



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS
EXATAS



Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

DINÂMICA ESPACIAL DAS ÁREAS ÚMIDAS E LAGOAS TEMPORÁRIAS DA
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ITIRAPINA

Aluno: Guilherme Whyte Afonso Ferreira

Orientadora: Prof. Dra. Vânia Sílvia Rosolen

Co-orientadora: Elizandra Goldoni Gomig

Rio Claro (SP)

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

GUILHERME WHYTE AFONSO FERREIRA

DINÂMICA ESPACIAL DAS ÁREAS ÚMIDAS E LAGOAS
TEMPORÁRIAS DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ITIRAPINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Rio Claro - SP

2018

F383d

Ferreira, Guilherme Whyte Afonso

DINÂMICA ESPACIAL DAS ÁREAS ÚMIDAS E LAGOAS TEMPORÁRIAS DA
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ITIRAPINA / Guilherme Whyte Afonso Ferreira. -- ,
2018

65 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (-) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,

Orientadora: Vânia Silvia Rosolen

Coorientadora: Elizandra Goldoni Gomig

1. Áreas úmidas. 2. Lagoas temporárias. 3. Cerrado. 4. NDVI. 5. Geoprocessamento.

I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas,
Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

GUILHERME WHYTE AFONSO FERREIRA

DINÂMICA ESPACIAL DAS ÁREAS ÚMIDAS E LAGOAS TEMPORÁRIAS DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ITIRAPINA

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Vânia Silvia Rosolen (orientador)

Dhemerson Estevão Conciani da Costa

Carlo Junqueira Margotto Soares

Rio Claro, 27 de Novembro de 2018.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Não teria outra forma de iniciar os agradecimentos que não fosse à minha família. Sem a consolidada base que me foi passada pelos meus pais, Ester e Pedro, não seria nada do que sou. Foram, e ainda são, os melhores exemplos para minha formação, não só acadêmica como Engenheiro Ambiental, mas para a vida e como ser humano. Não há palavras que possam descrever a minha gratidão pelos valorosos ensinamentos de ambos, abrindo meus olhos para o mundo, e por todo amor, carinho, apoio e incentivo que sempre transbordou, um enorme obrigado! À minha irmã, que não só viveu junto comigo todos esses ensinamentos, mas que continuará comigo quando eu for passá-los adiante.

À minha namorada, Bia, companhia que escolhi há mais dez anos. Companheirismo e amor definem nossa relação e só agradeço por ter te encontrado tão cedo, compartilhando metade da minha vida com você e ansioso pra muito mais.

Aos amigos que a vida me deu: VV, Escola Comunitária de Campinas, Secretaria de Meio Ambiente de Rio Claro, República Refúgio/Criadones e agregados, turma de 2012 da Engenharia Ambiental... Só agradeço pelos maravilhosos momentos, churrascos, viagens, jogos, brincadeiras e por sempre estarem ao meu lado dando de apoio, sem vocês tudo seria mais difícil. Conto com cada um de vocês pro resto da vida. Um abraço especial a todos que me ajudaram nesse projeto que não foram poucos, dando assistência com os bugs e dificuldades que vieram com sensoriamento remoto, com as normas ABNT e com toda colaboração que veio com muita gentileza. Valeu pessoal, facilitaram demais o trabalho!

Às minhas orientadoras Vânia e Elizandra, e ao Dhemerson das Estações de Itirapina, por todas as conversas, discussões, ideias, experiências transmitidas, dados fornecidos, disponibilidade e abertura em me ajudar com o atual projeto de pesquisa aqui percorrido.

E por último ao cachorro mais doido e carinhoso que esse mundo já viu, Brisola! Pulou da rua, pra dentro do carro e depois pro coração. Todo dia me mostrando o amor puro de um cachorro.

RESUMO

Baseado na variedade de feições do bioma Cerrado encontrados no sítio de estudo, incluindo a presença de Áreas Úmidas (AUs) e ocorrência sazonal de Lagoas Temporárias (LTs), é fácil afirmar que a área de estudo tem enorme relevância ambiental. Ambientes como o encontrado na Estação Ecológica de Itirapina (EEcl) são cada vez mais escassos no Brasil, principalmente no Sudeste. Há muito foram invadidos por monoculturas agropecuárias, sem que houvesse objeção do governo até 2012 com o Novo Código Florestal, devastando assim a maioria das paisagens naturais da região. Por estar enquadrada como uma Unidade de Conservação no SNUC, o fragmento estudado está protegido por lei, mas ainda sofre impactos provenientes da ação antrópica em seu redor. O presente trabalho visou avaliar e compreender a dinâmica espacial das AUs e LTs da Estação Ecológica de Itirapina através da delimitação manual das LTs e da aplicação do índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para evidenciar as variações nas AUs. Imagens utilizadas foram retiradas do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), sendo essas dos sensores TM (1985-2011), ETM+ (2012-2015) e OLI (2016-2017) gerados pela série Landsat com resolução espacial de 30 m. Para isso, foram consultadas a literatura em relação à: geologia e hidrologia da região, os aspectos da legislação brasileira quanto à preservação do Cerrado e das AUs, sensoriamento remoto, análise de dados pluviométricos, Cerrado brasileiro e influências climáticas no Sudeste. Os resultados indicaram uma estreita relação, entre a pluviometria total obtida na estação chuvosa (novembro a março) e a manifestação das lagoas temporárias. Tal relação é diretamente proporcional: quanto mais água precipitada na estação chuvosa, maior a área das LTs. Além disso, a ocorrência dos fenômenos climáticos de El Niño e La Niña explicam, respectivamente, a maioria das elevações e quedas no total de precipitação obtido entre novembro e março. A aplicação do NDVI acusou aumento da complexidade do ambiente ao longo da análise multitemporal, com valor máximo obtido no ano de 2016. Indicando que as AUs regrediram visto que o tipo de vegetação condizente com o aumento da complexidade do habitat não é característica dessas áreas. Dado que as AUs e LTs da EEcl são fundamentais para a manutenção da biodiversidade, conservação das fisionomias e para o equilíbrio no ambiente, qualquer alteração, seja natural ou antrópica podem interferir na sua função ambiental.

Palavras chaves: Áreas úmidas, lagoas temporárias, Cerrado, NDVI, geoprocessamento, influências climáticas.

ABSTRACT

Based on the variety of features of the Cerrado biome encountered at the study site, including the presence of wetlands (AUs) and seasonal occurrence of Temporary Ponds (LTs), it's easy to affirm that the study area has an enormous environmental relevance. Environments such as found in the Ecological Station of Itirapina (EEcl) are increasingly scarce in Brazil, especially in the Southeast. Those have been taken over by farming and livestock monocultures without the government objecting until 2012 with the New Forest Code, thus devastating most of the region's natural landscapes. Considering it is classified as a Conservation Unit in the National System of Conservation Units (SNUC), the studied fragment is protected by law, but still suffers impacts from the anthropic action in its surroundings. The present work aimed to evaluate and understand the spatial dynamics of the AUs and TLs of Itirapina Ecological Station through the manual delimitation of LTs and the application of NDVI vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index) to evidence the variations in the AUs. Images used were collected from the United States Geological Survey (USGS), TM (1985-2011), ETM + (2012-2015) and OLI (2016-2017) provided by Landsat series with spatial resolution of 30m. For this to be done, literature was consulted regarding: geology and hydrology of the region, aspects of Brazilian legislation regarding the preservation of Cerrado and AUs, remote sensing, precipitação data analysis, Brazilian Cerrado, climatic influences in the Southeast. Results indicated a close relationship between the total precipitation obtained during the rainy season (November to March) and the manifestation of the temporary ponds. This relationship is directly proportional, the more precipitated water in the rainy season, the larger the LT area. In addition, the occurrence of weather phenomenons El Niño and La Niña explain, respectively, most of the rise and fall in the total precipitation obtained between November and March. The application of the NDVI accused that the complexity of the environment increased towards late years of the multitemporal analysis, with maximum value obtained in 2016. Indicating that AUs have regressed since the type of vegetation that has prevailed is not characteristic of these areas. Since the wetlands and temporary ponds of the EEcl are critical to the maintenance of biodiversity, conservation of the physiognomies and for the environments equity, any modification, natural and anthropic can lead cease their environmental function altogether.

Key words: Wetlands, temporary ponds, Cerrado, NDVI, precipitation, climatic influences.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.	15
Figura 2. Mapa de acesso às Estações Ecológica e Experimental de Itirapina.....	16
Figura 3. Mapa de Vegetação Estações Ecológica e Experimental.	19
Figura 4. Fitofisionomias do Cerrado.	21
Figura 5. Esquema simplificado – geomorfologia do estado de São Paulo.....	22
Figura 6. Mapa geológico da UC de Itirapina	23
Figura 7. Mapa Hipsométrico da UC de Itirapina	24
Figura 8. Mapa Pedológico da UC de Itirapina	25
Figura 9. Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	27
Figura 10. Sub-bacia do rio Jacaré-Guaçu.....	28
Figura 11. Malha hidrográfica da área de estudo.....	29
Figura 12. Polígonos para delimitação das LTs.....	33
Figura 13. Localização das estações pluviométricas na região de estudo	36
Figura 14. Projeções regionalizadas de mudanças na temperatura (°C).....	42
Figura 15. Área plana e de baixa elevação sujeita a inundação durante período de chuvas.....	44
Figura 16. Preparação para iniciar a descrição dos perfis vegetativos e topográficos.....	45
Figura 17. Tradagem e sequência pedológica das amostras retidas	46
Figura 18. Tradagem e sequência pedológica das amostras retidas.	46
Figura 19. Perfis topográfico, de vegetação e de solo nos diferentes compartimentos de paisagem (platô, transição e depressão topográfica úmida).....	50
Figura 20. Distribuição espacial do NDVI nas AUs da EEcl no período de 1985 - 1999.....	52
Figura 21. Distribuição espacial do NDVI nas AUs da EEcl no período de 2011 - 2016.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição das fisionomias da EEcl.	20
Gráfico 2. Climograma de Itirapina.	26
Gráfico 3. Pluviometria acumulada na estação chuvosa.....	37
Gráfico 4. Média corrida de 5 dias do Índice de Oscilação Sul (IOS).....	38
Gráfico 5. Ocorrência de El Niño e La Niña através do índice ONI (1950-2015)	39
Gráfico 6. Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar, média entre 5N a 5S	41
Gráfico 7. Variação da área total das Lagoas Temporárias	48
Gráfico 8. Influência da Precipitação nas Lagoas Temporárias.....	49
Gráfico 9. Valores de NDVI médio obtidos entre 1985 e 2016.....	56
Gráfico 10. Relação entre NDVI Médio e Desvio Padrão	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Satélites e sensores empregados para o dimensionamento das áreas de interesse.	31
Tabela 2. Intervalos de reflectância com as respectivas classes e alvos de superfície.	35
Tabela 3. Intensidade de El Niño e La Niña (1951-2018).	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	14
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
3.1 Área de estudo e as Unidades de Conservação.....	15
3.2 Vegetação.....	18
3.3 Geologia e Relevô.....	21
3.4 Clima.....	25
3.5 Hidrografia.....	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Levantamento Bibliográfico.....	30
4.2 Atividades de Laboratório.....	30
4.2.1 Aquisição de dados orbitais.....	30
4.2.2 Processamento dos dados orbitais para cálculo de LTs e NDVI.....	31
4.2.2.1 Cálculo das áreas das Lagoas Temporárias.....	32
4.2.2.2 Estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	33
4.2.2.3 Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e caracterização das áreas úmidas de Cerrado	35
4.3 Aquisição dos dados pluviométricos.....	35
4.4 Influência do El Niño e La Niña no Sudeste durante o período de estudo	37
4.5 Influência das mudanças climáticas no Sudeste durante o período de estudo	41
4.6 Atividades de campo.....	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO	65

1 INTRODUÇÃO

“Áreas Úmidas são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados ou com solos encharcados. As águas podem ser doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptados à sua dinâmica hídrica” (JUNK et al., 2013).

No Brasil, áreas úmidas (AUs) são encontradas em diversos biomas e se diferem principalmente em relação aos fatores: qualidade de água, teor de sal, altitude e dinâmica do fluxo (intensidade, sazonalidade, amplitude, período de alagamento, fonte de alimentação). Algumas categorias que podem ser citadas são: (a) áreas alagáveis ao longo de grandes rios de diferente qualidade de água (águas brancas: várzeas, pretas e claras: igapós), (b) baixios ao longo de igarapés de terra firme, (c) áreas alagáveis nos interflúvios (campos, campinas alagáveis, campos úmidos, veredas, campos de murundus, brejos, florestas paludosas) e (d) áreas úmidas do estuário (mangues, banhados e lagoas costeiras). Todos os tipos de áreas úmidas devem receber tratamento específico na forma da lei, para absorver os avanços científicos e permitir o uso adequado desses ambientes (JUNK et al., 2011a).

Junk et al. (2013) propuseram a seguinte classificação para as AUs brasileiras. O primeiro nível hierárquico foi diferenciado em 3 sistemas: (1) AUs costeiras (manguezais, lagoas de água doce, matas alagadas, apicuns); (2) AUs interiores (veredas, buritizais, taboais, igapós); (3) AUs antropogênicas (tanques de piscicultura, açudes, plantios de arroz em tabuleiros, represas de hidrelétricas). O segundo nível hierárquico baseia-se em parâmetros hidrológicos e é composto por 5 subsistemas, 2 ordens e 2 subordens. A diferenciação em ordens e subordens enfatiza a dinâmica hidrológica, que é o principal elemento da definição das AUs, e por isso tem a função chave na classificação. Esta diferenciação já foi usada na classificação das AUs amazônicas (JUNK et al., 2011a). O terceiro nível hierárquico se baseia na ocorrência de plantas superiores e na estrutura de suas comunidades, sendo dividido em classes, subclasses e macrohabitats (Anexo).

Segundo Junk et al. (2013), embora as áreas úmidas (AUs) ocupem grande extensão geográfica (total estimado entre 8,3 e 10,2 milhões de km² no Brasil) e apresentam imensa diversidade biológica e importância econômica, estas raramente são mencionadas na legislação federal, nas constituições estaduais ou na legislação ambiental. Não existe uma política nacional

que regularize sua proteção e gestão. No Brasil, da porção original de 2 milhões de km², foram perdidos quase metade, restando apenas 956.654 km² em 2011 (BRASIL, 2011).

Os políticos e os planejadores urbanos consideram áreas úmidas como áreas pouco valorizadas que por vezes são usadas como lixões ou áreas de expansão urbana e de infraestrutura, como abertura de estradas. Em muitas regiões, as agroindústrias modernas destruíram as zonas úmidas e, conseqüentemente, seus múltiplos benefícios, convertendo grandes áreas em terras agrícolas. No sul e sudeste do Brasil, essa transformação já é extensiva. A redução do efeito tampão promovido por esses ambientes, juntamente com o aumento do escoamento superficial devido a retirada da vegetação nativa, leva a inundações anuais catastróficas, deixando muitas vítimas e grandes perdas de bens públicos, privados e ambientais (JUNK et al., 2013).

Neste contexto de abandono de áreas com papel fundamental para a biodiversidade e para a economia, foi criada a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, mais conhecida como Convenção de Ramsar. Essa Convenção é um exemplo de tratado intergovernamental com o intuito de preservar as áreas úmidas. Estabelecido em fevereiro de 1971, na cidade iraniana de Ramsar, está em vigor desde 21 de dezembro de 1975. No ano de 1993, o Brasil optou por adotar a Convenção de Ramsar (promulgada pelo Decreto nº 1.905, de 16 de maio de 1996), somando-se aos 150 países que são signatários do tratado (BRASIL, 2011). A Convenção motivou as ações internacionais para a conservação e o uso sustentável das áreas úmidas e de seus recursos naturais.

Atualmente, em diversos países do mundo (e. g. Estados Unidos e Nova Zelândia) esforços vêm sendo realizados para cessar os impactos, mitigar e recompor as áreas úmidas já degradadas pela conversão em outros usos (MITSCH et al., 2006). No Brasil, a compreensão da complexidade do meio ambiente se intensificou durante a segunda metade do século XX, juntamente com a iminente necessidade de mudança. Assim, levaram à criação de órgãos ambientais a fim de regularizar a exploração de recursos naturais. No mesmo contexto, o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 afirma:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 2º - Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (BRASIL, 1988).

Porém, nem todos os ecossistemas são considerados pela Legislação Ambiental. O atual Código Florestal, por exemplo, reconhece que Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reserva Legal (RL) e Unidades de Conservação (UCs) por serem representações de vegetação nativa, protegendo os corpos d'água, paisagens, solo e biodiversidade. Estes sistemas devem ser preservados em prol do bem-estar humano e do meio ambiente.

Historicamente, as áreas especialmente protegidas são distintas. O primeiro Código Florestal criado em 1934 preservava apenas a cobertura vegetal. A APP apenas foi definida no Código de 1965 por uma estreita área de 5 m ao longo de rios e lagos artificiais. Ambos Códigos não consideram as definições das categorias de AUs, complicando ainda mais as ações de preservação.

Esse período dúbio em relação às definições de preservação nas leis brasileiras foi convenientemente aproveitado para a expansão das monoculturas agrícolas no país. Em 1989 mudanças no Código estabeleceram a proporcionalidade das APPs com o nível máximo de inundação dos rios. Somente em 2002, o status, a importância e a regulamentação das APPs foram determinadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

As zonas úmidas fornecem muitos serviços para a sociedade, como armazenamento de água, amortecimento de vazões de rios e córregos, recarga de águas subterrâneas, retenção de sedimentos, purificação de água, regulação de microclima, recreação e ecoturismo, armazenamento de carbono orgânico, produção de madeira, plantas medicinais, água potável para os seres humanos e pecuária. Além disso, contribuem para a proteção cultural, fornecendo lar para as comunidades tradicionais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Visando a importância do estudo das áreas úmidas, o presente projeto propôs a análise temporal da dinâmica das AUs e lagoas temporárias da Estação Ecológica de Itirapina no período de 1985 a 2017, buscando compreender a sua variação, considerando as estações úmidas (novembro a março) e secas (junho a setembro) anuais. Para isso, foram cruzados dados de precipitação e de sensoriamento remoto.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar e compreender a dinâmica espacial das áreas úmidas (AUs) e das lagoas temporárias (LTs), ambas localizadas na Estação Ecológica de Itirapina, utilizando-se, para tanto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e outras ferramentas do sensoriamento remoto para a delimitação da área das LTs, respectivamente.

Objetivos específicos:

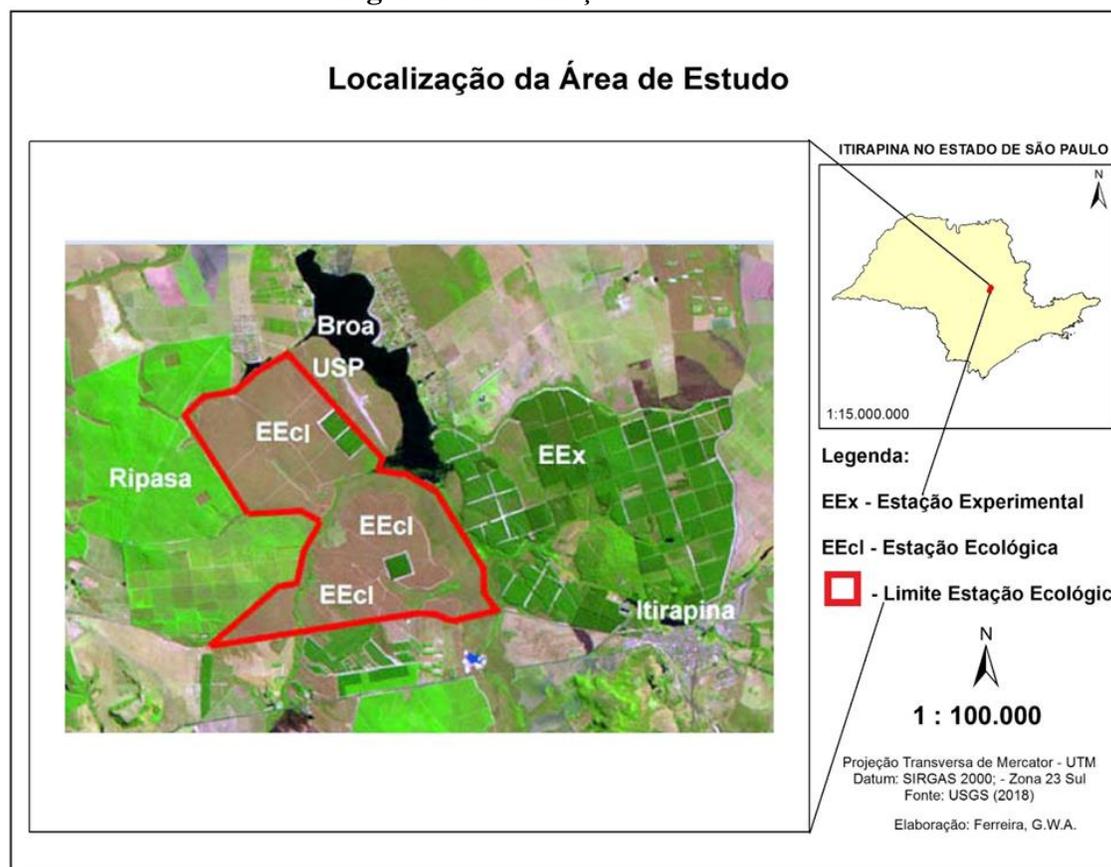
- Verificar possíveis causas das variações estacionais e espaciais das áreas úmidas e lagoas temporárias por meio da análise multitemporal, auxiliada por sensoriamento remoto;
- Relacionar variações em área total das AUs e LTs com dados pluviométricos, assim como com as mudanças e fenômenos climáticos mundiais, com enfoque nas consequências para o Sudeste;
- Relacionar o NDVI com a dinâmica temporal da vegetação e das áreas úmidas;
- Produzir base de dados para futuras análises ambientais.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Área de estudo e as Unidades de Conservação

A área de estudo corresponde a Estação Ecológica de Itirapina (EEcl) ($22^{\circ} 13' 10''$ S / $47^{\circ} 53' 54''$ O) que faz parte da Unidade de Conservação (UCs) conjugada com a Estação Experimental de Itirapina (EEx) sob administração do Instituto Florestal (IF) e estão localizadas na região Sudeste do Estado de São Paulo (Figura 1), cuja extensão (2.300 ha) representa 7,92% da área do município de Itirapina e 1,08% da área do município de Brotas. A UC está situada na região da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta bacia ocupa uma área de cerca de 1.600.000 km² com precipitação anual média de 1.459 mm (ZANCHETTA et al., 2006).

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2018.

A área de estudo pode ser acessada através da rodovia Washington Luiz (sentido interior) até a cidade de Corumbataí, onde através da saída 206B, deve-se seguir pela rodovia BR-369 até

a saída 97 para o município de Itirapina (Figura 2). A partir da entrada no município, os acessos se dão por meio de estradas secundárias, asfaltadas e de fácil acesso.

Figura 2. Mapa de acesso às Estações Ecológica e Experimental de Itirapina.



Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

Segundo Vicente et al. (2005), as Estações Ecológica e Experimental de Itirapina representam um dos mais importantes fragmentos de fisionomias abertas de cerrado do estado de São Paulo.

No Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, a degradação ambiental e a instalação de grandes áreas de monoculturas vêm colocando em risco uma série de espécies endêmicas, principalmente aquelas muito sensíveis a alterações ambientais. No Estado de São Paulo, o bioma sofreu uma drástica redução durante o período compreendido entre os anos de 1962 a 1992, da ordem de 87% (KRONKA, 1998).

Em São Paulo, a vegetação do Cerrado chegou a ocupar 14% da área total do estado. Em 2005 os remanescentes ocupavam o equivalente à 0,83% do estado (KRONKA et al., 2005). Destes, apenas 18% estão efetivamente protegidos por Unidades de Conservação e áreas de reserva legal (KRONKA et al., 2005).

Considerando as informações citadas, a Estação Ecológica de Itirapina é fundamental para a preservação do Cerrado paulista, das áreas úmidas e dos lagos temporários associados a ela. Esclarecidos a falta de esforços governamentais para sua proteção e a extensão do território deste bioma já devastado pela agricultura e outros usos antrópicos, fica evidente a importância ambiental da área na qual o presente estudo foi realizado.

De acordo com definição da Fundação Florestal, e com base na legislação nacional do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), “a Estação Ecológica tem como objetivo a preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas. Apresentam no mínimo 90% da área destinada à preservação integral da biota. É de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites foram desapropriadas, de acordo com o que dispõe a lei.”. Somente é permitida a visitação pública quando com objetivo educacional.

De acordo com o SNUC, na Estação Ecológica só podem ser permitidas alterações dos ecossistemas no caso de:

- “1. Medidas que visem a restauração de ecossistemas modificados;
2. Manejo de espécies com o fim de preservar a diversidade biológica;
3. Coleta de componentes dos ecossistemas com finalidades científicas;
4. Pesquisas científicas cujo impacto sobre o ambiente não seja maior do que aquele causado pela simples observação ou pela coleta controlada de componentes dos ecossistemas, em uma área correspondente a no máximo três por cento da extensão total da unidade e até o limite de um mil e quinhentos hectares.”

A Estação Ecológica de Itirapina possui como elemento dominante áreas abertas de Cerrado, tipicamente savânicas e campestres, constituindo-se de um mosaico de ambientes abertos. É importante mencionar que, no Estado de São Paulo, estas fisionomias foram amplamente convertidas em pastagens e campos de cultivo. Seu solo arenoso, muito bem drenado e sua superfície plana ou de pequenas elevações foi desprezado ecologicamente pelos colonizadores paulistas e pouco sobrou para ser protegido. A Estação Ecológica de Itirapina é assim uma amostra fitogeográfica de raro valor que protege este tipo de paisagem.

3.2 Vegetação

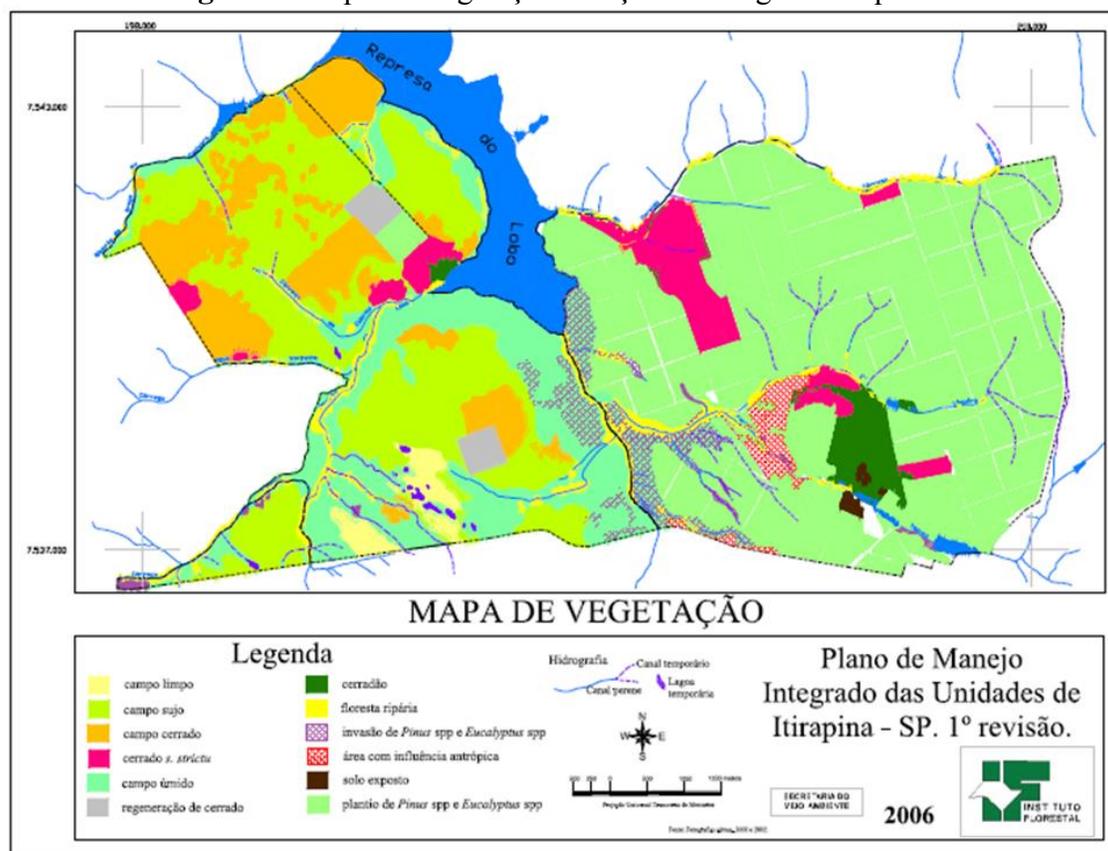
O Cerrado é marcado por aspectos característicos do solo e do clima vigente, de maneira conjunta. O bioma engloba formações muito antigas, originadas durante os períodos glaciais em que a temperatura global diminuiu e o clima tornou-se mais seco. Estas alterações favoreceram a retração das florestas e, conseqüentemente, a expansão de uma vegetação mais aberta, que necessitasse de menos umidade e que fosse adaptada às novas condições do ambiente (AB'SÁBER, 1983).

Na região de Itirapina, a cobertura vegetal caracteriza-se pelo predomínio de áreas ocupadas por pastagem cultivada, cana-de-açúcar, citricultura e reflorestamentos com *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. que superam as áreas com vegetação nativa (ZAINE; PERINOTTO, 1996). A vegetação original da região encontra-se restrita a fragmentos remanescentes com predomínio de Cerrado *sensu lato*, em suas diversas expressões fisionômicas, sobre alguns espigões, em solos arenosos ou depósitos coluvionares (PONÇANO et al., 1981). Embora restritos a determinados locais, os remanescentes da vegetação original ainda guardam uma grande diversidade biológica e paisagística e têm um valor incontestável na manutenção da qualidade ambiental da região, por fornecerem recursos para a fauna, proteção do solo contra erosão e proteção de mananciais.

“A vegetação das UCs foi caracterizada de acordo com aspectos fisionômicos (densidade e estratificação), florísticos (presença de espécies indicadoras) e edáficos (tipos de solo, geologia e padrões de drenagem) e constam no plano de manejo das Unidades” (ZANCHETTA et al., 2006). A classificação dos tipos vegetais seguiu as definições de Coutinho (1978), Ribeiro e Walter (1998) e Rodrigues (1999).

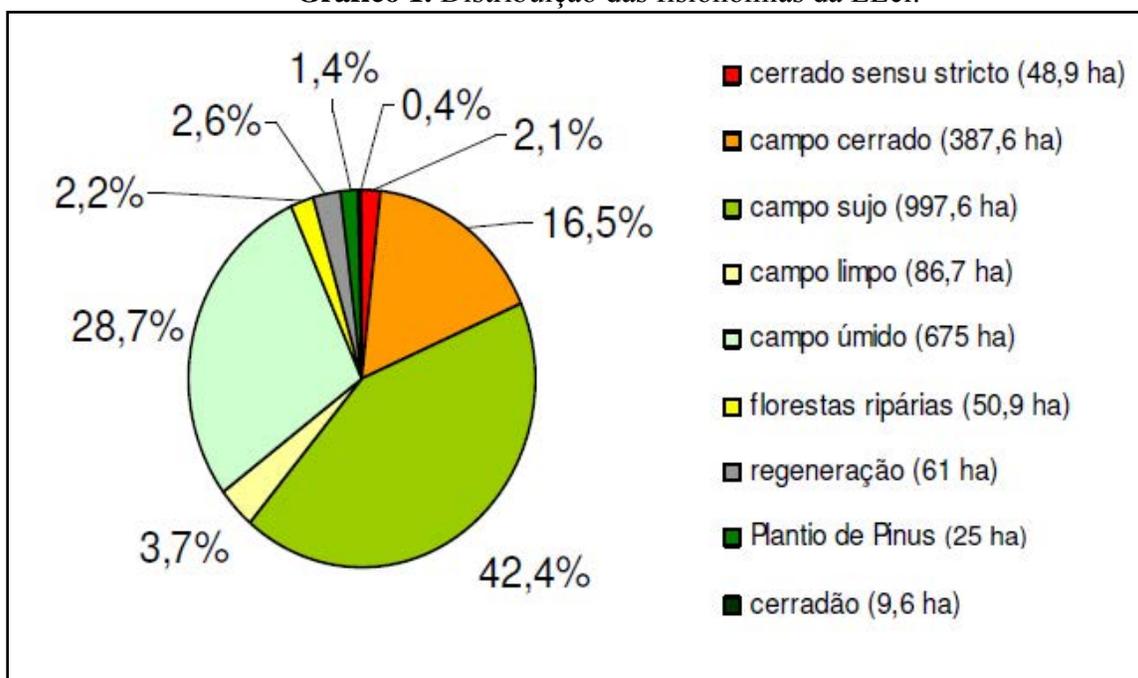
A cobertura vegetal da EEcl caracteriza-se pela ocorrência de dois grupos fitofisionômicos bem distintos: um relacionado com os terrenos bem drenados dos interflúvios (Cerrado *sensu lato*) e outro associado com solos úmidos ou situados nas áreas de influência da rede de drenagem (vegetação higrófila: florestas de galeria, florestas paludosas e campos úmidos; Figura 3).

Figura 3. Mapa de Vegetação Estações Ecológica e Experimental.



Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

“A maior parte da área (94%) é coberta por fisionomias abertas, principalmente, campo sujo, campo úmido e campo Cerrado (Gráfico 1). A paisagem é complementada por fragmentos de Cerrado *sensu stricto*, florestas ribeirinhas (floresta de galeria e floresta paludosa). Uma exceção na Estação Ecológica é o pequeno fragmento de Cerradão, localizado na porção nordeste, próximo à Represa do Lobo, caracterizado por uma densa cobertura arbórea, que determina uma condição de baixa luminosidade em seu interior e a rara ocorrência de herbáceas. Algumas espécies epifíticas (orquídeas e bromélias) e de hábito trepador (lianas) são particularmente abundantes” (ZANCHETTA et al., 2006).

Gráfico 1. Distribuição das fisionomias da EEcl.

Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

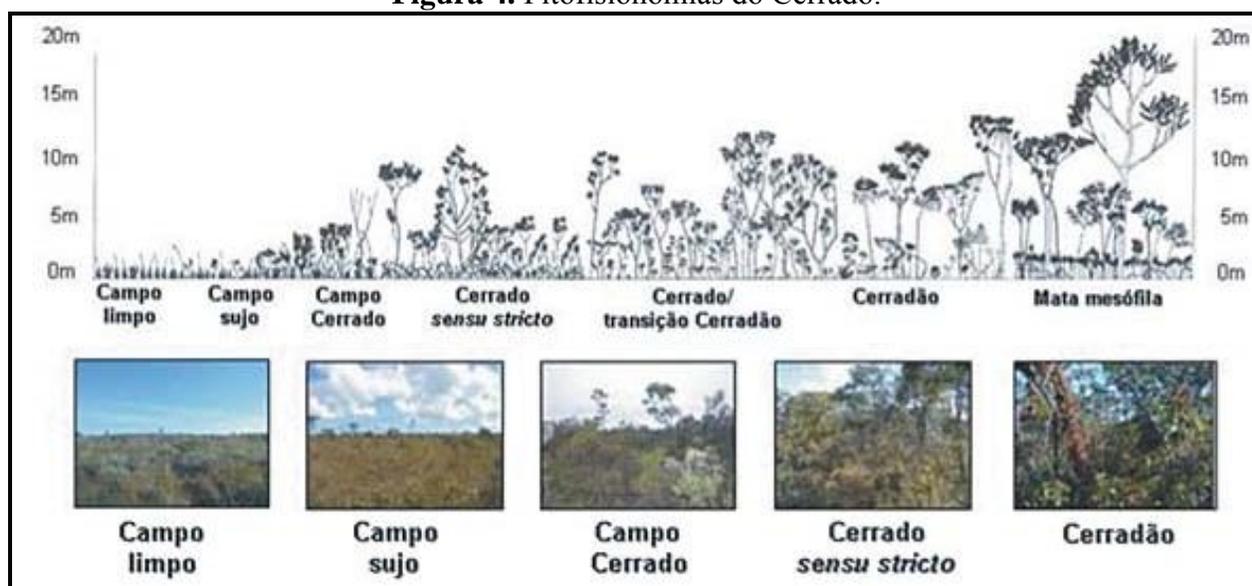
Duas áreas anteriormente utilizadas para plantio de *Pinus* foram caracterizadas como áreas em processo de regeneração, com elementos típicos da flora do Cerrado e figuram como fisionomias abertas (Figura 3). Uma área de aproximadamente 33,17 hectares ainda é utilizada para plantio de *Pinus*.

Campos tipicamente limpos, sobre solos bem drenados, são raros e restritos a poucos fragmentos na porção sudoeste, por esse tipo de vegetação ser melhor adaptado às AUs coincidem com a região onde são observadas as LTs durante a estação chuvosa. As fisionomias mais fechadas de Cerrado (*s.l.*) estão representadas, principalmente, por fragmentos de Cerrado *sensu stricto*, na porção norte, em áreas de relevo mais acidentado, além da pequena área coberta por cerradão (Figura 3). Todas as fisionomias de Cerrado (*s.l.*) estão assentadas sobre Neossolo Quartzarênico.

As áreas de campo sujo apresentam cobertura predominantemente graminosa, entremeada por arbustos esparsos e alguns poucos indivíduos de porte reduzido de algumas espécies arbóreas do Cerrado, além de outras tipicamente campestres. Pode ser considerado uma forma florística e estruturalmente mais rica que os campos tipicamente limpos, onde faltam elementos arbustivo-arbóreos (ZANCHETTA et al, 2006).

A figura a seguir (Figura 4) apresenta um esquema das fitofisionomias do Cerrado que servirá de suporte para as discussões acerca dos resultados da aplicação do NDVI, no item **6. Resultados e Discussão**.

Figura 4. Fitofisionomias do Cerrado.

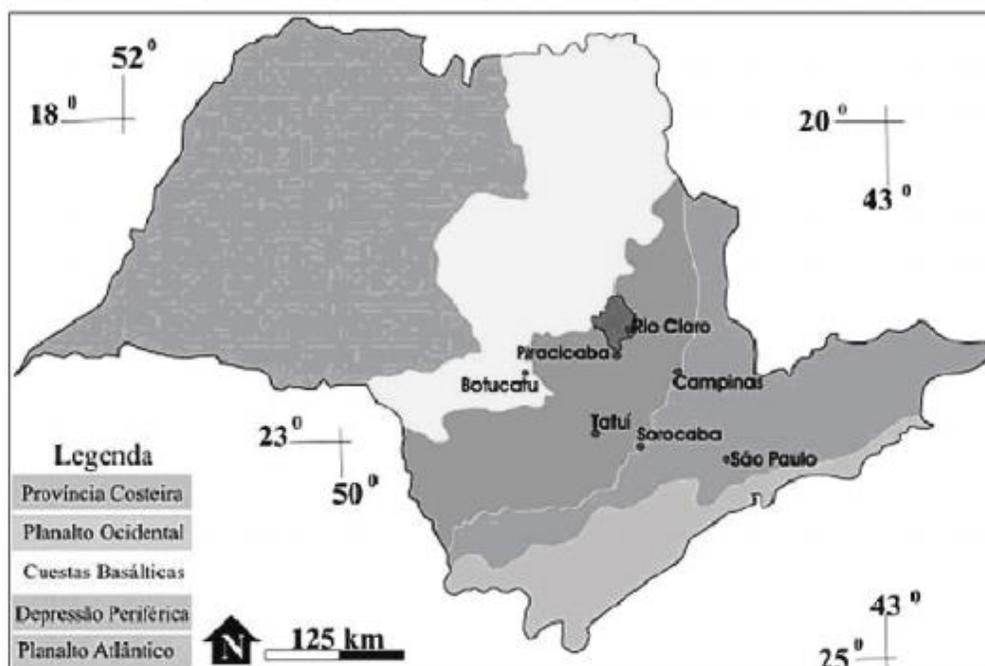


Fonte: BITENCOURT et al., 1997.

3.3 Geologia e Relevo

No que diz respeito à compartimentação geomorfológica, apresentada no trabalho de Almeida (1964), o estado de São Paulo se apresenta subdividido em cinco grandes compartimentos, do litoral para o interior: Província Costeira, Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental (Figura 5).

Figura 5. Esquema simplificado – geomorfologia do estado de São Paulo.



Fonte: Boletim Paulista de Geografia, 2011.

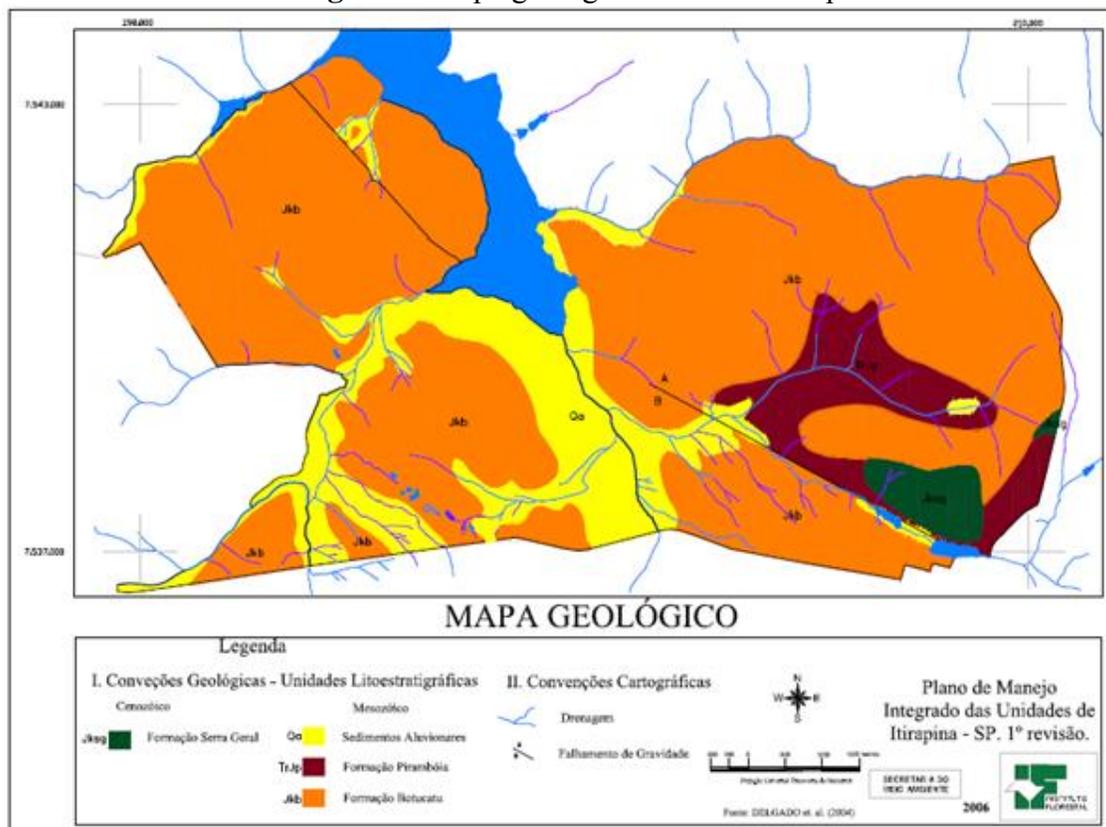
Segundo Almeida (1964), as UCs de Itirapina situam-se na Província das Cuestas Arenítico-Basálticas, caracterizando-a como um patamar, denominado por ele de Planalto de Campo Alegre. Este planalto, localizado no reverso da Cuesta interna, trata-se de um patamar intermediário, de relevo muito suave que separa a Depressão Periférica dos planaltos basálticos vizinhos.

Os campos úmidos ocorrem associados a regiões de solos arenosos sujeitos a inundação ou saturação hídrica, em geral ocupando amplas planícies de declive suave, áreas de nascentes ou depressões fechadas com deficiência de drenagem. Pela configuração do relevo suave aplainado, principalmente no revés das Cuestas Basálticas, bem como pela abundância de solos arenosos, a região permite o estabelecimento de muitas áreas brejosas cobertas por campos úmidos.

A área de estudo é constituída por arenitos das formações Botucatu e Pirambóia e basaltos da formação da Serra Geral, do Grupo São Bento (Figura 5). Sedimentos aluvionares destacam-se nas amplas planícies fluviais dos ribeirões Itaqueri e do Lobo (PONÇANO et al., 1981). O córrego Água Branca corre adaptado a um extenso falhamento de gravidade e apresenta um vale marcadamente dissimétrico. A margem direita, mais íngreme, corresponde às encostas das colinas, formadas a partir dos arenitos e basalto, enquanto, a margem esquerda destaca-se como um expressivo patamar arenoso (ZANCHETTA et al., 2006). Esse falhamento separa, portanto, os

sedimentos das formações Pirambóia e Botucatu. Na Estação Ecológica, foco do presente estudo, é possível verificar a predominância da formação Botucatu e dos sedimentos aluvionares (Figura 6).

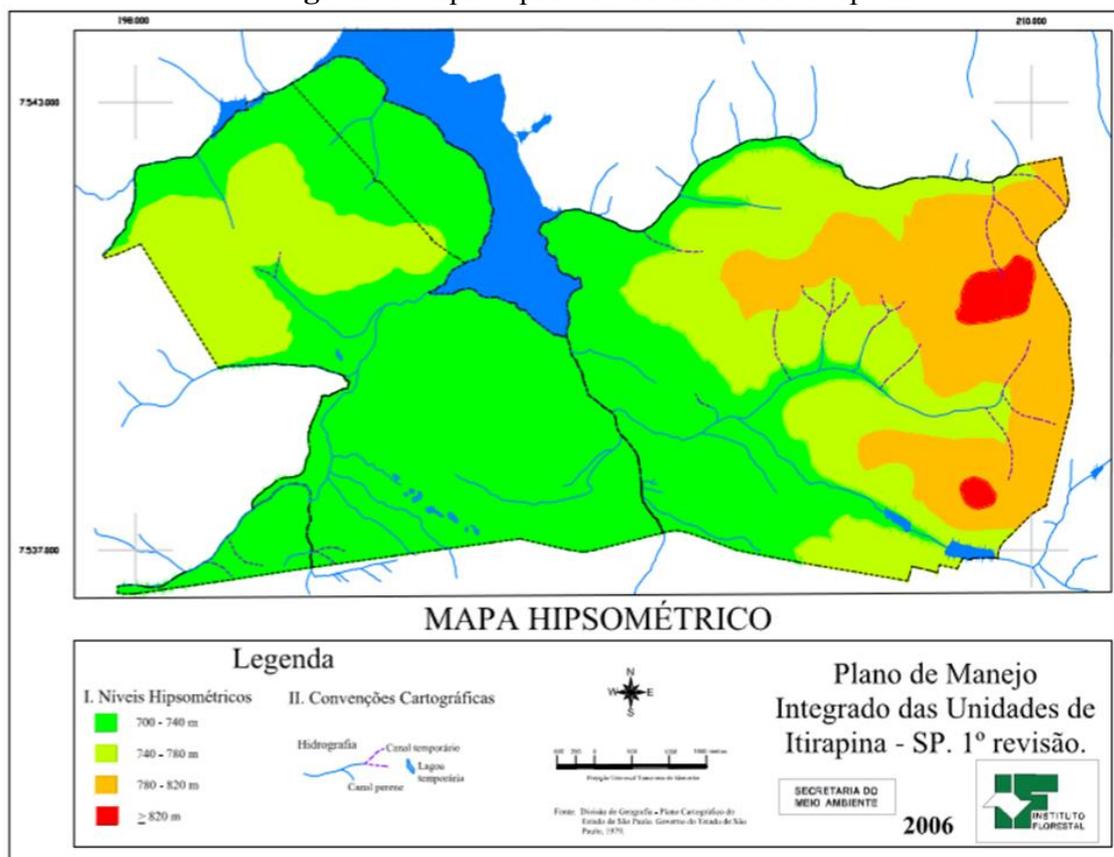
Figura 6. Mapa geológico da UC de Itirapina.



Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

O mapa hipsométrico (Figura 7) permite visualizar a distribuição das classes de altitudes e a configuração geral do relevo das unidades de Itirapina. As altitudes variam de 710 m, junto às margens da Represa do Lobo, a cerca de 830 m, na Estação Experimental. Observa-se que predominam as altitudes entre 700 a 740 m, e que as áreas de interesse deste trabalho são em geral menos elevadas e planas.

Figura 7. Mapa Hipsométrico da UC de Itirapina.



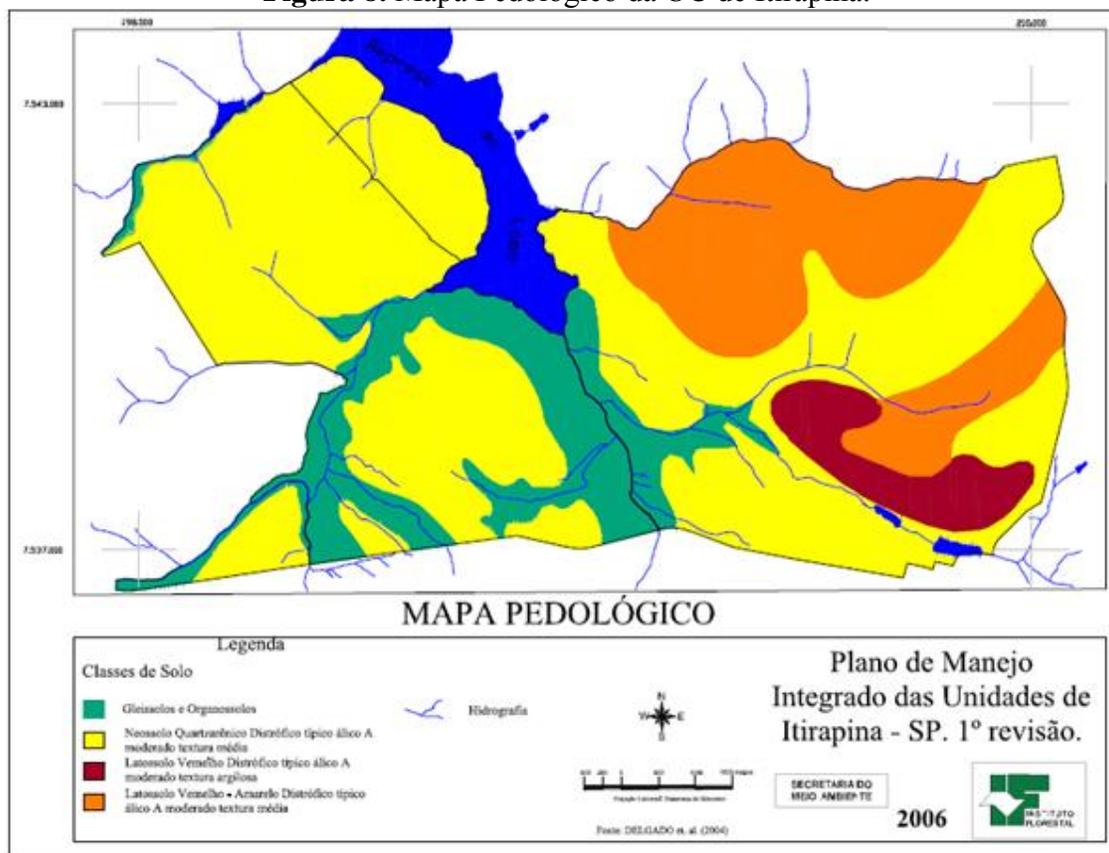
Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

As Unidades de Itirapina apresentam dois compartimentos morfológicos distintos: um relevo de denudação, formado por colinas amplas e baixas com topos aplanados e um relevo de agradação constituído por planícies fluviais (ROSS; MOROZ, 1996). Entre as colinas e as planícies observa-se, muitas vezes, um nível intermediário de patamares coluviais, que são marcados por uma nítida ruptura de declive. Tais características permitiram a formação das áreas úmidas e lagos temporários inseridas no Cerrado protegido pelas estações de Itirapina.

Os solos das UCs apresentam constituição laterítica. Estes solos estão associados com Gleissolos em uma Catena cuja distinção é o grau de umidade dos perfis. Os solos do tipo Latossolo ou Neossolos Quartzarênicos ocupam as posições mais elevadas e bem drenadas do relevo enquanto os Gleissolos estão presentes nas depressões topográficas hidromórficas. Esta distribuição, cuja gênese e funcionamento não são bem estabelecidos ou compreendidos, é considerada a sequência fundamental que explica a origem e funcionamento das áreas úmidas seja em relação à evolução dos solos, do relevo, das fisionomias do Cerrado e o reflexo das mudanças

ambientais que as determinam (ZANCHETTA et al., 2006). Nota-se que as AUs de interesse deste estudo estão majoritariamente localizadas entre Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos (Figura 8).

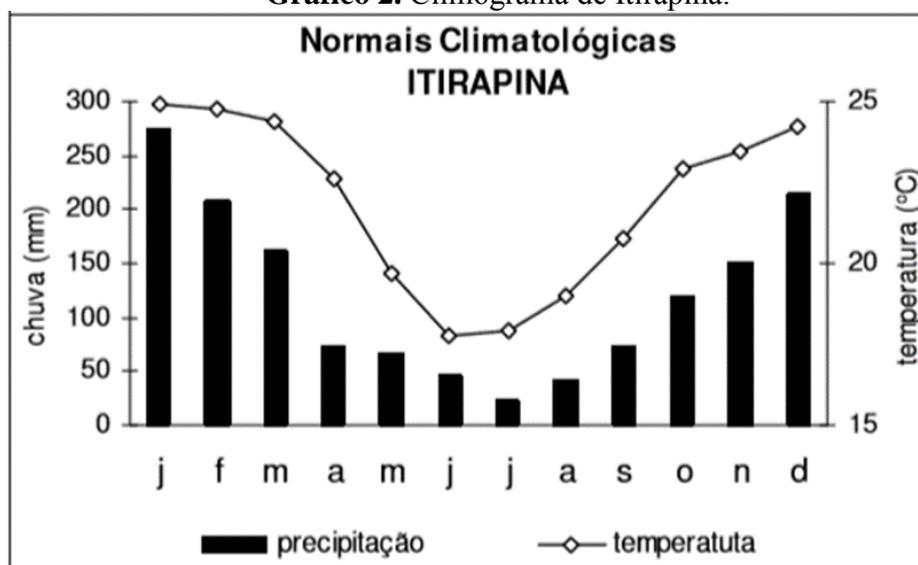
Figura 8. Mapa Pedológico da UC de Itirapina.



Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

3.4 Clima

A temperatura média anual em Itirapina é 21,9 °C. O mês mais quente é Janeiro, com temperatura média de 24,8 °C, mínima de 17,2 °C e máxima de 27,3 °C. O mês mais frio é Junho, com temperatura média de 17,8 °C, mínima de 10,2 °C e máxima de 22 °C. A precipitação anual média é de 1.459 mm. (ZANCHETTA et al., 2006). No período chuvoso (outubro a março) choveu em média 1.128 mm (77% do total) e no período seco (abril a setembro) 331 mm (23% do total) (Gráfico 2); ZANCHETTA et al., 2006).

Gráfico 2. Climograma de Itirapina.

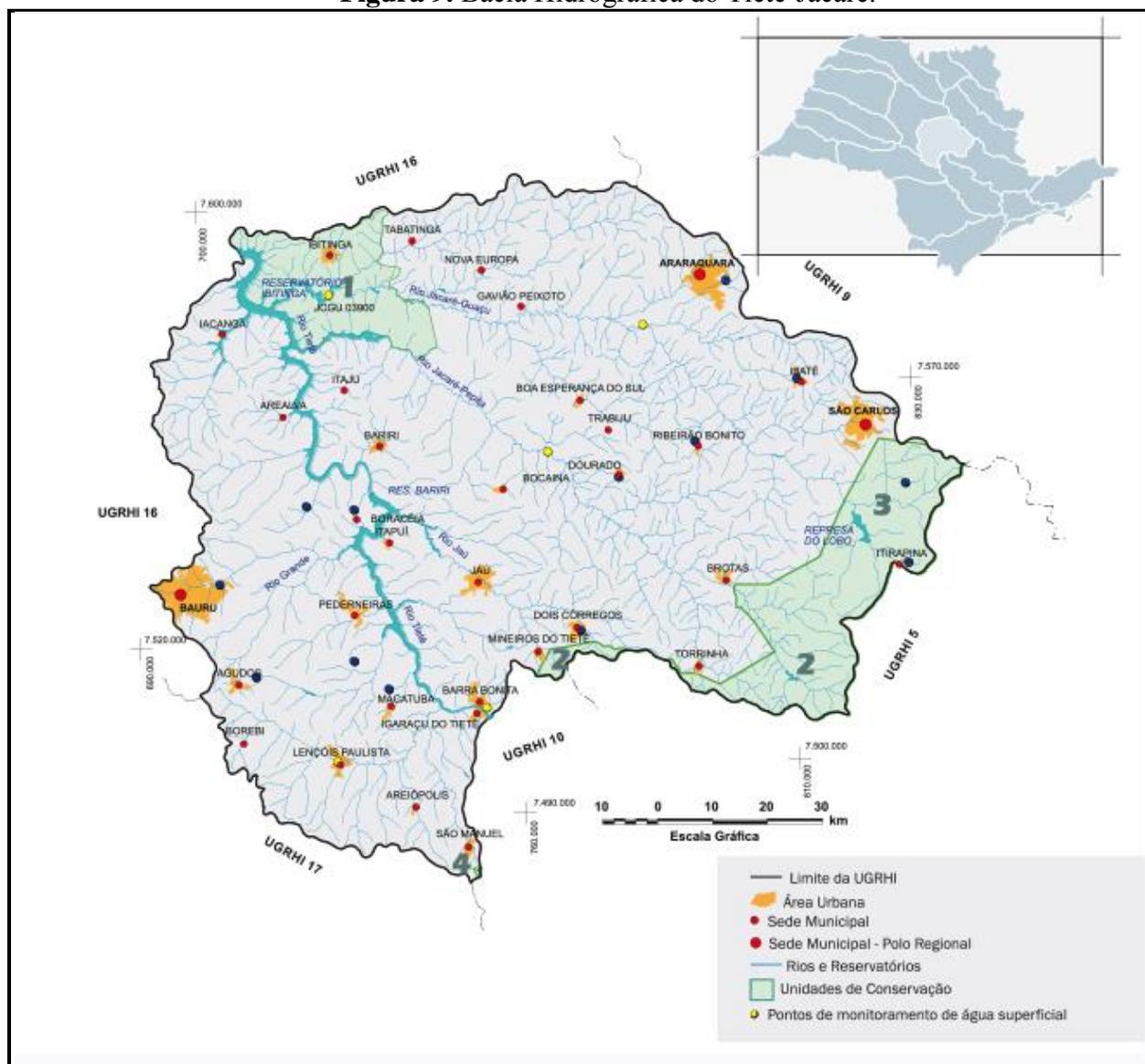
Fonte: ZANCHETTA et al., 2006.

De acordo com os elementos apresentados o clima de Itirapina insere-se na classificação Cwa de Köppen, ou seja, mesotérmico (com temperatura média do mês mais frio de 18 °C) e tropical de altitude (com inverno seco e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C). As unidades de Itirapina não possuem estação meteorológica, desta forma, para a caracterização climática foram utilizados os dados do posto da Ripasa, situado ao lado da Estação Ecológica, nas coordenadas 22°15'35" latitude sul e 47°54'10" longitude oeste a uma altitude de 740m (ZANCHETTA et al., 2006).

3.5 Hidrografia

A Estação Ecológica de Itirapina, área de estudo, apresenta um bioma extremamente fragilizado, detentor de zonas úmidas, áreas de recarga de aquífero, afloramentos de lençol freático e flora e fauna nativas. Com relação a sua hidrografia, as UCs de Itirapina estão regionalmente localizadas na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. Tal bacia apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 11.800 km², e tem como principais rios o Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (Figura 9).

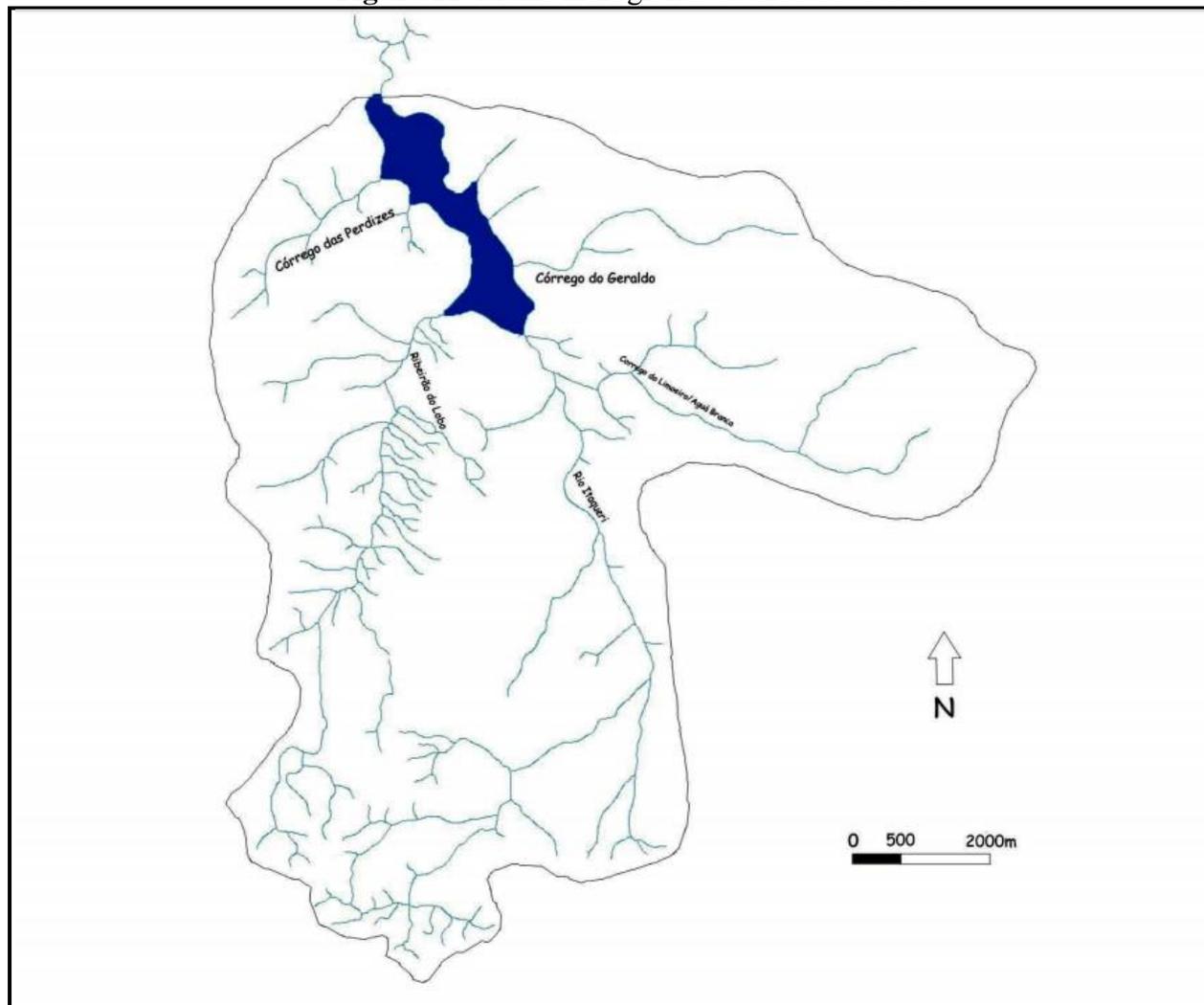
Figura 9. Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré.



Fonte: Portal SigRH-SP.

Localmente, a área das unidades de Itirapina é drenada pela sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu, assim denominado a partir da confluência das águas do Ribeirão Itaqueri e do Feijão (Figura 9). Segundo Almeida (1964), o Rio Jacaré-Guaçu caracteriza-se por um curso ressequente, seguindo a orientação das camadas geológicas e acompanhando a mesma direção do rio conseqüente original (Tietê). O rio Jacaré-Guaçu recebe a contribuição de diversos rios subsequentes que estão ajustados à estrutura geológica do relevo. O padrão da drenagem

Figura 11. Malha hidrográfica da área de estudo.



Fonte: Érica Cristina Argenton, 2004.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Levantamento Bibliográfico

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as informações qualitativas e quantitativas da situação das áreas úmidas no Brasil, considerando a sua importância para fauna e flora, bem como a ocorrência ou não de uma valoração adequada no país, sugerida pelos órgãos ambientais. Também fazem parte da revisão bibliográfica leituras acerca de Unidades de Conservação, SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), geoprocessamento e sensoriamento remoto, sobre a influência de fenômenos atmosféricos mundiais no regime de chuva do Sudeste e sobre os tipos de cerrado encontrados no Brasil e os característicos das Estações de Itirapina. Foram buscadas informações dos possíveis impactos que essas áreas sofrem e quais suas consequências, com foco nas áreas úmidas encontradas nas Estações Ecológica de Itirapina.

4.2 Atividades de Laboratório

4.2.1 Aquisição de dados orbitais

Para o dimensionamento das áreas das lagoas e para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizado conjunto de programas de processamento geoespacial ArcGIS 10.4, ferramenta para a manipulação de imagens dos anos 1985 até 2017 fornecidas pelos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8. Acrescentei à essas informações os dados de precipitação fornecidos pelo pluviógrafo da Estação Experimental (período de 1985 – 2017), que contribuíram para a compreensão da dinâmica dos fluxos hídricos no local. Para mapear, visualizar e analisar a dinâmica da variação das áreas úmidas das estações também foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.4.

Para se chegar a análise multitemporal prevista nos objetivos desse estudo, procedeu-se primeiramente a aquisição de imagens de satélite referentes à localidade da Estação. Para tanto, foi consultado o site do Serviço Geológico dos Estados Unidos onde foram adquiridas imagens multiespectrais da série Landsat, referentes a órbita 220 e ponto 75 da coleção 1 (Higher Level Science Data), compreendidas no período de 1985 (ano de lançamento do satélite) até 2017, *Datum* WGS84, *Projeção* Universal Transversa de Mercator (UTM) e *Zona* 23S.

Dessa forma, foram adquiridas:

- 239 imagens para o período compreendido entre 1985 e 2011, a partir do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5;
- 38 imagens para o período de 2012 a 2015, a partir do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do satélite Landsat 7;
- 15 imagens para o período de 2016 a 2017, a partir do sensor OLI (Operation Land Image) do satélite Landsat 8.

4.2.2 Processamento dos dados orbitais para cálculo de LTs e NDVI

Após adquiridas as imagens de satélite, foi realizado o processamento dos dados. Foi necessário, primeiramente, que se fizesse uma composição em cores falsas das imagens obtidas, seguindo o proposto por Alvarado et al. (2017). Tal composição permitiu o dimensionamento pois ressaltou a resposta espectral da água

Dessa forma, para os produtos dos sensores TM e ETM+, foi realizada a composição das bandas 5 (infravermelho médio, 1.55 – 1.75 μm), 4 (infravermelho próximo, 0.76 – 0.9 μm) e 3 (vermelho visível, 0.63 – 0.69 μm). Para os produtos do sensor OLI, foi realizada a composição das bandas 6 (infravermelho médio, 1.57 – 1.65 μm), 5 (infravermelho próximo, 0.85 – 0.88 μm) e 4 (vermelho visível, 0.64 – 0.67 μm), intervalo espectral equivalente ao utilizado para os sensores anteriores.

Tabela 1. Satélites e sensores empregados para o dimensionamento das áreas de interesse.

Satélite	Sensor	Resolução espacial	Bandas usadas	Período estudado
Landsat 5	TM	30 m	5 - 4 - 3	1985 - 2011
Landsat 7	ETM+	30 m	5 - 4 - 3	2012 - 2015
Landsat 8	OLI	30 m	6 - 5 - 4	2016 - 2017

Fonte: Autor, 2018.

Apesar do sensor ETM+ ter tido uma falha SLC (Scan Line Corrector) em 2003, a região de Itirapina não foi afetada e por isso as imagens foram utilizadas.

Realizada a composição em cores falsas das bandas supracitada, iniciou-se a manipulação individual das imagens referentes à estação seca e chuvosa de cada ano. Dessa forma, foram analisadas imagens referentes às duas estações, para cada ano, de modo a escolher a imagem com menos nuvens e interferências para cada estação. Foram utilizadas:

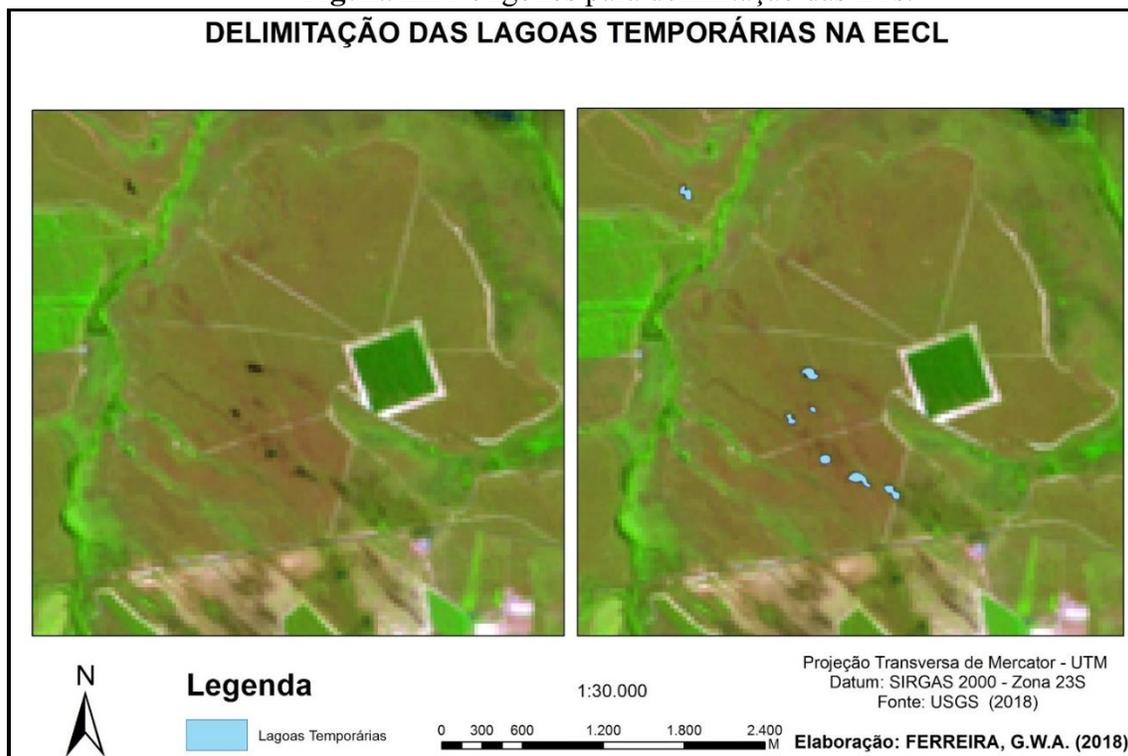
- 33 imagens referentes à estação seca, compreendidas entre os anos de 1985-2017;
- 33 imagens referentes à estação chuvosa, compreendidas entre os anos de 1985-2017.

Para a manipulação desejada, ou seja, um produto que permitisse dimensionar as lagoas temporárias de cada ano, primeiramente foi aplicado, para cada imagem, a padronização de parâmetros de renderização “Stretch”, do tipo Máximo-Mínimo, cuja função é distribuir linearmente os valores de pixel totais para cada imagem, permitindo melhor distinguir os detalhes de cada imagem, uma vez que os valores de cada pixel são distribuídos por todo o intervalo do histograma. O objetivo de usar estes parâmetros é padronizar a visualização para diminuir efeitos de subjetividade por influência atmosférica.

4.2.2.1 Cálculo das áreas das Lagoas Temporárias

Após tal aplicação, em cada uma das imagens processadas, foi realizada detecção visual e delimitação manual das lagoas temporárias (Figura 12), com escala gráfica padronizada em 1:15.000. As áreas das lagoas foram delimitadas como vetores e constituíram o banco de dados deste trabalho, permitindo o posterior cálculo de área pela ferramenta “Calculate Geometry”, através da tabela de atributos gerada para cada imagem manipulada. Os resultados obtidos estão apresentados no Gráfico 6, e serão discutidos no item **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**.

Figura 12. Polígonos para delimitação das LTs.



Fonte: Autor, 2018.

4.2.2.2 Estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Um índice espectral de vegetação é a álgebra de bandas de duas ou mais bandas espectrais, cuja finalidade é realçar características da vegetação como biomassa, vigor vegetativo, índice de área foliar etc. (Moreira, 1997).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é utilizado principalmente em estudos de cunho agrícola, que permite fazer análises, em diversas escalas, sobre a cobertura vegetal de determinada região, considerando por exemplo seu estado de saúde (atividade clorofiliana) e a biomassa.

A vegetação sadia absorve principalmente na faixa da cor vermelha, comprimento de onda de 0,650 μm que é absorvido pela clorofila como energia para a fotossíntese. A faixa de comprimento de onda de 0,760 μm a 0,900 μm (NIR - infravermelho próximo) é refletida pelas folhas saudas. Assim sendo, uma vegetação com alta atividade fotossintética terá uma baixa reflectância da banda 3 (vermelho) e alta reflectância da banda 4 (NIR - infravermelho próximo).

Portanto a divisão entre os valores da banda do infravermelho próximo pelos valores da banda do vermelho é proporcional a biomassa fotossinteticamente ativa.

Para o cálculo do NDVI foram utilizados os produtos dos sensores TM e ETM+, as bandas 4 (infravermelho próximo, 0.76 – 0.9 μm) e 3 (vermelho visível, 0.63 – 0.69 μm). Nas imagens sensor OLI, foi utilizado as bandas 5 (infravermelho próximo, 0.85 – 0.88 μm) e 4 (vermelho visível, 0.64 – 0.67 μm), sendo o mesmo intervalo espectral utilizado para os sensores anteriores.

Para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foi aplicada equação (ROUSE et al., 1973) que consiste na diferença da refletância no infravermelho próximo e a refletância no vermelho dividido pela soma dessas duas bandas como mostra a seguinte equação:

Equação 1:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \text{ (equação 1)}$$

Onde:

NIR: Refletância da vegetação na banda do infravermelho próximo;

R: Refletância da vegetação na banda do vermelho.

Os resultados têm seu valor normalizado entre de -1 a +1 por pixel, de modo que quanto mais próximo de +1, maior a densidade da vegetação. Na medida em que esse valor diminui, a vegetação vai ficando menos densa, e quanto mais próxima de -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas. Já a água, por sua vez, apresenta valores negativos, próximos a -1, o mesmo ocorrendo com áreas de sombra de nuvem (DA SILVA BARBOSA, A. E.; DE CARVALHO, R. G.; CAMACHO, 2017).

Os dados obtidos foram divididos em cinco intervalos de refletância (Tabela 2), que exibiram o melhor agrupamento de classes segundo a resposta espectral dos alvos para a caracterização das áreas úmidas da Estação Experimental de Itirapina. Os pontos de quebra dos intervalos foram definidos a partir da média da classificação automática gerada pelo ArcMap em cada uma das imagens analisadas. Assim, são divididos em classes cujos limites são definidos de forma que considerou diferenças nos valores de dados médios relativos à cada imagem.

Tabela 2. Intervalos de reflectância com as respectivas classes e alvos de superfície

Classes	Intervalos NDVI	Alvos de superfície
Classe 1	-1 – 0	Corpos hídricos e solo exposto
Classe 2	0 – 0,298	Transição solo exposto para vegetação campestre/gramíneas
Classe 3	0,298 – 0,511	Herbáceas e arbustivas
Classe 4	0,511 – 0,639	Lenhosas de pequeno porte
Classe 5	0,639 - 1	Formações florestais densas

Fonte: Autor, 2018.

4.2.2.3 Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e caracterização das áreas úmidas de Cerrado

Foi calculado a média e o desvio padrão do NDVI da área total da EEcl para os anos de 1985-2017, para avaliar a complexidade e heterogeneidade do habitat da EEcl ao longo do tempo. Houveram algumas exceções (1987, 1992, 1997 e 2003) a presença de cobertura de nuvens impossibilitou um cálculo condizente.

Os valores médios do NDVI foram considerados uma medida indireta da complexidade do habitat, pois indicam a complexidade estrutural (vertical) e quantidade de fitomassa do habitat. O desvio padrão dos valores do NDVI foi considerado uma medida indireta da heterogeneidade do habitat, pois indicam a variação/dispersão do desenvolvimento vertical e da fitomassa do ambiente no plano horizontal (GAMARRA, 2016).

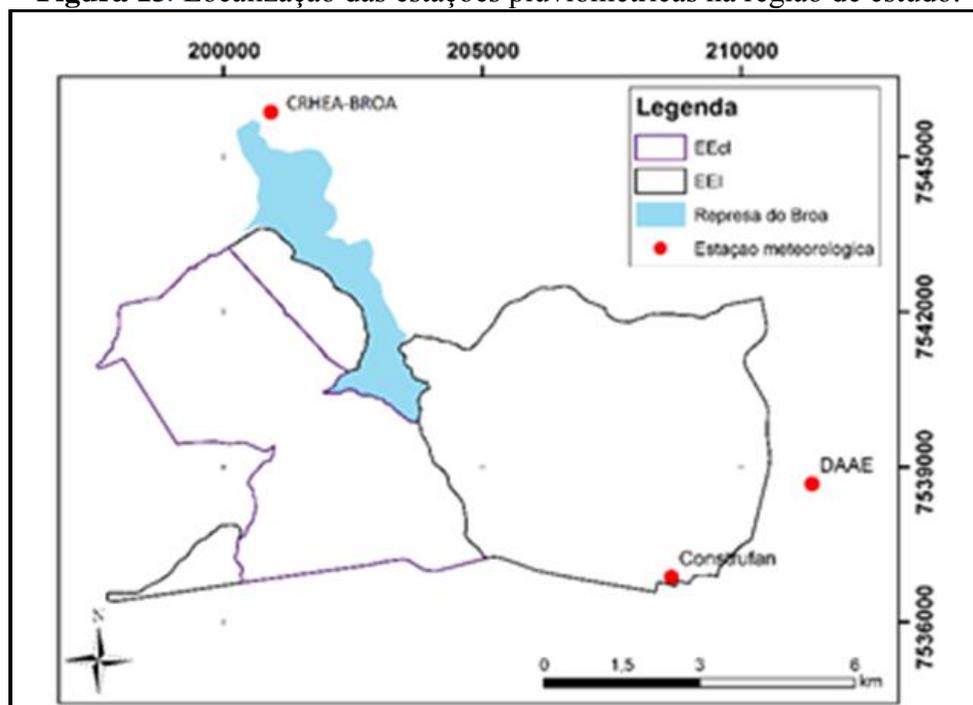
4.3 Aquisição dos dados pluviométricos

Com o objetivo de se estabelecer uma possível relação entre os dados pluviométricos da estação chuvosa de cada ano com os resultados da variação anual de área das lagoas temporárias na mesma estação, procedeu-se à aquisição dos dados pluviométricos a partir de informações disponíveis online, através do portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas (ANA), no Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos. Trata-se de uma ampla base de dados com informações acerca do histórico de chuvas em todos os estados brasileiros.

Os dados obtidos através do portal, e utilizados neste estudo para os fins propostos, são referentes a um total de três estações pluviométricas localizadas na região das unidades de Itirapina, como pode ser observado na (Figura 13). São elas:

- Estação Pluviométrica CRHEA
- BROA, cuja responsável técnica é a ANA, e a operação está sob responsabilidade da empresa CONSTRUFAM
Latitude: S 22° 10' 12.00"
Longitude: W 47° 53' 56.04"
- Estação Pluviométrica ITIRAPINA, cuja responsável técnica é a ANA, e a operação está sob responsabilidade da empresa CONSTRUFAM
Latitude: S 22° 14' 57.12"
Longitude: W 47° 49' 36.12"
- Estação Pluviométrica ITIRAPINA, cuja responsabilidade técnica e operação pertencem ao DAEE-SP
Latitude: S 22° 14' 0.00"
Longitude: W 47° 48' 0.00"

Figura 13. Localização das estações pluviométricas na região de estudo.



Fonte: Dhemerson Conciani, 2017.

A utilização dos dados referentes ao total de três estações se deve ao fato de que a estação de onde foram coletados a maioria dos dados (estação Itirapina – ANA) não havia todo o histórico

de precipitações necessário. Portanto, foi complementado pelos dados das outras duas estações. O resultado gerado refere-se ao total acumulado de precipitação, cuja referência são cinco meses da estação chuvosa de cada ano, sempre iniciando em novembro do ano anterior ao apresentado, e finalizado em março. O resultado constitui um gráfico mostrando o total acumulado de precipitação referente ao intervalo de cinco meses supracitado, ao longo de toda série histórica base deste estudo (Gráfico 3).

Gráfico 3. Pluviometria acumulada na estação chuvosa.



Fonte: Autor, 2018.

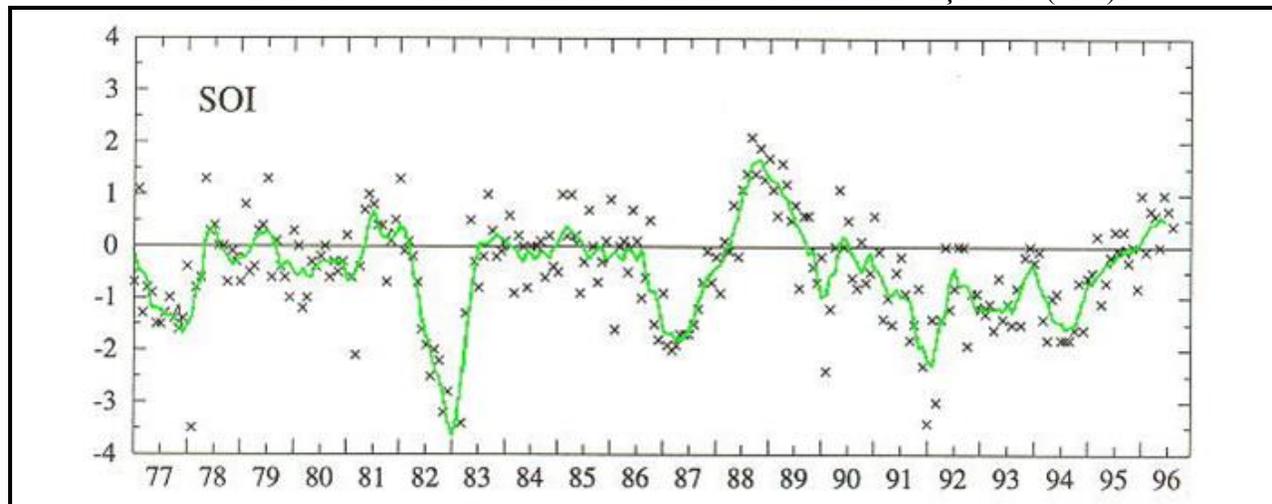
4.4 Influência do El Niño e La Niña no Sudeste durante o período de estudo

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical. Enquanto a La Niña reflete no resfriamento destas águas, e, portanto, concebe características opostas (anti-El Niño) ao El Niño. Tais fenômenos influenciam o clima regional e global, mudando os padrões de vento em escala mundial devido às alterações diretas na circulação de Walker, afetando assim, os regimes de chuva e temperatura principalmente em regiões tropicais e de latitudes médias (CAVALCANTI, 1996).

Para medir a intensidade desses fenômenos foram criados índices como o Índice de Oscilação Sul (IOS; Gráfico 4), que é definido pela diferença de pressão padronizada em Darwin

(Austrália) e Taiti (Polinésia Francesa) e está associado ao enfraquecimento ou a intensificação dos ventos alísios sobre o oceano pacífico equatorial (circulação de Walker).

Gráfico 4. Média corrida de 5 dias do Índice de Oscilação Sul (IOS).

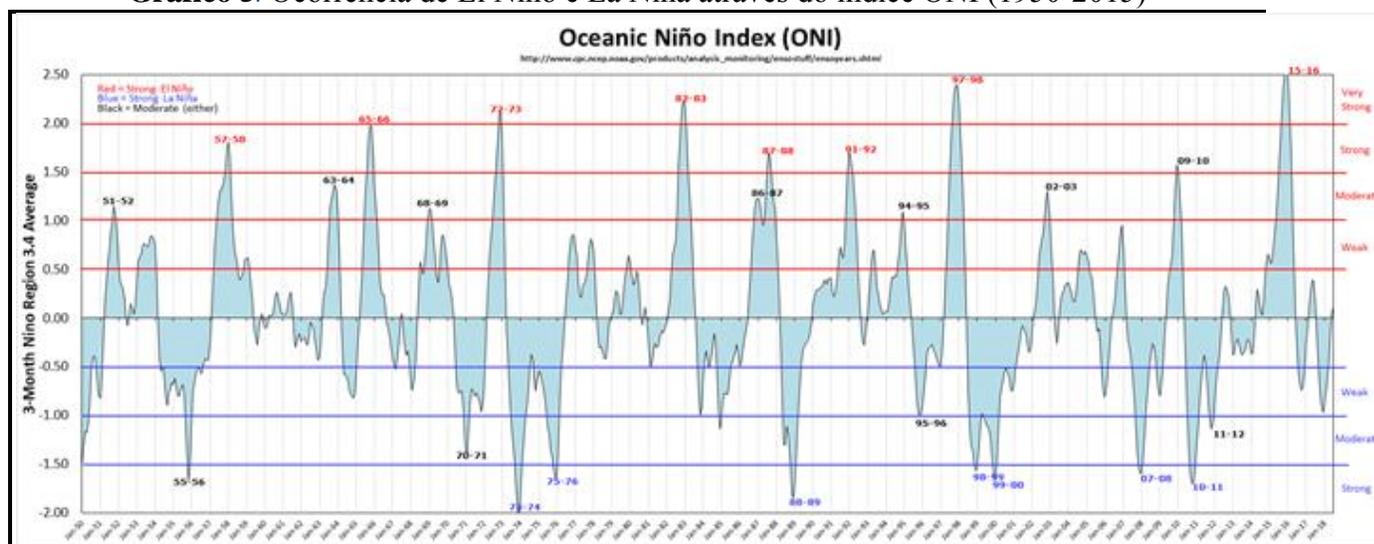


Fonte: CPC, 1996.

Outros índices utilizados são os índices nomeados Niño (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4), que são as anomalias de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) médias em diferentes regiões do Pacífico Equatorial. Uma relação significativa entre a ocorrência de episódios de El Niño e La Niña e o IOS foi verificada por diversos autores.

A NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) se baseia no Índice de Niño Oceânico (ONI) para as determinar condições de El Niño e La Niña. O ONI é definido pela média de três meses de anomalias de TSM na região do Niño 3.4, portanto nada mais é do que uma medida do El Niño-Oscilação Sul (IOS; Gráfico 5; NOAA, 2018).

Gráfico 5. Ocorrência de El Niño e La Niña através do índice ONI (1950-2015)



Fonte: NOAA, 2018.

No Brasil a variação no volume de chuvas depende de cada região e da intensidade do fenômeno. Um El Niño na Região Norte e Nordeste pode reduzir as chuvas causando secas no sertão e incêndios na Amazônia. Na região Sul leva ao aumento da temperatura média e da precipitação. No Sudeste, onde está a área de interesse deste estudo, um El Niño intensifica os regimes de chuva e aumenta a temperatura média (BRASIL, 2018).

Portanto para o interesse deste estudo devemos considerar os episódios ocorridos nos anos próximos do período aqui considerado (1985 - 2017). Começando pelo intenso episódio El Niño/Oscilação Sul (ENOS) de 1982/83, outro de menor intensidade em 1986/87, e o de 1990 ao início de 1995 (Gráfico 5). Este foi considerado o mais longo evento nos últimos 50 anos, sendo comparável apenas com o episódio de 1911-1915 (HALPERT et al, 1996). Complementando os períodos de El Niño relevantes ao estudo presente cito: 1997-1998, 2015-2016 como intensos ou muito intensos e 2002-2003, 2009/2010 como moderados (Tabela 3).

Tabela 3. Intensidade de El Niño e La Niña (1951-2018).

El Niño				La Niña		
Weak - 10	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 10	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
				2017-18		

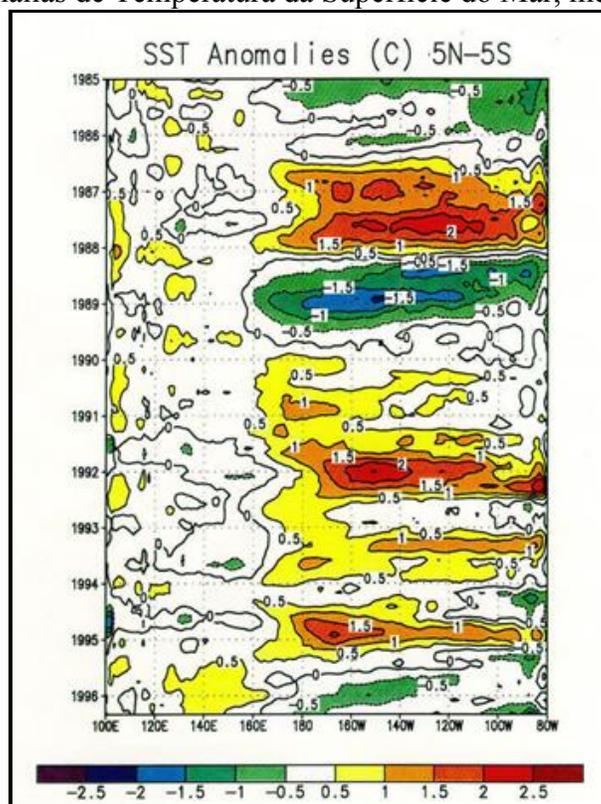
Fonte: NULL, 2018.

Durante esses eventos anomalias são observadas, não só na região de aquecimento do Oceano Pacífico, como em todo o globo. As principais regiões do globo cujas precipitações são relacionadas com o ENOS foram identificadas em Ropelewski e Halpert (1987).

As anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico, de 1985 a 1995 são apresentadas no Gráfico 5, onde pode-se destacar os períodos de El Niño, de 86/87 e de 90 a 94. Dentre o período estendido, nota-se que os máximos de anomalias positivas ocorreram em 91/92, e no fim de 1994. Em 1990 e começo de 1991 as anomalias positivas foram fracas e ocorreram apenas no Pacífico Central. No início 1994 não houveram irregularidades, caracterizando um período normalizado (CAVALCANTI, 1996).

Anomalias negativas de TSM em 1985 (continuação do episódio de 1984), 1988/1989 e em 95/96 (pouco intenso) caracterizaram um episódio La Niña. Outros períodos de La Niña que influenciam neste estudo foram: 1998-2000, 2007-2008, 2010-2011 com alta intensidade e 2011-2012 com intensidade moderada (Tabela 3).

Gráfico 6. Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar, média entre 5N a 5S.



Fonte: KOUSKY, 1996.

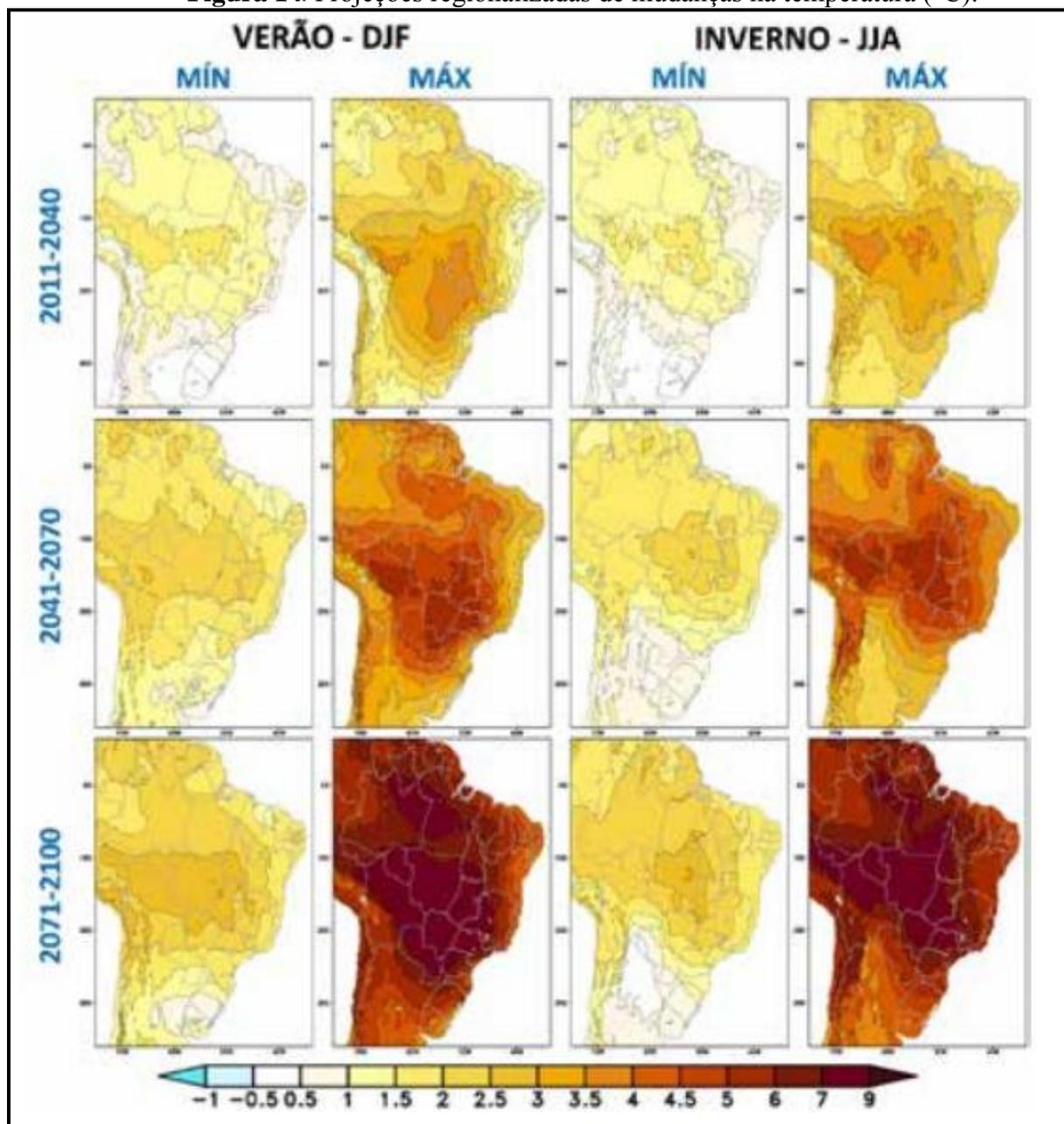
4.5 Influência das mudanças climáticas no Sudeste durante o período de estudo

Um estudo publicado no *International Journal of Climatology* (ZILLI et al., 2017) usou mais de 70 anos (compreendido entre 1938 e 2012) de dados pluviométricos, focados em um período de chuvas característico do Sudeste (outubro a março), para concluir que as mudanças climáticas estão alterando o padrão de chuvas no Brasil, particularmente no Sudeste.

Os resultados indicam que a frequência de dias chuvosos e eventos extremos diários de precipitação aumentaram no estado de São Paulo. Além de concluírem que haverá variações e mudanças nos principais sistemas climáticos que afetam regimes de precipitação sobre o Sudeste.

Para organizar os esforços contra as mudanças foi instituído em 10 de maio de 2016 o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA - BRASIL, 2016) que tem como objetivo promover a redução da vulnerabilidade nacional à mudança do clima e realizar uma gestão do risco associada a esse fenômeno. A tendência com o crescimento das populações e intensificação do consumo, simultaneamente com a destruição de áreas nativas para a expansão antrópica é de que tais transformações climáticas sejam cada vez comuns (Figura 14).

Figura 14. Projeções regionalizadas de mudanças na temperatura (°C).



Fonte: BRASIL, 2016.

Segundo relatórios do Grupo de Trabalho II (WGII, da sigla em inglês) é unânime que a América do Sul e o Brasil já apresentam registros de mudanças do clima previstos em modelos climáticos (BRASIL, 2016):

- Aumento de temperatura de até 2,5 °C na região costeira do Brasil entre 1901 e 2012;
- Aumento do número de dias com chuvas acima de 30 mm na região sudeste;

- Aumento da temperatura do mar no Atlântico Sul e mudanças na salinidade;
- Aumento na ocorrência, intensidade e influência dos eventos de ENOS no clima continental do país (El Niño Pacífico Leste Equatorial, La Niña e El Niño Pacífico Central).

Por esse motivo que a adaptação proposta pelo PNA ganha relevância na medida em que evidências indicam a ocorrência de impactos associados à mudança do clima, que podem influenciar os sistemas naturais e humanos, a exemplo da biodiversidade (extinção de habitats e espécies), zonas costeiras, recursos hídricos, energia, indústria, transportes, mobilidade urbana, agricultura, segurança alimentar, povos e populações vulneráveis e a gestão de riscos aos desastres naturais.

4.6 Atividades de campo

Os trabalhos de campo envolveram as seguintes atividades:

- Elaboração do perfil topográfico;
- Elaboração do perfil de vegetação e descrição de aspectos de superfície;
- Tradagens para a descrição e mapeamento do solo na catena.

Para este estudo, foram realizados quatro trabalhos de campo. No primeiro campo, realizado no dia 27/04/2018, foi feito o reconhecimento da área (Figura 15). Observou-se a área das AUs e Lagoas Temporárias em estudo, bem como toda a região, que se localiza no Cerrado da Estação Ecológica, possuindo regiões naturalmente alagadas durante o período chuvoso, mas que no momento da visita estavam secas.

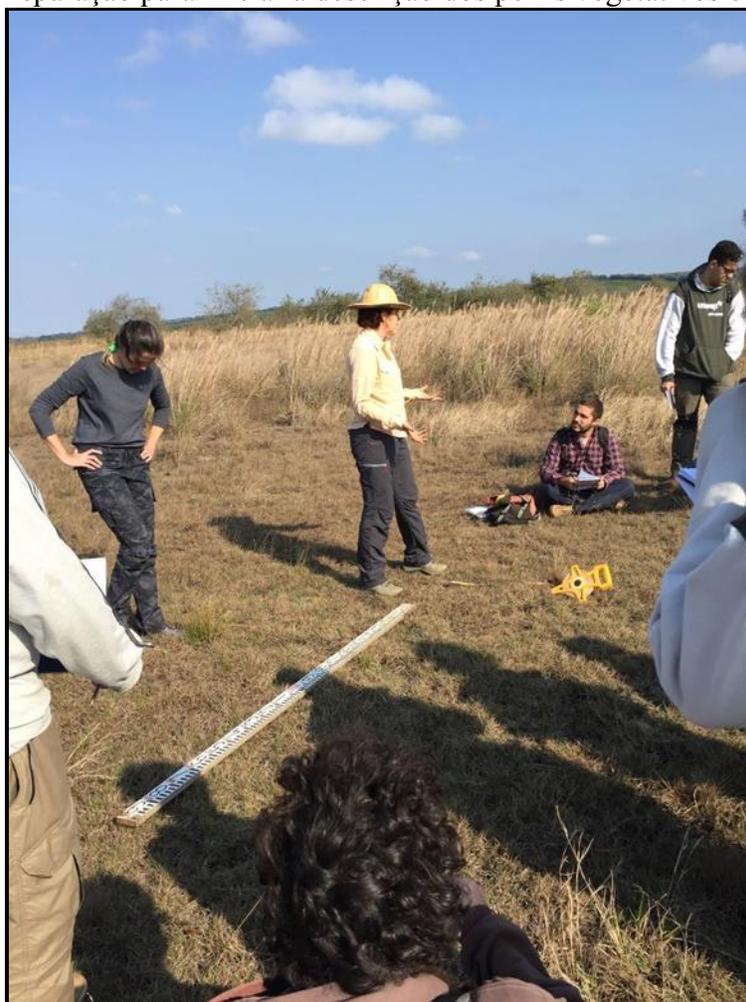
Figura 15. Área plana e de baixa elevação sujeita a inundação durante período de chuvas.



Fonte: Autor, 2018.

O segundo campo, realizado em 17/08/2018 juntamente com os alunos da disciplina Pedologia e Mapeamento Agroecológico do terceiro ano do curso de Ecologia da Unesp Rio Claro, foi marcado pela execução dos perfis topográfico e de vegetação da área registrada pela (Figura 16).

Figura 16. Preparação para iniciar a descrição dos perfis vegetativos e topográficos.



Fonte: Autor, 2018.

No campo de número três, efetuado no dia 24/08/2018 também com a colaboração dos alunos da Ecologia da Unesp Rio Claro foi conduzido, com o auxílio de um trado, a descrição das amostras de solo, no segmento da área na qual foram realizados os perfis topográficos e vegetativos, para a avaliação da cobertura vegetal da área em estudo (Figura 17 e Figura 18).

Figura 17. Tradagem e sequência pedológica das amostras retidas.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 18. Tradagem e sequência pedológica das amostras retidas.



Fonte: Autor, 2018.

Para finalizar as atividades de campo, na data de 31/08/2018 foi concluída a quarta atividade no local. Houve a oportunidade de finalizar as tradagens e completar o perfil podológico iniciados no campo três.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram trinta e três imagens de satélite que representam o período úmido, em vinte e duas dessas foi observado a presença de lagoas temporárias que correspondem aos sistemas úmidos tratados neste estudo. Elas estão orientadas em uma mesma área específica dentro da EEcl que corresponde às áreas topograficamente deprimidas. Suas localizações se repetem nas estações úmidas de todos os anos analisados exceto naqueles anos (1987, 1992, 1997 e 2003) em que a cobertura de nuvens impediu a visualização. Essa propensão das LTs surgirem no mesmo local facilitou a distinção entre sombras de nuvens com as lagoas temporárias, que mesmo apresentando respostas parecidas na superfície puderam ser distinguidas em relação à localização.

A área de manifestação das Lagoas Temporárias está conectada com os eixos de drenagem, principalmente o do Ribeirão Itaqueri e do Ribeirão do Lobo, afluentes da bacia do Tietê. Na bacia, este rio aparece como um canal que entalhou profundamente o leito e se caracterizando, portanto, um nível de base local para as áreas úmidas. Por corresponderem a depressões topográficas e estarem sazonalmente alagadas, o reconhecimento das lagoas temporárias pode ser feito, igualmente, pela cobertura de gramíneas que se destaca do Cerrado arbóreo-arbustivo do entorno, correspondendo às posições elevadas e melhor drenadas do platô. A tendência da distribuição das áreas úmidas sugere que ela está diretamente conectada com os rios, funcionando como uma zona, ao mesmo tempo, de recarga e descarga do aquífero.

Os planaltos tabulares, que também correspondem a superfícies de aplainamento, são áreas propícias para a formação de áreas úmidas interiores em razão da permanente elevação do nível freático. Por outro lado, as quebras de vertentes, no caso o aprofundamento do vale, facilita o fluxo interno da água do solo em direção ao vale.

Contrariando os relatos de antigos frequentadores da área, através da análise do Gráfico 7 não é possível concluir que as lagoas temporárias estão diminuindo gradativamente ao longo dos anos e tendendo ao seu desaparecimento. Existe uma variação da área total somada das LTs nas

estações chuvosas de cada ano, entretanto nada comprova tal diminuição gradual como foi especulado no início do estudo.

Gráfico 7. Variação da área total das Lagoas Temporárias.



Fonte: Autor, 2018.

Considerando que as lagoas são sazonais, espera-se encontrar uma relação estreita entre o volume de precipitação e sua submersão. O volume de precipitação acumulada durante a estação chuvosa (novembro - março) apresentou como média de todos anos analisados 898,75 mm, com máximo atingindo 1.567,3 mm em 1995 e mínimo de 618 mm em 2008. Em relação às LTs a média da área total no ano foi de 32.380,8 m², atingindo a máxima de 48.685,26 m² em 2016 e mínima de 0 m² em 1998, 1994, 2000, 2006, 2014, 2015 e 2017 mesmo durante estação úmida. Nos anos de 1987, 1992, 1997 e 2003 não foi possível o cálculo das áreas durante a estação chuvosa devido a presença de cobertura de nuvens nas imagens analisadas.

Dois fenômenos climáticos que influenciam os regimes hídricos mundiais e por este motivo têm de ser citados neste estudo são as ocorrências de El Niño e La Niña. O (Gráfico 5) e (Tabela 3) indicam os respectivos anos e intensidade dos episódios de variação na temperatura das águas oceânicas.

As condições reportadas no (Gráfico 6) causaram uma precipitação acima do normal no Sul do Brasil e condições mais secas que a normal no Nordeste durante o verão de 86/87. Diferenças de variáveis meteorológicas entre o verão de 86/87 e 88/89, realçaram as influências dos episódios El Niño e La Niña sobre a região tropical da América do Sul (CAVALCANTI, 1996).

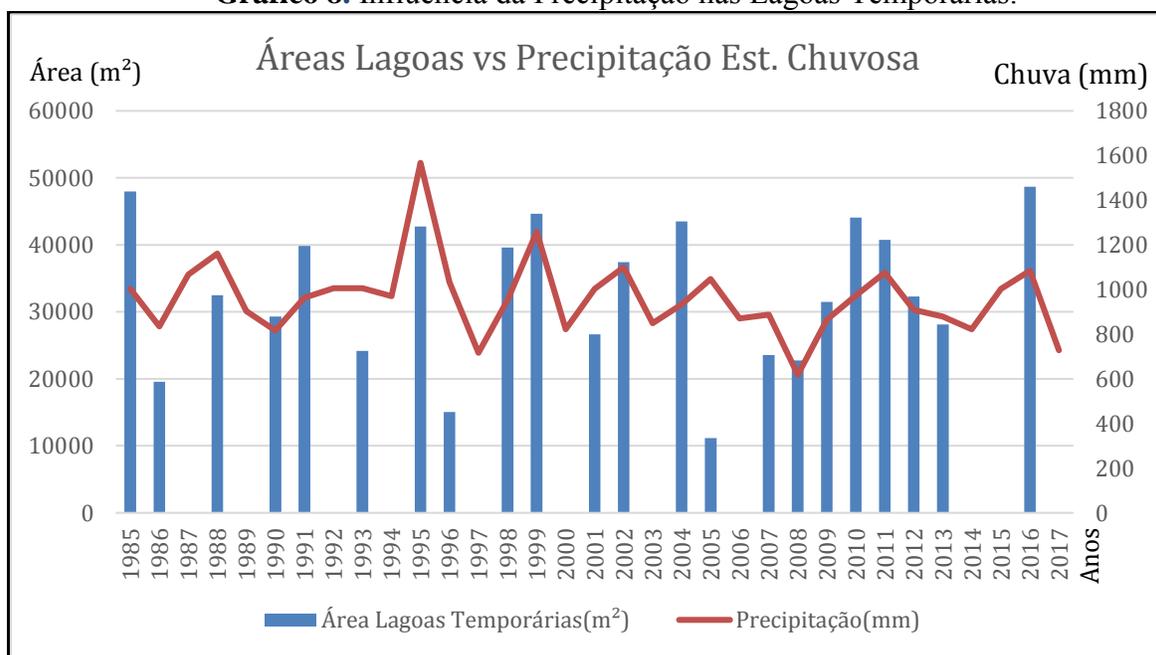
O elevado valor de área total de LTs obtido no ano de 1985 está associado ao período de 1982-1983 que foi marcado por um El Niño de alta intensidade trazendo chuvas para a região sudeste do país e consequentemente ampliando a submersão do solo nas áreas topograficamente rebaixadas que caracterizam as LTs. Vale citar que em 1984 e 1985 foram anos de La Niña, entretanto de baixa intensidade, prevalecendo período de influência do El Niño de 82/83 (Gráfico 5).

Isso fica evidente ao analisar o gráfico do índice ONI (Gráfico 5). Considerando o período antecedente ao ano de 1985 (jan 1977 a jan 1984), conclui-se que de janeiro de 1977 até janeiro de 1983 houve um predomínio de El Niños, com destaque para o pico de 1982/1983. Esse período supera a fase de La Niña encontrada entre janeiro de 1984 e janeiro de 1985 e justifica a grande área de LTs encontradas em 1985.

O maior valor em área total de lagoas foi obtido em 2016, com quase 50.000 m² somados. Segundo a (Tabela 3) e o (Gráfico 5), o intervalo de 2015/16 foi marcado por um intenso El Niño. O (Gráfico 5) revela este pico de 2015/16 como o maior desde de 1950.

No (Gráfico 8) há a relação estreita entre a pluviometria acumulada da estação úmida com a manifestação das LTs considerando suas áreas totais. A influência da chuva é clara, quanto maior o volume de chuva, maior a área das LTs.

Gráfico 8. Influência da Precipitação nas Lagoas Temporárias.



Fonte: Autor, 2018.

Essa resposta veloz pode ser atribuída ao tipo de solo encontrado na área de estudo. A alteração destas rochas sedimentares da Formação Botucatu (Figura 6) resulta em solos muito arenosos, que permite rápida infiltração da água pelos poros (LINDOSO, 2008), que ao serem saturados, afloram, dando origem às LTs.

Os perfis de solo estudados no platô, na transição e na depressão topográfica são compostos por material muito arenoso, com manchas de quartzo lavado e sem estrutura (maciço). Nos horizontes mais profundos a cor é ligeiramente mais vermelha possivelmente relacionado com a presença de concreções ferruginosas. Em subsuperfície, as camadas de solo são amarelas, quartzosas e, na superfície, há um leve aumento da concentração da matéria orgânica como indicativo de maior umidade. A cobertura pedológica não apresenta descontinuidades laterais de horizontes indicando que as mudanças no solo são resultados da diferença de umidade. Desta forma, os solos das depressões topográficas são armazenadores de água e contribuem para alimentar o aquífero.

Figura 19. Perfis topográfico, de vegetação e de solo nos diferentes compartimentos de paisagem (platô, transição e depressão topográfica úmida).



Fonte: Disciplina Pedologia e Mapeamento Agroecológico – Ecologia, UNESP Rio Claro, 2018.

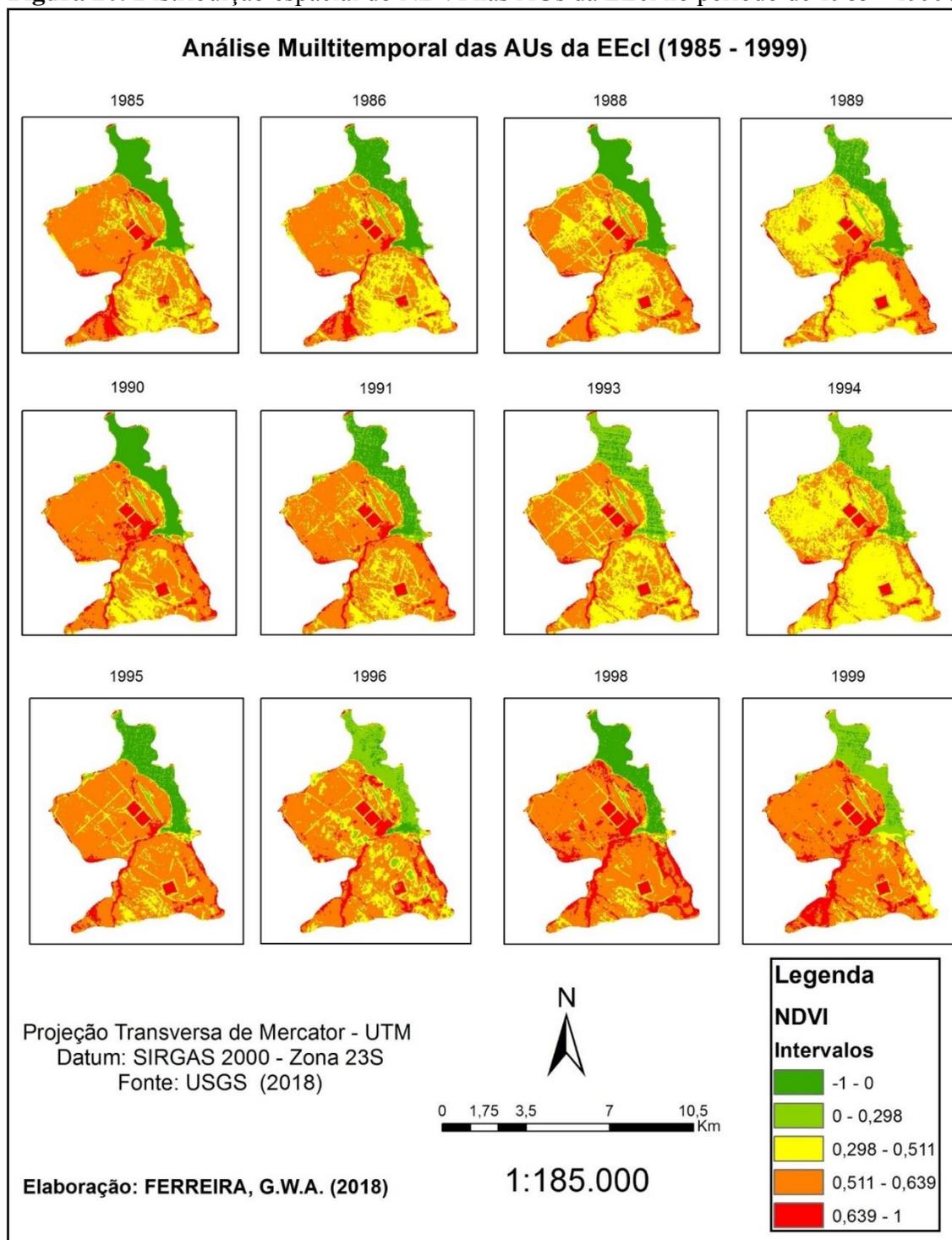
Em um estudo realizado em outra área de Cerrado, localizado no sudoeste goiano, classificou-se o Neossolo Quartzarênico com seguinte composição granulométrica: 930 g kg⁻¹ de areia, 30 g kg⁻¹ de silte e 40 g kg⁻¹ de argila (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). Juntamente com o solo arenoso outro fator que pode possibilitar a saturação da água é proximidade do lençol freático da superfície, comum em áreas de Cerrado no estado de SP (CARVALHO, 2012). Da mesma forma que as características citadas acima permitem a acelerada saturação do solo durante um período de chuvas e como resultado o surgimento das lagoas, elas também são fator determinante para o desaparecimento da LT na ausência de chuva. Portanto em períodos de baixa pluviosidade, ou até mesmo de inexistência de chuva, acarretam na drenagem interna vertical de água do solo também de forma acelerada. Isso explica a relação íntima entre os índices pluviométricos e a área total das LTs (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005).

Ainda segundo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005) a densidade do solo está diretamente relacionada com a permeabilidade e sofre interferência pela relação entre a massa de solo seco e o volume total, pela cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e uso e manejo do solo. O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo. Foi comprovado que o solo de áreas do Cerrado que sofreu ação antrópica teve sua densidade aumentada, decorrente por exemplo do pisoteio do gado ou do uso de máquinas agrícolas (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). No Neossolo Quartzarênico, mesmo tipo de solo encontrado nas LTs, houve uma diminuição de 24% no volume total de poros quando comparadas com Cerrado nativo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005). Os sistemas de manejo e uso do solo também promovem alterações na densidade do solo e porosidade total em maior intensidade no Neossolo Quartzarênico se comparado a outros tipos de solo. A remoção do Cerrado nativo para atividades antrópicas são características das áreas que rodeiam a Estação Ecológica de Itirapina, o que pode estar alterando a dinâmica do fluxo de água e conseqüentemente as AUs da estação. Para comprovar essa hipótese seriam necessários estudos acerca do uso e ocupação do solo na região de Itirapina, juntamente com análises de tipo de solo e de permeabilidade.

Também foram obtidos resultados na aplicação do índice de vegetação NDVI. As respostas dos intervalos do NDVI (Tabela 2) estão distribuídos espacialmente nas (Figuras 20 e 21), revelam

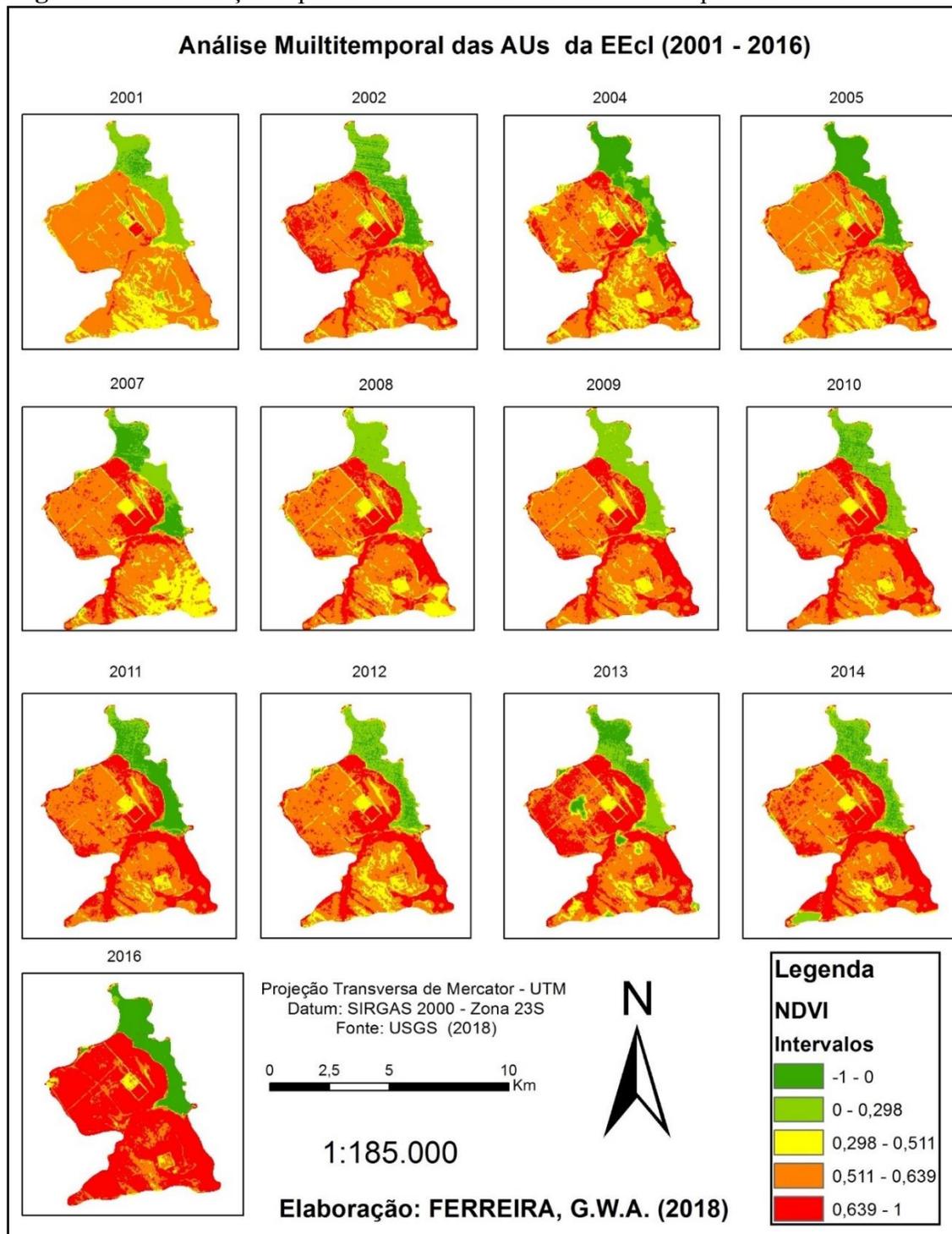
que os elementos visuais mais representativos são os de valores positivos, o que sugere a presença de cobertura vegetal.

Figura 20. Distribuição espacial do NDVI nas AUs da EEcl no período de 1985 - 1999.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 21. Distribuição espacial do NDVI nas AUs da EEcl no período de 2011 - 2016.



Fonte: Autor, 2018.

Os valores de NDVI foram agrupados em cinco classes e seus respectivos alvos de superfície identificados. Os pontos de quebra dos intervalos foram definidos a partir do cálculo da média de cada ponto de quebra gerado automaticamente pelo ArcMap. Conforme sugerido pelo índice, os valores negativos agrupam as áreas sem vegetação, representados pelos corpos d'água e solo exposto (Classe 1) (Tabela 2).

A Classe 1 que apresenta os valores negativos de NDVI (-1 - 0) indicam a presença de corpos d'água (observados na porção nordeste das imagens, Represa do Lobo), de solo exposto (também na porção nordeste observados na pista de pouso do aeródromo ao lado da Represa do Lobo) e em alguns casos como em 1996 e 2013 ocorram em áreas de sombra de nuvem.

A Classe 2 (0 - 2,298) representa a transição da resposta de água e do solo exposto para a vegetação campestre. Em alguns casos pode ser observada na Represa do Lobo e também em estradas.

Entrando agora nas classes com maior assiduidade vegetativa, a classe 3 do NDVI (0,298 – 0,511) exibe comportamento espectral correspondente a presença de herbáceas e arbustivas, características do campo limpo. São indicativos da presença de baixa atividade fotossintética, incipiente no que diz respeito a presença de clorofila, de acordo com os parâmetros deste índice. Com alvos de superfície onde ocorrem a mistura espectral das áreas sem vegetação (alguns casos observados nas estradas e ruas principalmente da porção noroeste) com áreas de cobertura vegetal.

Já a classe temática 4 apresentou valores de NDVI variando entre (0,511 - 0,639), indicando um nível de cobertura vegetal superior a classe 3, atribuídos à presença de árvores de pequeno porte. Estão distribuídas espacialmente por todas as feições do relevo.

A classe 5 refere-se às áreas que obtiveram os valores mais altos de NDVI entre (0,639 - 1), indicando valores de reflectância demonstrativos de alvos de superfície onde podem ser encontradas vegetação com alta atividade fotossintética, com presença de vegetação verde e mais densa que a Classe 4. A distribuição geoespacial dessa classe ocorre de forma dispersa ou agrupada principalmente próximas aos eixos de drenagem da malha hídrica local (Ribeirão do Lobo no sudoeste e Rio Itaqueri no Sudeste). Cito a resposta nessa Classe da pequena porção de cerradão, localizada na região centro-norte da EEcl, sudoeste da Represa do Lobo, logo abaixo dos dois

talhões (antiga área da USP), caracterizado por uma densa cobertura arbórea, que determina uma condição de baixa luminosidade em seu interior e a rara ocorrência de herbácea.

Quando observado a distribuição na área de estudo dessas Classes em relação ao período de tempo (1985 a 2016), é notória a mudança da área ocupada por cada classe na paisagem. Para o período de 1985 a 1989, ocorreu uma mudança de matriz, com uma maior proporção da Classe 4 (lenhosas de pequeno porte) para o ano de 1985, passando gradativamente para a ocupação da Classe 3 (herbáceas e arbustivas) no ano de 1989. A mesma mudança também foi observada para os anos de 1990 a 1994, tendo em 1990 uma predominância da Classe 4, com gradativa mudança para a predominância da Classe 3 no ano de 1994. Visto que a vegetação descrita na Classe 4 é menos característica de AUs se comparada com a da Classe 3, que por ser de menor porte se adapta melhor à essas áreas, conclui-se que esse ocorrido indica um aumento da quantidade total de água precipitada durante os períodos mencionados (1985 a 1989 e 1990 a 1994), comprovados pelo gráfico 7.

Para os anos de 1995 a 2001, a matriz se manteve semelhante, com o predomínio da Classe 4 (lenhosas de pequeno porte). A partir de 2002, iniciou-se uma mudança de matriz de maneira gradual, passando da Classe 4 para a Classe 5 (formações florestais densas). Tal mudança é um indicativo da mudança na dinâmica dessas áreas úmidas refletida na estrutura da vegetação de cerrado.

Entretanto ao analisar o período total de estudo (1985 a 2016), uma vez que a estrutura de vegetação encontra-se representada por maior presença de arbóreas (Classe 5) em relação a áreas de herbáceas e lenhosas (Classe 3 e 4, respectivamente), pode-se inferir em uma mudança na dinâmica dessa área, passando de áreas úmidas, com o lençol freático mais superficial para áreas mais secas, com menor disponibilidade de água e conseqüentemente uma abaixamento do lençol freático da região.

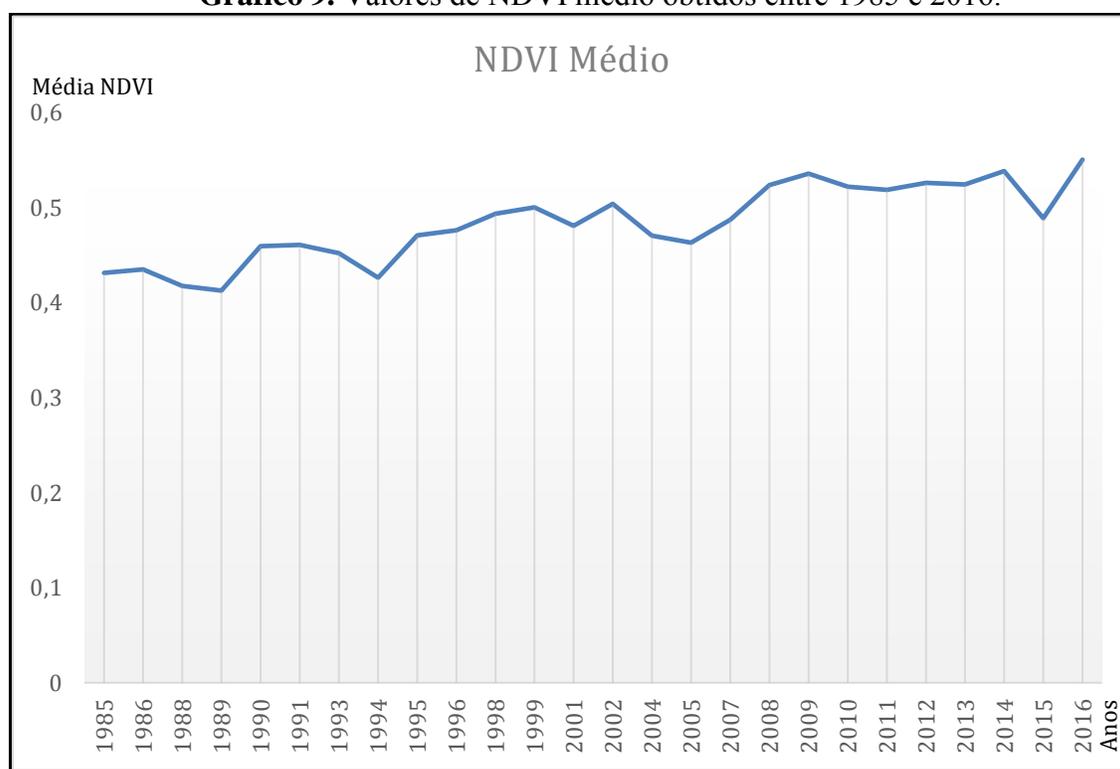
Como já comentado no item **4.2.2.3**, a média dos valores de NDVI foi atribuída como uma medida indireta da complexidade do habitat e o desvio padrão dos mesmos valores de NDVI considerados uma medida de heterogeneidade do habitat. Através de trabalhos de campo (GAMARRA, 2016) comprovou a acurácia da comparação proposta.

Portanto valores de NDVI médio indicam complexidade estrutural e quantidade de fitomassa do habitat e os valores obtidos pelo desvio padrão indicam a heterogeneidade e dispersão da complexidade vertical.

No mesmo estudo (GAMARRA, 2016), foi observado pelo autor a relação significativamente positiva entre a complexidade do habitat (NDVI médio) com a cobertura por espécies lenhosas e cobertura de serapilheira. Ambientes de Mata e Cerradão foram característicos de NDVI médio elevado. Enquanto a heterogeneidade do habitat (NDVI desvio padrão) teve os maiores valores registrados no Cerrado, por ser marcado fitofisionomia que apresentam diferentes densidades e altura das árvores.

Os valores de NDVI médio estão expostos no (Gráfico 9), no período de 1985 até 2016. Com o gráfico é evidente o aumento gradual dos valores médios de NDVI, sendo que o valor mínimo (0,412) foi alcançado em 1989, máximo (0,551) foi obtido no último ano analisado, 2016.

Gráfico 9. Valores de NDVI médio obtidos entre 1985 e 2016.

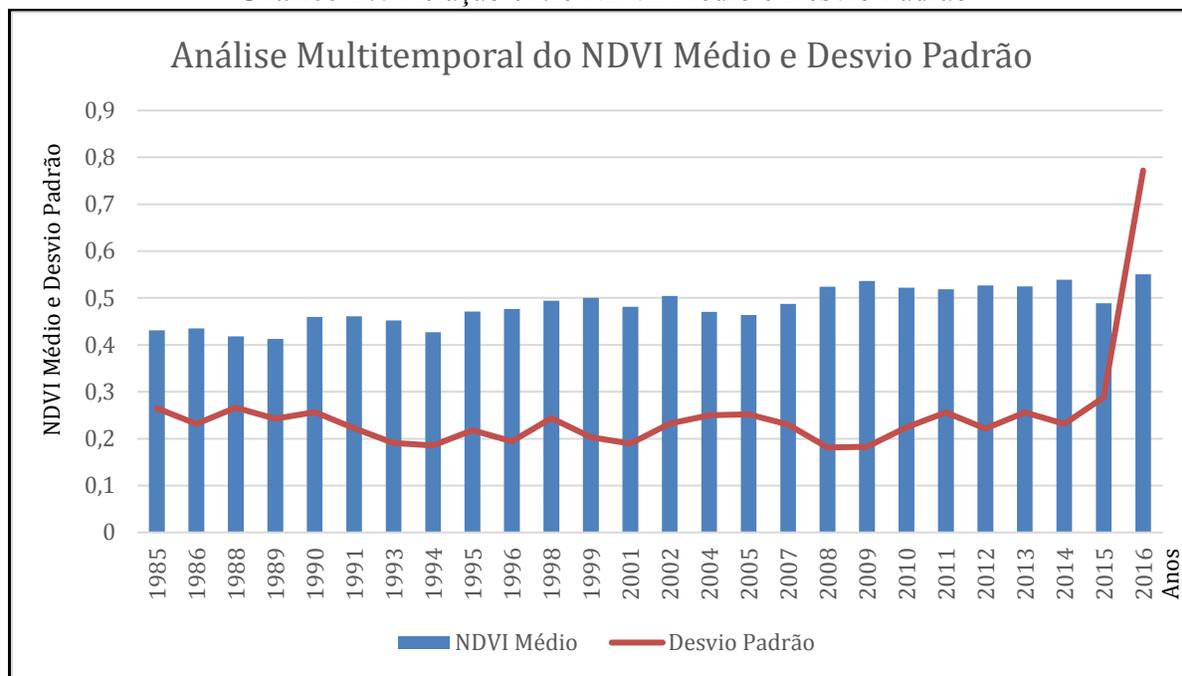


Fonte: Autor, 2018.

Nesse sentido, a análise da dinâmica fenológica da vegetação (variação sazonal) do bioma Cerrado indica que a complexidade do ambiente, considerando o desenvolvimento vertical da cobertura vegetal e a quantidade de fitomassa, aumentou. Portanto ao longo do período de estudo, o ambiente da Estação Ecológica de Itirapina teve sua estrutura vegetal demonstrando progresso vertical e expansão da quantidade de fitomassa. Isso indica que as áreas úmidas estão regredindo, visto que o tipo de vegetação condizente com o aumento da complexidade do habitat não é

característica de AUs. Esta afirmação está fundamentada nas observações realizadas em campo das LTs, e nos perfis topográfico, de vegetação e de solo nos diferentes compartimentos de paisagem (platô, transição e depressão topográfica úmida; Figura 19).

Gráfico 10. Relação entre NDVI Médio e Desvio Padrão



Fonte: Autor, 2018.

A relação entre o NDVI Médio e o Desvio Padrão obtidos em cada ano, indica que a complexidade do habitat não está relacionada com a heterogeneidade do mesmo. Em vista disso afirmo que o ambiente estudado pode ter um aumento de complexidade gradual (Gráfico 9), mas que não é necessariamente de forma heterogênea. Significando que a sua estrutura vegetal se desenvolveu em crescimento vertical e em quantidade total de fitomassa (densidade) com o passar dos anos, mas que a dispersão e as variações em altura das árvores não seguem um padrão.

Outro fator pode estar interferindo no padrão de chuvas da região sudeste, e que impactará o regime das AUs de Itirapina são as mudanças climáticas globais, que aumentam a frequência de eventos climáticos severos como estiagens, inundações e chuvas extremas.

Mudanças climáticas causam aumento do estresse hídrico, levando à redução dos recursos de água doce renováveis na maioria das regiões subtropicais secas, incerteza de disponibilidade de abastecimento de água numa base anual (como ocorrido durante o período de seca atípico de 2014/15) e à impactos no abastecimento de água para agricultura e indústrias. Consequentemente mudando o regime de chuvas da região SE, mudará também o regime das AUs e LTs de Itirapina,

trazendo com isso impactos ambientais para a região já que afetará o tempo e volume de recarga dos lençóis freáticos e o tempo de permanência das AUs e LTs na EEcl. Partindo disso muitos outros impactos, como a migração, ou até mesmo extinção de espécies nativas de fauna e flora e alterações na estrutura de solos serão observados, visto que o equilíbrio do meio ambiente terá sido perdido.

Impactos como esses podem facilmente destruir as AUs da Estação Ecológica de Itirapina. Se as alterações climáticas citadas aqui e no item **4.5** realmente ocorrerem nos próximos anos e as AUs tiverem sua estabilidade desequilibrada o ambiente perderá suas características, seja de solo, seja de temperatura, ou de regime hídrico. Tais condições fornecidas por essas áreas atualmente são o que garantem o prevalecimento de toda a flora e fauna atuais adaptadas, e conseqüentemente qualquer variação nessas condições específicas não permitirão a resiliência do ambiente.

6 CONCLUSÃO

O Cerrado e as áreas úmidas são ambientes naturalmente frágeis que já foram intensamente devastados pela ação antrópica. A insuficiente responsabilidade ambiental por parte do governo em preservar os biomas, unida com a tardia inserção na legislação ambiental, permitiu que a expansão agrícola os invadisse. Como resultado as consequências já estão sendo sentidas. O papel fundamental no equilíbrio do meio ambiente promovidos por essas áreas se acabou: a ausência o efeito tampão, a retirada da vegetação nativa que acarretou no aumento de escoamento superficial e desestruturação do solo são fatores que tendem a perturbar a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica. Além disso solos arenosos são naturalmente frágeis, permitindo que os processos erosivos se instalem neles com maior rapidez do que nas áreas que comportam outros tipos de solo.

Isso apenas contribuirá com o aumento na frequência de eventos extremos, comprovado por Zilli et al. (2017). Por esse motivo hoje é indispensável a valorização das AUs e do Cerrado por parte do governo, das instituições ambientais, de pesquisadores e da população para que finalmente haja preservação efetiva. A UC de Itirapina tem um valor imensurável para o meio ambiente.

Foi observado, através do Gráfico 7 uma relação diretamente proporcional entre a precipitação total da estação chuvosa e a área das lagoas temporárias. Quanto maior a quantidade de chuva no intervalo, maior a tendência de que as LTs se manifestem com mais intensidade no mesmo período e quanto menor a precipitação, menor será a manifestação das LTs. A rápida resposta está atribuída ao tipo de solo encontrado na região de estudo, o neossolo quartzarênico. Por ser bastante arenoso e poroso a precipitação tem um reflexo veloz, tanto para saturar quanto para drenar a área.

No início do trabalho, antes de iniciar as análises por sensoriamento remoto, foi discutido a situação das LTs com os integrantes da UC de Itirapina. Nessa conversa foi comentado pelos integrantes que no passado as LTs eram perenes e que estão cada vez mais tendendo à uma aparição mais discreta tanto em relação ao tempo de permanência como para área total. Contudo isso não foi comprovado pelo trabalho. Ao finalizar a análise multitemporal das imagens de 1985 até 2017 afirmo que desde de 1985 elas não são perenes, e sim sazonais, visto que nenhuma LTs perdurou durante a estação seca. Além disso, 2016 foi um ano marcado por uma quantidade alta de LTs, somando quase 50.000 m² de área alagada, e também provando contraria a hipótese de que elas estão diminuindo.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi aplicado neste estudo com a intenção de gerar uma resposta em relação à dinâmica das áreas úmidas de 1985 até 2017. Como sabemos qual tipo de vegetação é característico das AUs, através da literatura e trabalhos de campo, é válido utilizar esse índice como uma indicação indireta de quantidade de áreas úmidas. Neste estudo foi associado a média dos valores de NDVI com a complexidade do ambiente e o desvio padrão dos mesmo valores associados à heterogeneidade do ambiente. Ficou claro após a aplicação do índice que a complexidade do ambiente foi gradativamente aumentando de 1985 até 2016 (Gráfico 9), sugerindo um maior desenvolvimento vertical de estrutura vegetal assim como aumento da biomassa e densidade de indivíduos por área. Esse tipo de vegetação não é próprio de AUs o que permite concluir que as AUs da Estação Ecológica de Itirapina estão regredindo gradualmente à cada ano. A heterogeneidade também foi analisada, entretanto não demonstrou nenhum padrão de desenvolvimento. Isso indica que a heterogeneidade do habitat (variações na altura da vegetação) não está necessariamente conectada com a complexidade do mesmo.

Esse trabalho, portanto, demonstrou que as lagoas temporárias da Estação Ecológica de Itirapina têm uma relação estreita e diretamente proporcional com o total de chuva precipitado durante a estação chuvosa, contudo, em desacordo com a hipótese levantada pelos frequentadores da área, não estão regredindo com o tempo. Demonstrou também que, por sua vez, áreas úmidas estão regredindo, sendo 2016 o ano marcado pela mais baixa quantidade de áreas úmidas entre os 33 anos analisados no período de 1985 a 2017.

Para finalizar, este trabalho expôs a fragilidade do ambiente presente na UC de Itirapina, assim como a amplitude de aspectos ambientais que esta unidade salvaguarda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Servidor Público**, Brasília, v. 111, p. 41-55, 1983.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 28/08/2018.

ALVARADO, S., et al. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian Cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270-281, 2017.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo. n. 41, p. 169- 263. 1964.

BITENCOURT MD, MESQUITA JR. HN, MANTOVANI W, BATALHA MA & PIVELLO VR. **Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. In: Contribuição ao Conhecimento Ecológico do Cerrado**, 1, 1997, Brasília. Anais do Congresso Brasileiro de Ecologia Brasília: Universidade de Brasília, Dep. de Ecologia, p. 316-320. 1997.

BRASIL, Senado Federal. Constituição da república federativa do Brasil. **Centro Gráfico**, Brasília, 1988. 292 p.

BRASIL. Governo do Brasil. Áreas úmidas são essenciais para a biodiversidade. **MMA**, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/02/areas-umidas-sao-essenciais-para-a-biodiversidade>>. Acesso em: 28/10/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Áreas Úmidas - Convenção de Ramsar. **MMA**, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar>>. Acesso em: 04/09/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano de ação para prevenção controle do desmatamento e das queimadas: Cerrado. **MMA**, Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/201/_arquivos/ppCerrado_201.pdf>. Acesso em 05/09/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. **MMA**, Brasília, v. 1, 2016. 44 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA_Volume%20I.pdf>. Acesso 19/10/2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. **MMA**, Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/images/stories/instrucoes_normativas/SNUC.pdf>. Acesso: 13/07/2018.

CARVALHO, M. B. Regime freático e atributos do solo associados a gradiente fisionômico de floresta ripária em área de cerrado em Campinas, SP. **Dissertação de Mestrado, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas**, 2012. 105 p.

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos**, São José dos Campos, p. 52-64, 1996.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução nº303, de março de 2002: dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 28/10/2018.

COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 7, p. 17-23, 1978

- CPC. **Climate Diagnostics Bulletin**, August. (Climate Prediction Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C.). 1996.
- DA SILVA BARBOSA, A. E.; DE CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre–Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 33, p. 128-143, 2017.
- DIEGUES, A. C. S. An inventory of Brazilian wetlands. **IUCN**, 1994. 216 p.
- FERNANDO, F. et al. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **SGB-Serviço Geológico do Brasil, Porto Alegre, RS, Brasil Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG)**, Goiânia, v. 1997, n. 1997, p. 429-440, 2013.
- GAMARRA, R. M. et al. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no cerrado. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 307-332, 2016.
- GIRARD, P. et al. The Pantanal: Ecology, Biodiversity, and Sustainable Management of a Large Neotropical Seasonal Wetland. **Pensoft Publishers**, 2011. 857 p.
- HALPERT, M. S. et al. Climate assessment for 1995. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 5s, p. S1-S44, 1996.
- INPE. **Condições da última semana: possível ocorrência de El Niño durante ond-2018**. 2018. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 15/09/2018.
- JUNK, W. J. et al. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, Dordrecht, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011a.
- JUNK W. J. et al, **The Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a large Neotropical Seasonal Wetland**. Pensoft Publishers, 857 p., 2011b.
- JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, Chichester, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2013.
- JUNK, W. J. Wetlands of tropical south America. In: **Wetlands of the world: Inventory, ecology and management Volume I**. Springer, Dordrecht, p. 679-739, 1993.
- KOUSKY, V. E. **Variabilidade atmosférica e oceânica durante a década do TOGA relacionada com o fenômeno El Niño - Oscilação Sul**. CPTEC, 1996.
- KRONKA, F. J. N. et al. Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo. São Paulo: **Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal**, 2005. 200 p.
- KRONKA, F. J. N. et al. Áreas de domínio do cerrado no Estado de São Paulo. In: **Áreas de domínio do Cerrado no estado de São Paulo**. SMA, 1998. 84 p.
- LINDOSO, G. S. **Cerrado sensu stricto sobre neossolo quartzarênico: fitogeografia e conservação**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008. 186 p.
- LORENSI, C. **Estudo de eventos de El Nino e La Nina em anéis de crescimento de árvores para a região sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. 116 p.
- MELO, E.T.; SALES, M.C.L.; OLIVEIRA, J.G.B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús – CE.

- MOREIRA, M. M. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na região espectral e em parâmetros agrônômicos**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 142 p., 1997.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human wellbeing: wetlands and water**. 2005. Disponível em: <<http://www.unep.org/maweb/documents/document.358.aspx.pdf>>. Acesso em: 28/10/2018.
- MITSCH, W. J.; DAY, J. W. Restoration of wetlands in the Mississippi–Ohio–Missouri (MOM) River Basin: Experience and needed research. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 55-69, 2006.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, 2018. Disponível em: <<https://www.noaa.gov/>>. Acesso em: 17/10/2018.
- NULL, J. El Niño and La Niña Years and Intensities 2018. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 15/09/2018.
- PIEIDADE, M. T. F. et al. As áreas úmidas no âmbito do Código Florestal brasileiro. **Código Florestal e a Ciência: O que nossos legisladores ainda precisam saber.**, p. 9, 2012. Disponível em: <[http://ib.usp.br/zoologia/seminarios/Seminarios-USP/Curso_BIZ5755_\(2015\)_files/codigo_florestal_e_a_ciencia_o_que_nossos_legisladores_ainda_precisam_saber_Comite_Brasil_2012.pdf](http://ib.usp.br/zoologia/seminarios/Seminarios-USP/Curso_BIZ5755_(2015)_files/codigo_florestal_e_a_ciencia_o_que_nossos_legisladores_ainda_precisam_saber_Comite_Brasil_2012.pdf)>. Acesso em: 28/10/2018.
- PONÇANO, W. L. et al. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo: escala 1:1.000.000**. IPT, São Paulo, 1981.
- POELKING, E. L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R. S. D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13. (SBSR), Florianópolis, INPE, 2007.
- RA'E GA**, v.23, p.520- 533, 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/24919/16717>>. Acesso em: 15/10/2018.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T., **Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In **Cerrado: ambiente e flora** (S.M. Sano ; S.P. Almeida, eds.) EMBRAPA/CPAC, Brasília, 1998. p. 89 - 166.
- RODRIGUES, R. R., **A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno**. Circular Técnica IPEF 189:1-17. 1999
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.
- ROUSE, J.W. et al., Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In **3rd ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, pp. 309–317, 1973.
- ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, p. 41-58, 1996.
- SANTOS, E. P.; FILHO, I. M. C.; BRITO, J. I. B. **Influência do Índice de Oscilação Sul (IOS) e Anomalia do Niños sobre as chuvas no Nordeste Brasileiro**. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. 4 p. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/cbmet2010/artigos/538_87068.pdf>. Acesso em: 28/10/2018.
- SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.
- USGS EROS Data Center. **Shuttle Radar Topography Mission**. <<http://edc.usgs.gov/srtm/mission.html>>. 2004. Acesso em: 24/08/2018.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R.; PEREZ FILHO, A. Mapeamento de formações arenosas em fragmentos de Cerrado utilizando dados e produtos do sensor ASTER. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE**, Goiânia, p. 3419-3426, 2005.

VON DER HEYDEN, C. J.; NEW, M. G. The role of a dambo in the hydrology of a catchment and the river network downstream. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 7, n. 3, p. 339–357, 2003.

ZAINE, M. F.; PERINOTTO, J. A. J. Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro, SP. **Rio Claro: Câmara Municipal de Rio Claro**, 1996.

ZANCHETTA, D. et al. Plano de Manejo Integrado-Estações Ecológica e Experimental de Itirapina. **Instituto Florestal**, São Paulo, v. 1, 2006.

ZILLI, M. T. et al. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017.

ANEXO

