. Da mesma forma que o mapa de uso e ocupação da superfície, os dados de NDVI também apontaram para a substituição da vegetação por solo exposto na região.

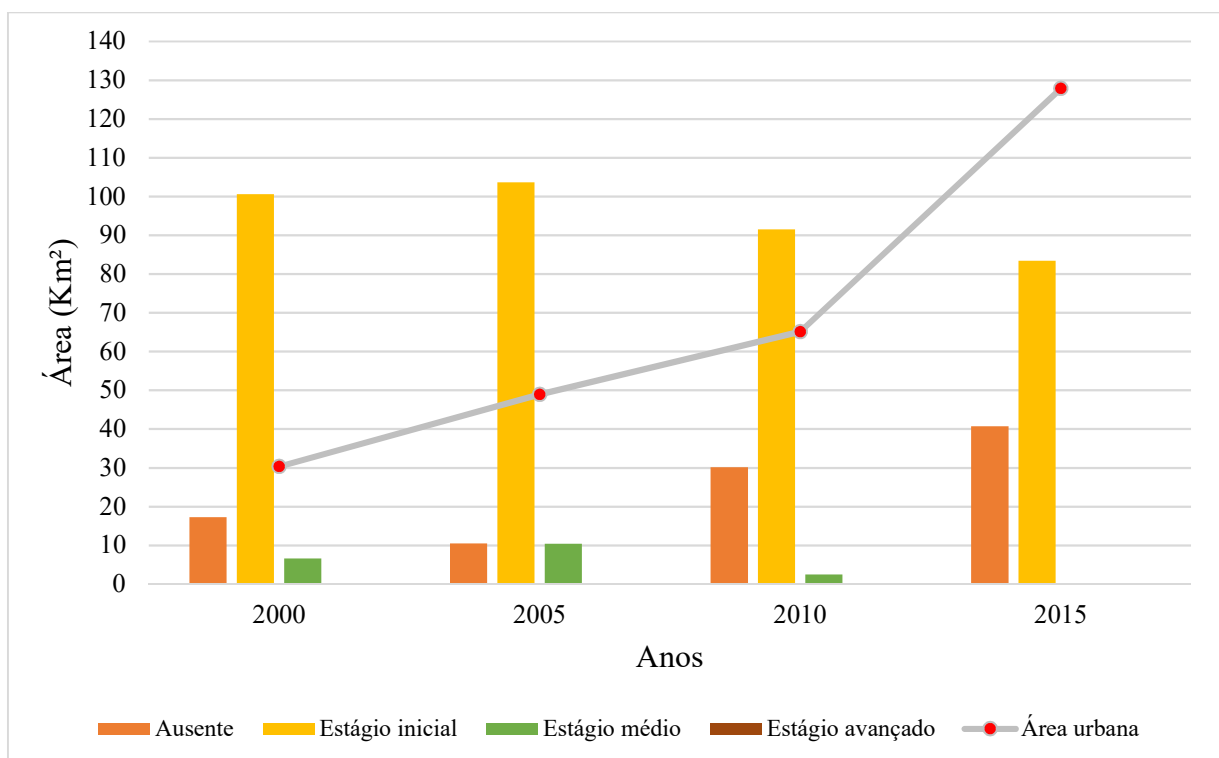
Os resultados de NDVI para o ano de 2015 apontaram para um aumento de áreas de solo exposto e de vegetação em estágio inicial na região se comparado com o ano de 2010. Outro fato importante é que as vegetações em estágio médio e avançado se encontrava em seus menores valores na análise temporal. O mapa de uso e ocupação da superfície aponto para uma grande diminuição da quantidade de água na região, atingindo o valor de 0,32%. Isso se deve ao quadro de escassez hídrica que ocorreu na região que culminou na diminuição do volume de água do Reservatório Serra Azul. Nesse ano a região apresentou os maiores valores de adensamento urbano e de solo exposto. Com relação a vegetação os valores se encontravam altos, mas em grande parte em estágio inicial.

De acordo com Neves et al (2015), dentro dos centros urbanos é importante ressaltar que existe inúmeras discussões sobre a expansão urbana e a deterioração ambiental. Além disso, essa problemática está presente em municípios de diversos portes, principalmente quando estes

estão associados a falta de planejamento ambiental. A substituição da vegetação pela impermeabilização do solo pode provocar a intensa degradação dos ecossistemas e dos recursos naturais. Outro fator associado a essa questão está na perda de matas ciliares, diminuição da biodiversidade e impermeabilização do solo.

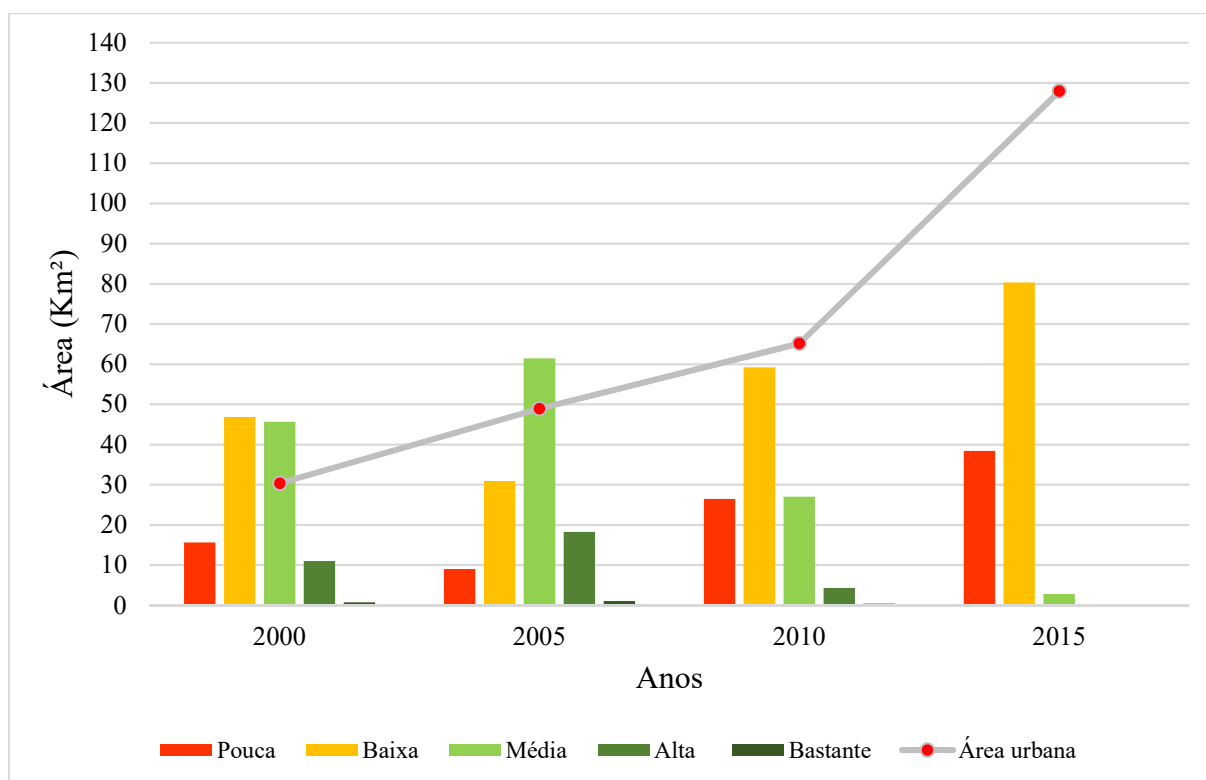
Através da análise da área representada pela área urbana do ano de 2015, Gráfico 6, foi possível perceber o comportamento do NDVI ao longo da escala temporal estudada. Foi possível verificar que em todos os estágios houve grande presença do estágio inicial na região, que representa valores entre 0,2 e 0,5. Sendo representado em 80,83%, 83,23%, 75,65% e 67,16% para os anos de 2000, 2005, 2010 e 2015. Em relação a classificação de estágio médio, valores entre 0,5 e 0,7, foi possível identificar um aumento entre os anos de 2000 (6,60%) e 2005 (10,37%), podendo está relacionado com as atividades agrícolas da região. No ano de 2010 esse percentual foi para 2,48% chegando a 0,03% em 2015. O principal fator relacionado a essa diminuição de percentual foi a expansão urbana. A quantidade de vegetação em estágio avançado, entre 0,7 e 0,8, foi próximo de 0% para todos os anos estudados na região equivalente a área urbana de 2015. Em relação a área de ausência de vegetação, <0,2, os valores podem estar correlacionados a expansão urbana e a presença de solo exposto, tornando difícil a separação desses fatores por meio da classificação de NDVI.

Gráfico 6 - Variação do NDVI ao longo da área urbana 2015



Em relação ao SAVI, Gráfico 7, foi possível verificar que em uma maior variação entre a classificação realizada. Isso se deve a presença de um maior número de classes elaborados durante a metodologia do SAVI, possibilitando um maior detalhamento das áreas equivalente ao estágio inicial no NDVI.

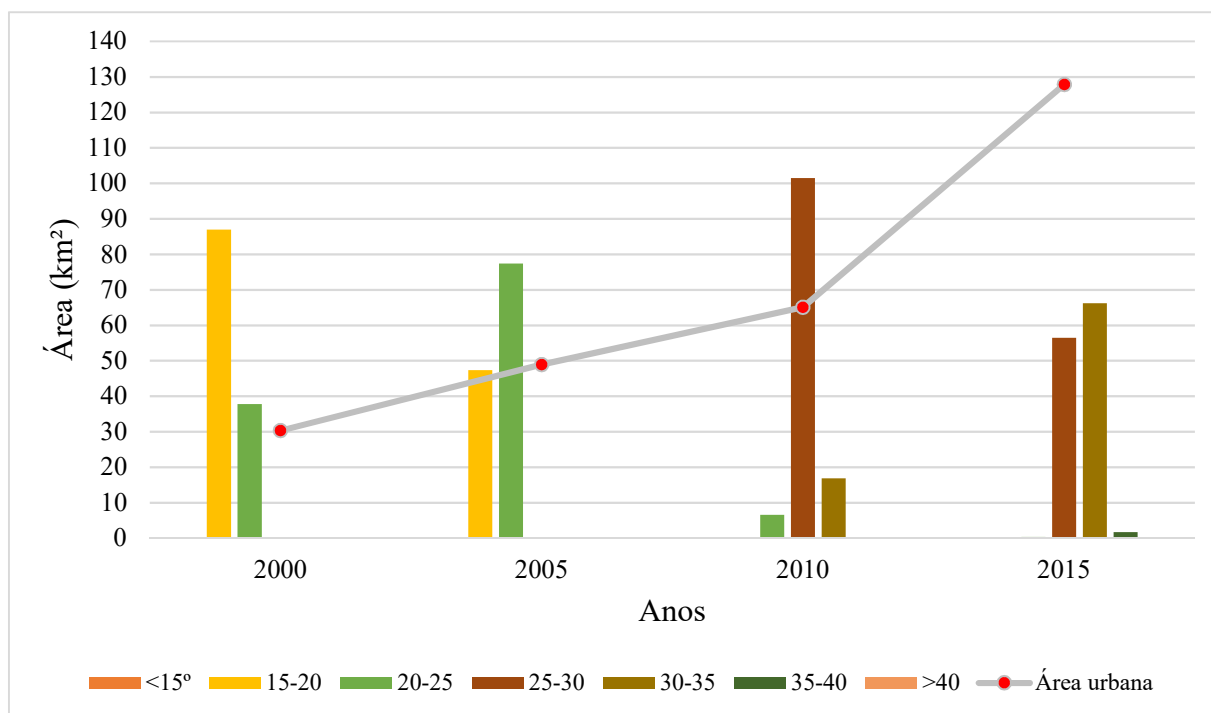
Gráfico 7 - Variação do SAVI ao longo da área urbana de 2015



Ao longo dos resultados obtidos em relação ao SAVI, para o ano 2000 foi possível identificar uma predominância de áreas de baixa e média atividade fotossintética, representados respectivamente por 39,12% e 38,07%. No ano de 2005 a área de média atividade fotossintética apresentou um aumento indo para 50,89% e a vegetação de baixa atividade foi para 25,63%. No ano de 2010 ocorreu uma inversão desse percentual, estando a área de baixa mais abrangente em 50,46% e a de média 23,05%. Em 2015 a área de média atividade era próxima de 2,3% e a de baixa 66,04. A expansão urbana ocorrida ao longo do tempo de estudo proporcionou um aumento geral nas áreas de pouca atividade fotossintética e de baixa das áreas de alta atividade fotossintética, exceto para o ano de 2005. A expansão urbana e as atividades agrícolas podem ter influenciado nos resultados obtidos devido a impermeabilização do solo e solo exposto.

Em relação a temperatura da superfície, Gráfico 8, foi possível identificar que a medida que as áreas equivalentes aos menores valores de NDVI e SAVI foram aumentando, maiores foram os valores de temperatura de superfície encontrados ao longo da região.

Gráfico 8 - Variação da temperatura de superfície ao longo da área urbana do ano de 2015



No ano 2000 foi possível identificar a predominância de temperaturas de superfície entre 15° a 20° C, sendo representado por 69,57% da região. No mesmo ano as áreas entre 20° e 25° C ficaram próximas a 30, 25% e as menores que 15°C estavam próximas de 0%. Em 2005 foi possível identificar uma diminuição da temperatura de superfície nas temperaturas entre 15° e 20° C para 37,87% e um aumento nas áreas com temperaturas entre 20 e 25°C, 61,96%. Nesse ano não foi registrado temperaturas menores que 15°C e as temperaturas entre 25° e 30°C ficaram próximas de 0%.

No ano de 2010 as temperaturas receberam um grande aumento, sendo que a superfície da região apresentou uma grande área entre 25° e 30°C, 81,10%. As temperaturas entre 20° e 25°C reduziram a ponto de representarem 5,27% da área e as temperaturas entre 30° e 35° sofreram um aumento, 13,45%. No ano de 2015, foi aquele que apresentou as maiores temperaturas de superfície. A região de 25° a 30° representaram 45,31% da região e as de 30° a 35°C representaram 53,12%. É importante ressaltar que em 2015 a área analisada é totalmente

urbana o que justifica o aumento de temperaturas, como a faixa de 35 a 40% representada por 1,33% da região.

Existem diversos aspectos que podem influenciar no aumento da temperatura da superfície terrestre. Esses fatores podem estar associados a expansão urbana e supressão de vegetação. Conforme já discutido no tópico de temperatura de superfície do presente trabalho, esses fatores podem auxiliar no aparecimento do fenômeno de ilhas de calor dentro de áreas urbanas. De acordo com Amorim, Dubreuil e Cardoso (2015), a área de cobertura vegetal de uma região é um dos fatores mais importantes para determinar a forma de distribuição da temperatura de superfície de uma região, sendo que quando maior a sua quantidade, menor a temperatura de superfície encontrada. Segundo Corrêa e Silva (2015), a supressão vegetação é um dos principais responsáveis por diversos desequilíbrios ambientais, como redução da evapotranspiração, eliminação de habitats e alteração em microclimas locais.

Visando entender o comportamento da dinâmica vegetal da região é importante analisar somente as áreas, tendo como base a área urbana de 2015, que sofreram supressão vegetal. Dessa forma, retirou-se toda a área referente a área urbana de todos os anos estudados e buscou entender o comportamento das áreas equivalentes a vegetação no mapa de uso e ocupação da superfície. Através da Tabela 12 é possível identificar o comportamento da área urbana e de vegetação ao longo da escala temporal estudada.

Tabela 12 - Quantidade de área urbana e de vegetação ao longo da área urbanizada do ano de 2015

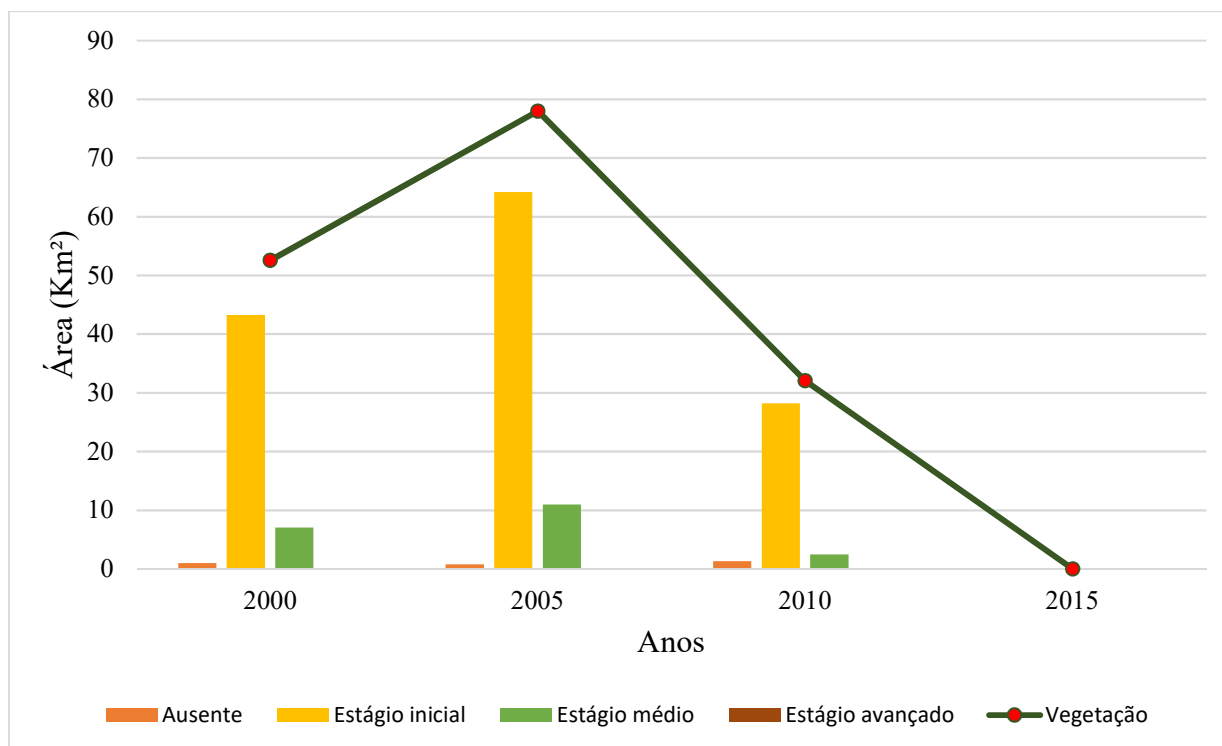
Ano	Área Urbana		Vegetação	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
2000	30,36	23,74	52,58	41,12
2005	48,92	38,25	77,99	60,98
2010	65,15	50,94	32,06	25,07
2015	127,89	100	0	0

Por meio da análise espacial da região foi possível identificar o crescimento da urbanização da região bem como da dinâmica vegetal. Em relação a área total de estudo no ano 2000 a região possuía 23,74% de área urbana e 41,12% de área de vegetação, sendo o restante da área referente a solo exposto. No ano de 2005 a região sofreu um acréscimo de 14,51% de área urbana bem como um acréscimo de 19,86% de vegetação. Em relação ao ano de 2010, foi

possível identificar um aumento da supressão vegetação da região, de 35,91%, e um aumento da expansão urbana, em 12,69%. O ano de 2015 se caracteriza com a área total estudada, sendo ela 100% urbanizada. Em relação a vegetação foi possível identificar que do ano de 2010 para 2015 ocorreu a supressão de 25,07% da vegetação da região.

O Gráfico 9 apresenta a variação do NDVI ao longo da área suprimida pela ocupação urbana ao longo da escala temporal analisada. Em todos os anos de estudo foi possível identificar a predominância de vegetação no estágio inicial na região.

Gráfico 9 - Variação de NDVI ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015



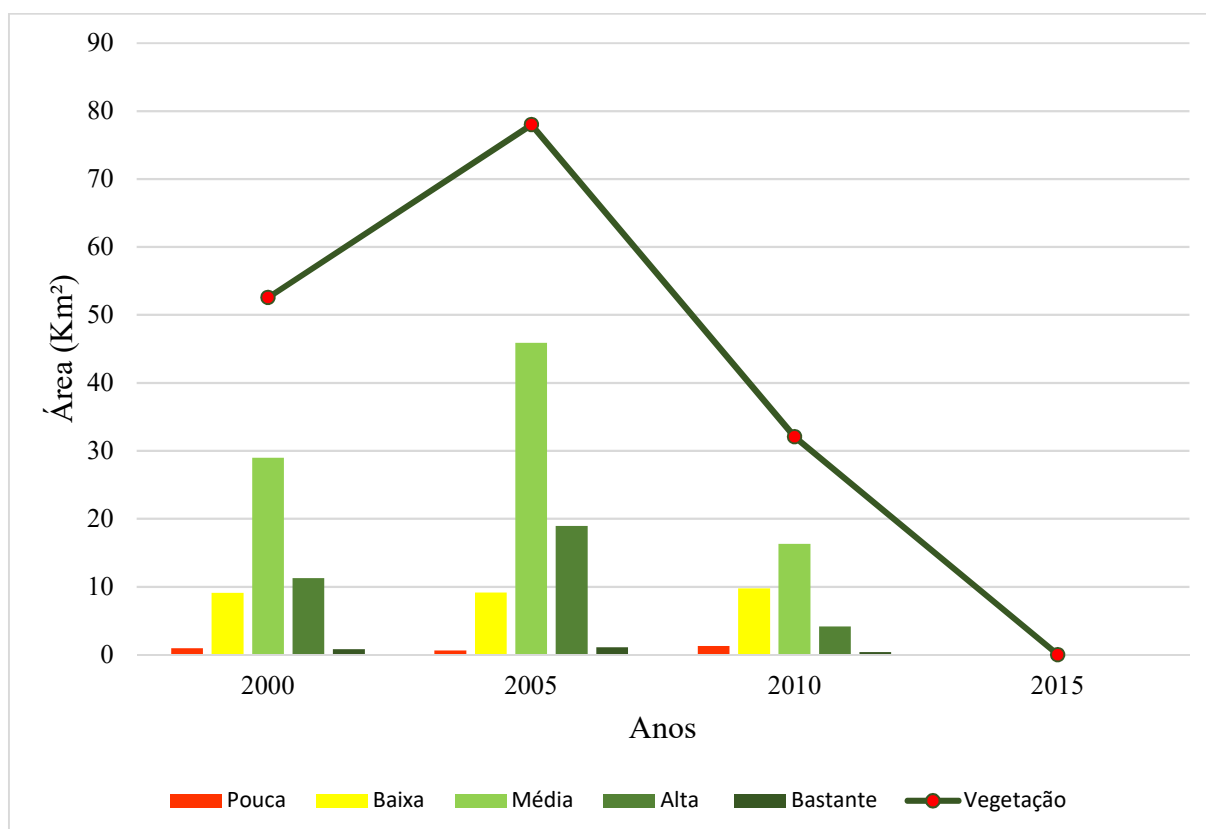
A região apresentou 84,32%, 84,57% e 87,90% de área de vegetação em estágio inicial, valores entre 0,2 e 0,5, para os anos de 2000, 2005 e 2010. Em relação a classificação de estágio médio, valores entre 0,5 e 0,7, foi possível identificar um aumento entre os anos de 2000 (13,70%) e 2005 (14,43%), podendo está relacionado com as atividades agrícolas da região. No ano de 2010 esse percentual foi para 7,70%. A quantidade de vegetação em estágio avançado, entre 0,7 e 0,8, foi próximo de 0% para todos os anos estudados na região equivalente a área urbana de 2015. Em relação a área de ausência de vegetação, <0,2, os valores podem estar correlacionados a pequenas áreas de solo exposto, principalmente relativo a áreas próximas a



uma vegetação e outra, que podem ter sido captadas pelo satélite ao longo da cobertura vegetal da região.

O Gráfico 10 apresenta a variação do SAVI ao longo da área suprimida pela ocupação urbana ao longo da escala temporal analisada. Em todos os anos de estudo foi possível identificar a predominância de vegetação no estágio de vegetação média na região.

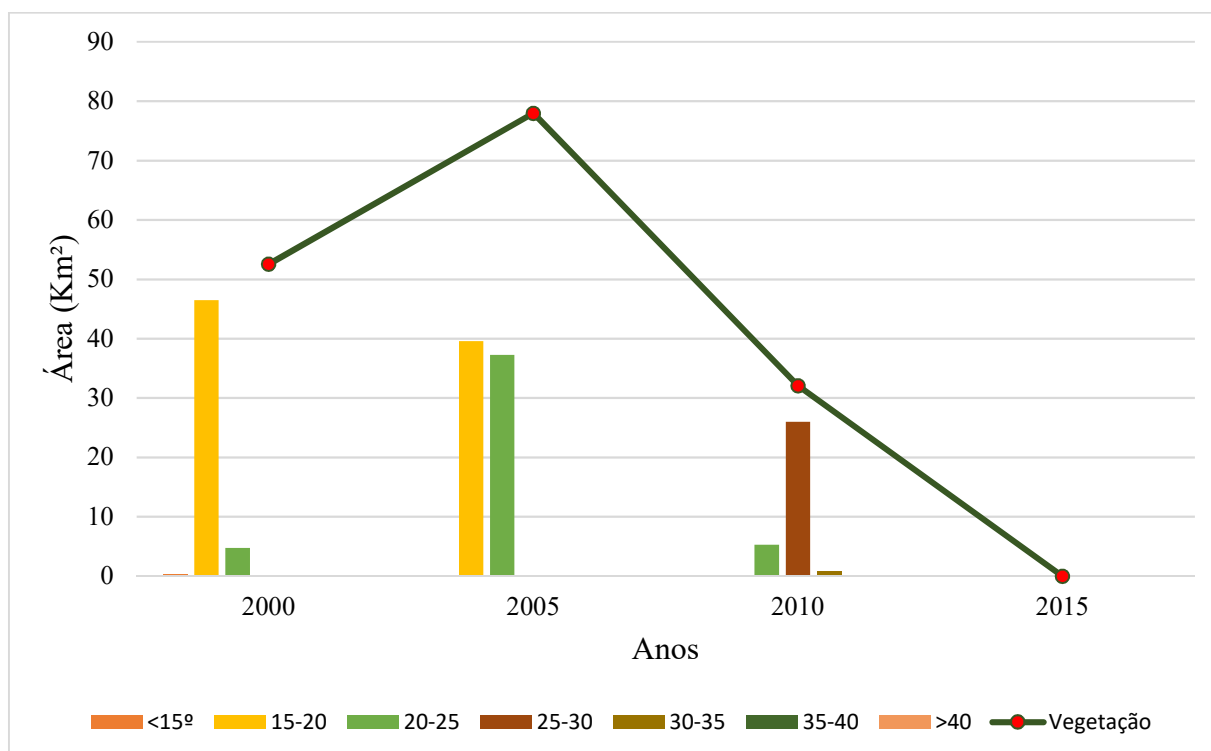
Gráfico 10 - Variação de SAVI ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015



Ao longo dos resultados obtidos em relação ao SAVI, para o ano 2000 foi possível identificar uma predominância de áreas de média atividade fotossintética, representados respectivamente por 56,74%. No ano de 2005 a área de média atividade fotossintética apresentou um aumento indo para 60,65%, devido principalmente ao aumento da área de vegetação na região. Vale ressaltar que nesse ano ocorreu um crescimento da alta vegetação na região de 3% e uma diminuição da vegetação baixa, de 5,78%. No ano de 2010 ocorreu uma diminuição da área vegetada, em toda classificação realizada, estando a área média em maior quantidade, correspondendo a 51,26% da vegetação da região.

O Gráfico 11 apresenta a variação da temperatura de superfície ao longo da área suprimida pela ocupação urbana ao longo da escala temporal analisada. Foi possível identificar uma variação da temperatura de superfície ao longo do tempo, principalmente em relação ao seu aumento.

Gráfico 11 - Variação da temperatura de superfície ao longo da área suprimida para ocupação da área urbana de 2015



No ano 2000 foi possível identificar a predominância de temperaturas de superfície entre 15° a 20° C, sendo representado por 90,48% da região. No mesmo ano as áreas entre 20° e 25° C foram próximas a 9,19% e não houve a presença das outras classes. Em 2005 foi possível identificar uma diminuição da temperatura de superfície nas temperaturas entre 15° e 20° C, atingindo 51,48% da região, e um aumento nas áreas com temperaturas entre 20 e 25°C, abrangendo 48,52% da região. Nesse ano não foi identificado a presença das outras classes de temperatura de superfície.

No ano de 2010 as temperaturas receberam um grande aumento, sendo que a superfície da região apresentou uma grande área entre 25° e 30°C, 81,11%. As temperaturas entre 20° e 25°C reduziram a ponto de representarem 16,47% da área e as temperaturas entre 30° e 35° sofreram um aumento, correspondendo a 2,40%.

Por meio da análise da expansão urbana e da análise da supressão da vegetação ao longo dos anos de estudo é possível identificar uma contribuição desses fatores para o aumento da temperatura de superfície da região. Entretanto, é necessário estudos mais específicos para estabelecer uma relação concreta entre as variáveis estudada. A análise espacial realizada permitiu entender o comportamento do uso e ocupação da superfície, principalmente a fatores relacionados a mudança da paisagem da região. De acordo com Coelho (2014), as diversas mudanças que ocorrem na forma de uso e ocupação da superfície provocados principalmente pela ação antrópica tem proporcionado grandes problemas nas paisagens. Os impactos oriundos por essas ações podem ser mitigados por meio da constante análise das regiões e o uso de informações temporais e espaciais para monitorar as modificações ocorridas em uma região.

## 6 CONCLUSÃO

Dentro da escala e resolução estudada os resultados permitiram analisar o comportamento da dinâmica vegetal da sub-bacia do ribeirão Serra Azul nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2015, sendo possível compreender o seu possível comportamento com outros fatores, como temperatura e uso e ocupação da superfície.

Com relação a biomassa florestal medida por meio do NDVI e SAVI foi possível estabelecer que a vegetação se apresentou em sua grande maioria em estágio inicial e de médio estado vegetativo. Dessa forma, a vegetação da região se caracteriza com predominância de espécies de pequeno e médio porte e de vegetação de transição. Na análise foi possível perceber que os resultados apresentados pelos dois índices se mostraram próximos, uma vez que ambos conseguiram demonstrar as mudanças ocorridas na dinâmica vegetal da região.

Entretanto, vale ressaltar que a classificação de imagem utilizada para os índices de vegetação analisados, o SAVI foi o modelo que melhor atendeu a representação da região de estudo. A reclassificação de imagem utilizada para metodologia de NDVI não se adaptou muito bem a regiões de cerrado. Dessa forma, sugere uma nova classificação baseada em regiões de cerrado e visitas a campo para realizar diferenciações de vegetações nativas de áreas de cultivos e pastagens.

Vale ressaltar que ao longo do tempo a região apresentou uma grande quantidade de solo exposto advindo principalmente das atividades presentes na região, como agricultura e mineração, bem como da expansão urbana dos municípios que compõe a sub-bacia. Essa relação foi possível de ser vista por meio do mapa de uso e ocupação da superfície elaborado, que em conjunto com os índices analisados possibilitou uma melhor visualização das mudanças de paisagens ao longo da escala temporal estudada.

Em relação a temperatura da superfície foi possível estabelecer uma possível relação entre o seu aumento e diminuição conforme a quantidade de vegetação existente. Além disso, identificou-se na literatura a importância da vegetação na manutenção de microclimas e na diminuição de eventos de ilhas de calor em uma região. Outro fator importante durante os estudos realizados foi a influência do evento El niño que pode ter auxiliado para uma maior variação de temperatura de superfície encontrado para o ano de 2015. Porém, vale ressaltar que o fenômeno não é o único fator determinante para o aumento de temperaturas, sendo necessário uma investigação mais profunda sobre os fatores geográficos que compõe a região.

Os resultados encontrados com relação a precipitação se mostraram próximos ao obtidos por outros autores que estudaram a mesma região. Apesar de vários estudos apontarem para

uma relação entre a vegetação e a precipitação, é importante ressaltar que alguns autores apontam que não é possível estabelecer uma correlação devido a heterogeneidade da paisagem da região. Apesar disso, os resultados encontrados apontam para uma linha que as diminuições da precipitação associada aos outros fatores estudados contribuíram para a diminuição da vegetação, na maioria dos casos, na área de estudo e um aumento da temperatura de superfície. Entretanto, sugere-se estudos mais aprofundados para o estabelecimento dessa relação.

## **7 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS**

Os dados levantados no trabalho podem ser utilizados como subsídios para estudos futuros realizados na região. Ressalta-se a importância de se realizar um ajuste na reclassificação de imagem do NDVI de modo que ele possa representar da melhor forma o bioma de cerrado. Para isso, sugere-se consulta de classificações na literatura e visitas a campo para melhor análise do índice para diferenciação de vegetação na paisagem da região.

Recomenda-se para isso, o uso de imagens de resoluções melhores, como de 10 m ou de 5 m, para um maior detalhamento do uso e ocupação da superfície da região de estudo, principalmente para diferenciar áreas de vegetação natural, pastagens e áreas de cultivo. Concomitantemente sugere-se análises estatísticas para uma melhor visualização da relação existente entre os parâmetros analisados bem como a criação de índices.

Além disso, sugere-se visitas a campo para realização de diagnósticos e análises para possível comparação com os dados obtidos por meio dos sensores utilizados na pesquisa. Por meio de visitas a campo é possível realizar análises mais específicas sobre a biomassa, por meio de equações de estocagem de carbono e índice de área foliar, da região e estabelecer formas contribuição da vegetação para a manutenção da paisagem da região.

## 8 REFERÊNCIA

ABREU, L. V. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas**. 2008.154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R. **SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land**. Advance Training and User's Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002, 97p.

AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em presidente prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 16, n. 11, p.29-45, jun. 2015.

ANA. **Portal HidroWeb**. 2005. Disponível em:  
<<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2010. 332p

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.

BASSO, J. M.; CORRÊA, R. S. Arborização urbana e qualificação da paisagem. **Paisagem e Ambiente**, n. 34, p. 129-148, 2014.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p.125-134, jun. 2009.

BORATTO, I. M. de P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: Inpe, 2013.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, SP, 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004.

CERQUEIRA, K. F.; SANTOS, F. A. Análise da cobertura vegetal, dos aspectos econômicos e a degradação ambiental do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Piauí), nordeste do Brasil. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 11, n. 26, p.160-172, ago. 2017.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, n. 41, p. 2674–2677, 2003

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999, 215 p.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura De Superfície Celsius Do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia e Aplicações. **Revista Geografia Acadêmica**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p.31-45, 2013.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-AGRIAMBI**, v. 18, n. 1, 2014.

COPASA. **Volume do reservatório Serra Azul mês a mês entre 2014 e 2017**. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/abastecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

CORRÊA, R S; SILVA, R V B. Ocupação urbana e degradação ambiental: ocupação, simbolismo e cidadania ambiental no bairro do Paraíso, Mosqueiro-PA. **Revista Perspectivas do Desenvolvimento**, v. 3, n. 04, 2015.

CPTEC/INPE. **Possível ocorrência de el niño durante OND-2018**. 2018. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 07 out. 2018.

CUNHA, N. R. S.et al. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

DA CUNHA, G. R. et al. El Niño/La Niña-Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.

DATT, B. Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, and total carotenoid content in Eucalyptus leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 01, n. 66, p.111-121, 1998.

EMIDIO, T. M.; COIMBRA, J. A. A. **Meio ambiente & paisagem**. Senac, 2017.  
EIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento remoto de três parâmetros biofísicos de trigo e de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.10. p.1615-1624,1991.

EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERNANDES, M. R. M. et al. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015.

FERNANDES, A. C. G. et al. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno Ciências Agrária**, v. 8, n. 2, p.30-40, 2016.



- FERREIRA, M. E. et al. **Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética.** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, p.505-512, 2005.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3ª ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2011. 128p.
- \_\_\_\_\_. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 97 p.
- FORKEL, M. et al. Trend change detection in NDVI time series: Effects of inter-annual variability and methodology. **Remote Sensing**, v. 05, n. 05, p. 2113-2144, 2013.
- GANDHI, G. M. et al. NDVI: vegetation change detection using remote sensing and GIS—a case study of Vellore District. **Procedia Computer Science**, v. 57, p. 1199-1210, 2015.
- GAO, X., HUETE, A. R., Ni, W., MIURA, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p 609–620, 2000.
- GARLET, B. et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo da micro bacia hidrográfica Nossa Senhora de Lourdes, em Santa Maria - RS. **Disciplinarum Scientia: Série: Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p.235-243, nov. 2013.
- GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Intercepção da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.
- GOMIDES, L. **Proteção do reservatório de Serra Azul.** Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, 1980. 222 p.
- HAMADA, E. **Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 52 p.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v 25, n 3, p 295-309, 1988.
- HUETE, A; JUSTICE, C. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document. **NASA**, v. 03, p 1-120, 1999.
- HUETE, A.R., LIU, H. Q, BATCHILY. K., VAN LEEUWEN, W.J.D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p 440-451, 1997.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.

IBGE. **Informações sobre o clima do Brasil: Dados vetoriais**. 2002. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 08 set. 2018.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. **Anais**, p. 1-22, 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

LABAKI, L. C. et al. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, 2013.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p.1454-1469, dez. 2015.

MARCUSS, A. B. et al. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p.41-53, set. 2010.

MEIRELLES, M. S. P. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-Ce. **Ra´e Ga**, Curitiba, v. 23, p.520-533, 2011.

MELLO; BUENO; PEREIRA. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 315-322, 2006.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2013. 576 p.

MINAS GERAIS. **Portaria IGAM N° 014, de 08 de abril de 2015**. Declara situação crítica de escassez hídrica superficial na porção hidrográfica localizada no reservatório Serra Azul e a sua bacia de contribuição. Publicação. Diário do Executivo, 09 abr. 2015. Disponível em:<[http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2015\\_ARQUIVOS/ESCASSEZ/DECLARA\\_COES/Portaria\\_IGAM\\_n\\_014.2015.pdf](http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2015_ARQUIVOS/ESCASSEZ/DECLARA_COES/Portaria_IGAM_n_014.2015.pdf)> Acesso em: 20 ago. 2017.

MINUZZI, R. B. **Influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos veranicos do estado de Minas Gerais**. 2003. 96f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.

MORAES, E. C. **Fundamentos De Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, INPE, 2002.

NEVES, B. V. B. **Geoprocessamento como ferramenta no estudo de correlação entre a dinâmica da cobertura vegetal e a evapotranspiração na bacia do Ribeirão Serra Azul - Mg**. 2005. 229 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

NEVES, B. V. B.; VERSIANI, B. R.; RODRIGUES, P. C. H. Geoprocessamento como Ferramenta no Estudo de Correlação entre a Dinâmica da Cobertura Vegetal e a Evapotranspiração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p.87-102, out. 2007.

NEVES, S. M. et al. Análise geoambiental do município de Uruçuí-PI. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 1, 2015.

NOOA. **El Niño Southern Oscillation (ENSO)**. 2018. Disponível em: <[https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/past\\_events.html](https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/past_events.html)>. Acesso em: 07 out. 2018.

OLIVEIRA, B. S. et al. **Análise da dinâmica da evapotranspiração, precipitação e NDVI no Cerrado brasileiro entre 2001 e 2013 utilizando dados MODIS e TRMM**. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 18, 2017, Santos. Anais. Santos: Inpe, 2017. p. 4071 - 4078.

PBH, Prefeitura de Belo Horizonte. **Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/2015**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2013. I/IIv.

PERLMAN, H.; EVANS, J. **The Water Cycle - USGS**. Disponível em: <<https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160 p.

PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. In: MENESES, R.; MADEIRA NETTO, J. S. Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UNB, Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2001. p. 157-199.

PRELA, A. **Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na produtividade de trigo no estado do Paraná**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.

RODRIGUES, V. A. et al. Avaliação do Escoamento e Interceptação da Água Das Chuvas. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p.1-13, 2015.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p.

RÊGO, S. C. A. et al. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 4, p.1217-1229, 2012.

ROUSE, J.W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proceedings of the third erts symposium**, SP-351 Goddard Space Flight Center, Washington: NASA, p. 309–317, 1973.

ROUSE, J.W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W; HARLAN, J. C. Monitoring the venal advancement and retro gradation (green wave effect) of natural vegetation. In: **NASA/GSFC Type III Final Report**, Greenbelt, 1974, 371 p.

SALLES, M. C. T. et al. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN-Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, 2013.

SANQUETTA, C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). *As florestas e o carbono*. Curitiba, p.119- 140, 2002.

SANTOS, J. A. E. OLIVEIRA; APARECIDO, D.; ZIMBACK, C. R. L. Imagens do Landsat-8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 30-36, 2015.

SILVA, V. P. R; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região nordeste do brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 172, n. 163, p.24-38, jun. 2012.

SILVA, O. F. **Processamento digital de imagens NDVI para classificação das fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 17 2015, João Pessoa. Anais. Santos: Inpe, 2015. p. 5506 - 5513.

SILVEIRA, G. R. P. et al. Geoprocessamento aplicado na espacialização da capacidade de uso do solo em uma área de importância agrícola. **Energia na agricultura**, v. 30, n. 4, p. 363-371, 2015.

SOUZA, S. M. **Mapeamento e avaliação da vegetação urbana da cidade de Vitória - ES, utilizando geotecnologias**. 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2011.

SOUSA, S. B. A. de; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Ra e Ga**, Curitiba, v. 26, n. 00, p.75-99, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre. Ed. UFRGS/ABRH. 2012. 941p.

TUCKER, J. C., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 08, p. 127-150, 1979.

USGS. **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>>. Acesso em: 06 jul. 2018.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p.970-979, mar. 2010.

VOOGT, J. A., OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, 86, 70-384. 2003.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Variabilidade Espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p.347-354, 2012.