

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**TESE DE DOUTORADO**

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE NDVI E EVI DA  
COBERTURA VEGETAL EM ÁREAS DE SOLOS RQo  
ASSOCIADOS AO PROCESSO DE ARENIZAÇÃO NO RS, GO,  
TO E PI**

**Letícia Celise Ballejo da Costa**

**Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli**

**Porto Alegre, RS, Brasil  
2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE NDVI E EVI DA COBERTURA  
VEGETAL EM ÁREAS DE SOLOS RQO ASSOCIADOS AO PROCESSO DE  
ARENIZAÇÃO NO RS, GO, TO E PI**

**Letícia Celise Ballejo da Costa**

**Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli**

**Banca Examinadora:**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Dirce Maria Suertegaray

Prof. Dr. Roberto Verdum

Prof. Dr. Clódís de Oliveira Andrades Filho

Prof. Dr. François Laurent

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Doutora em Geografia.

**Porto Alegre, RS, Brasil  
2019**

### CIP - Catalogação na Publicação

Costa, Leticia Celise Ballejo da  
VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE NDVI E EVI DA COBERTURA  
VEGETAL EM ÁREAS DE SOLOS RQo ASSOCIADOS AO PROCESSO  
DE ARENIZAÇÃO NO RS, GO, TO E PI / Leticia Celise  
Ballejo da Costa. -- 2019.  
142 f.  
Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Comportamento espaço-temporal. 2. Cobertura  
vegetal. 3. Arenização. I. Guasselli, Laurindo  
Antonio, orient. II. Título.

*Dedico esta tese à duas mulheres inspiradoras: à minha avó Juovina (in memoriam), mulher forte, guerreira, que não teve a oportunidade de frequentar a escola e sonhava ter uma filha professora. E à minha mãe Elda, batalhadora, com uma filha pequena para criar, se esforçou e foi a primeira da família a obter um diploma de nível superior.*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade de obter um ensino de qualidade.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS), pela infraestrutura disponibilizada, sem a qual seria impossível desenvolver o presente trabalho.

Ao meu orientador, Laurindo Antonio Guasselli, pelo apoio, compreensão e dedicação na orientação.

Ao programa CAPES/COFECUB pela concessão de bolsa para a realização do doutorado sanduíche na França.

Ao coordenador brasileiro Roberto Verdum e ao coordenador francês François Laurent, do projeto “QUALPROSUL – Qualidades dos produtos da territorialização no Rio Grande Do Sul” pela confiança e oportunidade ofertadas. E a toda equipe do projeto, obrigada pelas trocas de conhecimento e auxílio científico.

À Universidade de Le Mans na França, principalmente ao setor responsável pelo acolhimento dos alunos estrangeiros – departamento de Relações Internacionais, obrigada pela acolhida e auxílio durante o período de doutorado sanduíche.

À toda equipe de professores, funcionários e alunos do Laboratório ESO – *Espaces et Sociétés* da Universidade de Le Mans, especialmente a François Mesnner pela ajuda fundamental na realização das análises metodológicas da presente tese.

Aos amigos que fiz durante a estadia na França, agradeço a acolhida e auxílio dos queridos Paul Ragot e Michèle Roussillat. E ao companheirismo de Reinis Osis.

Aos professores da banca pelas sugestões e correções realizadas.

À todos os colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental do CEPSRM.

Aos meus queridos amigos que me acompanham nessa caminhada da vida, principalmente à Isabel Galvão, Sandra Schmitt, Tatiana Bottin e Samuel Oliveira, amigos muito especiais, que me ofertaram amor, carinho e apoio em

diferentes etapas durante a realização da tese.

Ao meu marido Alexandre Claro da Costa, pelo amor, paciência e dedicação. Obrigada por me apoiar e dar suporte em todos os momentos, principalmente naqueles mais difíceis, sem você eu não teria chegado até aqui.

Aos meus avós Juvina (*in memoriam*) e Getúlio, alicerces em minha vida, o amor de vocês ajudaram a construir quem eu sou hoje. Agradeço ao meu vovô por sempre me apoiar e incentivar na carreira acadêmica.

Agradeço à minha mãe e à minha irmã, Elda e Gabrielly Ballejo, pelo amor, apoio e compreensão. O amor de vocês me fortalece, me impulsiona a seguir em frente e me deram forças para chegar até aqui. Obrigada em especial à minha mãe que nunca mediu esforços para que eu atingisse meus objetivos ao longo de toda minha formação. Agradeço também, ao meu pai Gerson, que mesmo distante sempre me apoiou e ofertou amor e preocupação. E ao meu padrasto Eliezér pela parceria e carinho.

E por último e mais importante, agradeço a Deus, por me privilegiar com seu amor infinito, por ter me sustentado nos bons e maus momentos e ter me permitido chegar até aqui e alcançar essa vitória.

## RESUMO

O processo de arenização conceituado inicialmente para a região sudoeste do Rio Grande do Sul, também ocorre em outras áreas do país. Estudos demonstram que o ponto convergente dessas áreas é o tipo de solo, o Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo). Diante disso, o presente trabalho propõe analisar o comportamento temporal da cobertura vegetal dessas áreas. Como objetivos buscou-se analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de RQo, associados a ocorrência de arenização em Gilbués/PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO e em Maçambará/RS, com o intuito de verificar uma ocorrência de comportamento sazonal dos índices. Para atingir os objetivos, selecionou-se polígonos amostrais nas áreas de estudo e por meio da ferramenta web SATVeg gerou-se espectros temporais de NDVI e EVI do sensor MODIS do período de 2000 a 2015. Para a análise das características da série temporal das imagens MODIS utilizou a metodologia criada por Forkel *et al.* (2013), implementada no software R por meio do pacote *greenbrown*. Coletou-se também dados de precipitação e temperatura por meio da ferramenta web SeriesView para correlacioná-los com os dados de NDVI e EVI. Como resultados, observou-se um comportamento sazonal dos espectros temporais de NDVI e EVI influenciados pela dinâmica climática de cada área. Em Gilbués, Mateiros e Serranópolis a sazonalidade da cobertura vegetal do Cerrado natural e convertido em pastagens relaciona-se diretamente com a dinâmica das chuvas dessa região. Em Maçambará/RS é a temperatura responsável pela sazonalidade das formações campestres do Pampa. O pacote *greenbrown* forneceu os padrões espaciais da média, tendência, IAV, sazonalidade e STV de cada série temporal de NDVI e EVI das áreas de RQo, evidenciando semelhanças e especificidades entre as áreas de acordo com o tipo de cobertura vegetal e uso do solo e intensidades dos processos de arenização. A partir da análise dos resultados foi possível estabelecer características semelhantes e distintas dos fatores analisados que se relacionam com a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos RQo, associados à ocorrência de arenização em Gilbués/PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO e em Maçambará/RS.

**Palavras-Chaves:** Comportamento espaço-temporal; cobertura vegetal; NDVI; EVI; arenização, Neossolos Quartzarênicos Órticos.

## RÉSUMÉ

Le processus d'*arénização* initialement conceptualisé pour la région sud-ouest du Rio Grande do Sul a également lieu dans d'autres régions du pays. Des études montrent que le type de sol, les Neosols Quartzo-arénitiques (RQo), convergent vers ces zones. Dans ces conditions, le présent travail propose d'analyser le comportement temporel de la couverture végétale de ces zones. Les objectifs de cette étude étaient d'analyser les variations spatio-temporelles de la couverture végétale dans les zones de RQo dues au NDVI et à l'EVI, associée à l'apparition d'*arénização* à Gilbués/PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO et Maçambará/RS, dans le but de: vérifier l'occurrence d'un comportement saisonnier des indices. Pour atteindre les objectifs, des échantillons de polygones ont été sélectionnés dans les zones d'étude et l'outil Web SATVeg a généré les spectres temporels NDVI et EVI du capteur MODIS de 2000 à 2015. Pour l'analyse des caractéristiques de la série chronologique des images MODIS a utilisé la méthodologie créée par Forkel et al. (2013), mis en œuvre dans le logiciel R via le package *greenbrown*. Les données de précipitation et de température ont également été collectées à l'aide de l'outil Web SeriesView afin de les corrélérer avec les données NDVI et EVI. En conséquence, nous avons observé un comportement saisonnier des spectres temporels de NDVI et EVI influencé par la dynamique climatique de chaque zone. À Gilbués, Mateiros et Serranópolis, la saisonnalité de la couverture végétale naturelle du Cerrado convertie en pâturage est directement liée à la dynamique des précipitations dans cette région. À Maçambará/RS, la température est responsable de la saisonnalité des formations de campagne de la Pampa. Le package *greenbrown* fournissait les schémas spatiaux de moyenne, tendance, IAV, saisonnalité et STV de chaque série temporelle NDVI et EVI des zones RQo, montrant les similitudes et les spécificités entre les zones en fonction du type de couverture végétale et d'utilisation des terres. intensités des processus de ponçage. L'analyse des résultats a permis d'établir des caractéristiques similaires et distinctes des facteurs analysés liés à la variation spatio-temporelle de la couverture végétale des NDVI et EVI, dans des zones de sols RQo, associées à la survenue d'une arénisation à Gilbués, Mateiros, Serranópolis et à Maçambará.

**Mots-clés:** comportement spatio temporel; couverture végétale; NDVI; EVI; *arénização*, Neosols Quartzo-arénitiques.



## ABSTRACT

The sandization process initially conceptualized for the southwest region of Rio Grande do Sul also occurs in other areas of the country. Studies show that the converging point of these areas is the soil type, the Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo). Given this, the present work proposes to analyze the temporal behavior of the vegetation cover of these areas. The objectives of this study were to analyze the NDVI and EVI spatiotemporal variation of vegetation cover in RQo areas, associated with the occurrence of sanding in Gilbués / PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO and Maçambará/RS, aiming at verify an occurrence of seasonal behavior of the indices. To achieve the objectives, sample polygons were selected in the study areas and the SATVeg web tool generated NDVI and EVI temporal spectra of the MODIS sensor from 2000 to 2015. For the analysis of the characteristics of the time series of the images MODIS used the methodology created by Forkel et al. (2013), implemented in software R through the greenbrown package. Precipitation and temperature data were also collected using the SeriesView web tool to correlate them with NDVI and EVI data. As a result, we observed a seasonal behavior of NDVI and EVI temporal spectra influenced by climate dynamics of each area. In Gilbués, Mateiros and Serranópolis the seasonality of the natural Cerrado vegetation cover and converted to pasture is directly related to the rainfall dynamics of this region. In Maçambará / RS is the temperature responsible for the seasonality of the Pampa countryside formations. The greenbrown package provided the spatial patterns of mean, trend, IAV, seasonality and STV of each NDVI and EVI time series of the RQo areas, showing similarities and specificities between areas according to the type of vegetation cover and land use. intensities of sanding processes. From the analysis of the results it was possible to establish similar and distinct characteristics of the analyzed factors that are related to the NDVI and EVI spatiotemporal variation of the vegetation cover in areas of RQo soils, associated to the occurrence of arenization in Gilbués / PI, Mateiros / TO, Serranópolis / GO and in Maçambará / RS.

**Keywords:** Seasonal behavior of vegetation; vegetal cover; NDVI; EVI; sandization process; Neossolos Quartzarênicos Órticos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização dos municípios que apresentam solos RQo. ....	22
Figura 2: Municípios com áreas representativas de areais no sudoeste do RS. ....	25
Figura 3: Paisagens dos areais em Maçambará – RS. ....	27
Figura 4: Paisagens dos processos de arenização em Maçambará – RS. ....	27
Figura 5: Unidades geoambientais do Sudoeste de Goiás. ....	29
Figura 6: Mapa da distribuição dos areais no Sudoeste de Goiás. ....	29
Figura 7: Areais em Serranópolis. Fonte: Sousa et al. (2012). ....	30
Figura 8: Vegetação sobre os solos RQo em Mateiros. ....	32
Figura 9: Dunas do Jalapão em Mateiros/TO. ....	33
Figura 10: Neossolo Quartzarênico Órtico em Gilbués. ....	34
Figura 11: Feições associadas a solo exposto em Gilbués PI. ....	34
Figura 12: Ravinas: Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS. ....	47
Figura 13: Voçoroca: Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS. ....	47
Figura 14: Representação da formação de areais em rampas. ....	48
Figura 15: Representação da formação de areais em colina. ....	48
Figura 16: Interface de trabalho da ferramenta web SATVeg. ....	54
Figura 17: Mapa-imagem com localização das unidades amostrais em solos RQo, Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará. ....	55
Figura 18: Interface SATVeg. ....	56
Figura 19: Interface SATVeg. ....	56
Figura 20: Componentes de séries temporais estimadas. ....	60
Figura 21: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Gilbués. ....	64
Figura 22: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de cobertura vegetal por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, nas áreas de RQo em	

Gilbués.....	65
Figura 23: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa e a estação seca – Gilbués.....	66
Figura 24: Mapa de solos e imagem do município de Gilbués/PI.....	67
Figura 25:Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado. ..	68
Figura 26:(a) Mapa da vegetação original; (b) Mapa do Uso do solo, Gilbués/PI. 70	
Figura 27: Mapa de cobertura e uso do solo 2009, Gilbués.....	72
Figura 28: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Mateiros.....	73
Figura 29: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Mateiros.....	73
Figura 30: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa (06/03/2015) e a estação seca (28/07/2015) – Mateiros. ....	74
Figura 31: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Mateiros.....	76
Figura 32: Mapa de solos e imagem do município de Mateiros. ....	76
Figura 33: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Serranópolis. ....	77
Figura 34: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Serranópolis. ....	77
Figura 35: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa (06/03/2015) e a estação seca (28/07/2015) – Serranópolis. ....	78
Figura 36: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Serranópolis. ....	79
Figura 37: Mapa de solos e imagem do município de Serranópolis.....	79
Figura 38: Áreas contínuas de areais, a partir de pastagens abandonadas. ....	80
Figura 39: Paisagem no córrego Panela em Serranópolis mostrando em 1º e 2º plano, areais comuns da região. ....	81
Figura 40: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Maçambará. ....	81

Figura 41: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Maçambará. ....	82
Figura 42: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação quente (02/02/2015) e a estação fria (28/07/2015) – Maçambará.....	83
Figura 43: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Maçambará.....	84
Figura 44: Mapa de solos e imagem do município de Maçambará. ....	84
Figura 45: Espacialização dos areais (manchas em vermelho) em Maçambará...	85
Figura 46: Areal na bacia do Arroio Puitã, Maçambará.....	85
Figura 47: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Gilbués/PI. ....	87
Figura 48: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Gilbués/PI. ....	87
Figura 49: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Gilbués/PI. ....	87
Figura 50: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Gilbués/PI. ....	87
Figura 51: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Gilbués/PI.....	89
Figura 52: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Gilbués/PI no período de 2000 a 2015.....	90
Figura 53: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Gilbués/PI no período de 2000 a 2015.....	90
Figura 54: Localização e característica do uso do solo da amostra 4 de solo exposto, Gilbués. ....	91
Figura 55: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Mateiros/TO. ....	93
Figura 56: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 –	

amostras de reduzida biomassa, Mateiros/TO.....	93
Figura 57: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Mateiros/TO.....	93
Figura 58: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Mateiros/TO.....	93
Figura 59: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Mateiros/TO.....	94
Figura 60: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Mateiros/TO no período de 2000 a 2015.....	95
Figura 61: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Mateiros/TO no período de 2000 a 2015.....	96
Figura 62: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.....	98
Figura 63: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.....	98
Figura 64: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Serranópolis/GO.....	98
Figura 65: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Serranópolis/GO.....	98
Figura 66: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Serranópolis/GO.....	98
Figura 67: Linha de tendência linear da variação temporal do NDVI do período 2000 a 2015 -amostra 1 de solo exposto, Serranópolis/GO.....	100
Figura 68: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Serranópolis/GO no período de 2000 a 2015.....	100
Figura 69: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos	

índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Serranópolis/GO no período de 2000 a 2015.....	101
Figura 70: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Maçambará/RS.....	103
Figura 71: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Maçambará/RS.....	103
Figura 72: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Maçambará/RS.....	103
Figura 73: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Maçambará/RS.....	104
Figura 74: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Maçambará/RS. ....	104
Figura 75: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Maçambará no período de 2000 a 2015.....	105
Figura 76: Linha de tendência linear da variação temporal do NDVI do período 2000 a 2015 -amostra 4 de reduzida biomassa Maçambará/RS. ....	105
Figura 77: Distribuições espaciais das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Gilbués/PI.....	109
Figura 78: Distribuições espaciais das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Mateiros/TO.....	113
Figura 79: Gráfico da variação anual da cobertura do Cerrado no município de Mateiros/TO.....	114
Figura 80: Distribuições espaciais dos parâmetros das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Serranópolis/GO.....	115
Figura 81: Tendência de NDVI e EVI dos remanescentes das formações vegetais do Cerrado nas áreas de RQo em Serranópolis. ....	116
Figura 82: Áreas de tendência negativa de NDVI em RQo – Serranópolis.....	118
Figura 83: Tendência do NDVI dos remanescentes vegetais de Cerrado e de áreas	

de pastagens e agricultura nos RQo em Serranópolis. ....	119
Figura 84: Áreas de solo RQo em Serranópolis. ....	120
Figura 85: Distribuições espaciais dos parâmetros das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Maçambará. ....	122
Figura 86: Areal em Maçambará – bacia do Arroio Puitã. ....	123
Figura 87: Areal em Maçambará – bacia do Arroio Puitã. ....	124

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Fitofisionomias de Cerrado da região de Gilbués. Fonte: Silva, (2014) .....	36
Quadro 2. Condições físicas dos processos de arenização e desertificação. Fonte: Silva, (2014) .....	37
Quadro 3. Imagens de NDVI e EVI/MODIS do período de um ano .....	57
Quadro 4: Comparativo dos fatores que se relacionam com a variação espaço-temporal de NDVI e EVI em áreas de solos RQo .....	127



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Gilbués/PI.....	88
Tabela 2: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Gilbués/PI.....	88
Tabela 3: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Mateiros/TO.....	94
Tabela 4: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Mateiros/TO. ....	94
Tabela 5: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.....	97
Tabela 6: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Serranópolis/GO. ....	97
Tabela 7: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Maçambará/RS. ....	102
Tabela 8: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Maçambará/RS. ....	103
Tabela 9: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Gilbués.....	106
Tabela 10: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Mateiros. ....	111
Tabela 11: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Serranópolis.....	114
Tabela 12: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Maçambará. ....	120

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - ASPECTOS INTRODUTÓRIOS E CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b>	<b>19</b>
1.1 Delimitação do tema e justificativa de pesquisa	19
1.2 Hipótese da pesquisa e delimitação dos objetivos	22
<b>CAPÍTULO 2 - ASPECTOS SÓCIO-AMBIENTAIS</b>	<b>24</b>
2.1 Sudoeste do Rio Grande do Sul - Maçambará	24
2.2 Sudoeste de Goiás – Serranópolis	28
2.3 Sudoeste de Tocantins – Mateiros	31
2.4 Sudoeste do Piauí – Gilbués	33
<b>CAPÍTULO 3 - ASPECTOS TEÓRICOS CONCEITUAIS</b>	<b>39</b>
3.1 MODIS e Índices de Vegetação	39
3.2 Séries temporais de índices de vegetação	42
3.3 Dos Areais a Arenização	44
3.4 Arenização para além do sudoeste do RS e sua relação com os solos RQo 49	
<b>CAPÍTULO 4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>54</b>
4.1 Amostragem e geração dos espectros temporais	54
4.2 Aquisição e tratamento das imagens MODIS	57
4.3 Análise da variação espaço-temporal de NDVI e EVI por meio das características da série temporal das imagens MODIS	59
4.4 Dados meteorológicos	61
4.4.1 Precipitação	61
4.4.2 Temperatura	61
<b>CAPÍTULO 5 – RESULTADOS</b>	<b>63</b>
5.1 Panorama geral dos municípios: dinâmicas naturais e antrópicas que envolvem a variação espaço-temporal da cobertura vegetal	63
5.1.1 Gilbués	63
5.1.2 Mateiros	72
5.1.3 Serranópolis	76

5.1.4 Maçambará .....	81
<b>5.2 Variação do NDVI e EVI de imagens MODIS em áreas de RQo a partir de espectros temporais .....</b>	<b>86</b>
5.2.1 Gilbués .....	86
5.2.2 Mateiros .....	92
5.2.3 Serranópolis .....	96
5.2.4 Maçambará .....	101
<b>5.3 Características das séries temporais das imagens de NDVI e EVI do sensor MODIS.....</b>	<b>106</b>
5.3.1 Gilbués .....	106
5.2.2 Mateiros .....	111
5.3.3 Serranópolis .....	114
5.3.4. Maçambará .....	120
<b>CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>132</b>

### 1.1 Delimitação do tema e justificativa de pesquisa

Com o desenvolvimento do sensoriamento remoto é crescente o número de sensores orbitais monitorando extensas áreas da superfície terrestre. Alguns sensores têm uma periodicidade que possibilita desenvolver estudos envolvendo análises temporais do comportamento de alvos naturais. (GURGEL, 2008; CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2008 SANTANA *et al.*, 2010).

As séries temporais de índices de vegetação (IVs), como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index), tem um grande potencial nos estudos que envolvem a análise e monitoramento de tipos e mudanças da cobertura vegetal (ROSEMBACK, 2010; MOREIRA, 2011; KUPLICH, 2013). O NDVI é sensível à clorofila e o EVI é sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE *et al.*, 2002).

O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo do satélite Terra e Aqua, desde os anos 2000 vem se destacando nos estudos ambientais. Dentre os seus produtos destaca-se NDVI e o EVI que apresentam satisfatória resolução temporal, correção atmosférica aprimorada e georreferenciamento preciso. A disponibilização rápida e ininterrupta das imagens MODIS, segundo Huete *et al.* (2002), permite análises regulares da vegetação em nível global, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos da vegetação e a detecção de mudanças de uso e cobertura do solo. De acordo com Risso *et al.* (2009), a estreita correlação entre a dinâmica espaço-temporal da vegetação e os IVs, corrobora o potencial dos mesmos no monitoramento da cobertura vegetal sobre extensas áreas.

No sudoeste do Rio Grande do Sul ocorre o processo denominado de arenização (Suertegaray, 1987; 1998; 2012; Verdum, 1997; Suertegaray, Guasselli e Verdum, 2001). Esse conceito surge inicialmente nas pesquisas de Suertegaray (1987), com o intuito de explicar a existência de manchas arenosas no município de Quaraí/RS e diferenciá-las do processo de desertificação vinculado pela mídia e até mesmo pelos estudos científicos da

época. A ocorrência da arenização nessa região está associada ao substrato arenoso (formações superficiais características de clima semiárido ou semiúmido de um passado recente), com cobertura original de campo que sofre a intensificação do processo de escoamento concentrado, característico do clima úmido atual (SUERTEGARAY, 2012).

O processo de arenização conceituado inicialmente para a região sudoeste do Rio Grande do Sul, ocorre em áreas que apresentam aptidão natural para a ocorrência de processos erosivos e pode ser intensificado pelas práticas de uso do solo. Diante disso, outras áreas no Brasil também podem apresentar processos relacionados à arenização. O ponto convergente dessas áreas é o tipo de solo, isto é, apresentam Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) (SOUSA *et al.*, 2012; SCOPEL *et al.*, 2012; CRISTO, 2013; SUERTEGARAY e OLIVEIRA, 2014; SUERTEGARAY, 2017).

Os solos RQo apresentam textura arenosa, contendo cerca de 90% de areia em sua composição, altamente friáveis e com baixo teor de nutrientes. São solos altamente suscetíveis a erosão hídrica e eólica e facilmente dão origem à ravinas e voçorocas (SCOPELI *et al.*, 2012; SUERTEGARAY, 2012).

Nesse sentido, o Grupo de Pesquisa Arenização/desertificação – questões ambientais, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS iniciou em 2013 um projeto que visou ampliar o olhar sobre o processo de arenização e refletir sobre sua relação com os solos RQo para além do sudoeste do RS. O projeto intitulado “Arenização, solos Quartzarênicos Órticos e Uso e cobertura da terra: RS, TO, GO, MT, MS e PI – Brasil” (aprovado pelo Edital MCTI/CNPQ Nº 14/2013), finalizado em dezembro de 2016, avaliou os condicionantes naturais do processo de arenização, em particular o solo, considerando que os estudos que tratam do tema, em diferentes regiões no Brasil, vinculam esse processo aos solos RQo.

Nesse contexto, a presente tese propõe analisar o comportamento espaço-temporal da cobertura vegetal, através de séries temporais de imagens de IVs, em áreas de solos RQo associadas ao processo de arenização em quatro regiões do Brasil: sudoeste do Rio Grande do Sul – município de Maçambará; Sudoeste de Goiás – município de Serranópolis; leste de Tocantins – município de Mateiros e sudoeste do Piauí – município de Gilbués,

Figura 01.

Em cima dos areais não existe uma cobertura vegetal consistente. Entretanto, as áreas no entorno, e que estão sujeitas ao processo de arenização, apresentam uma cobertura vegetal sujeita à análise, por mais que sejam rarefeitas. De acordo com Suertegaray e Oliveira (2014) devido dificuldade de estabelecimento da vegetação sobre os solos RQo, há a propensão da mobilização das camadas superficiais de solo por erosão hídrica e eólica, contribuindo para manutenção ou evolução dos areais. Outro fator que desencadeia a expansão dos areais sobre os solos RQo são as práticas inadequadas de uso da terra, principalmente atividades relacionadas a agricultura e a pecuária (PEIXINHO *et al.*, 2010; SILVA, 2012; SOUZA *et al.*, 2012).

De acordo com Suertegaray (2017), essas quatro áreas de estudo:

“(...) revelam como ponto convergente uma dinâmica erosiva associada à formação de ravinas, voçorocas, areais em relação com o tipo de solo RQo. Diante disto e da associação do processo de erosão intenso que ocorrem nessas áreas como processos de formação de areais/arenização, ou, como no caso específico de Gilbués, como processo de desertificação/arenização considera-se relevante investigar essas áreas, objetivando avaliar suas características genéticas e de dinâmica atual, ou seja, os processos desencadeadores da intensificação da erosão” (SUERTEGARAY 2017, p. 72).

Assim, a análise da vegetação se torna importante, pois pode propiciar o entendimento das dinâmicas e processos que ocorrem nessas áreas, já que elas revelam um ponto convergente do processo de arenização: o tipo de solo. Segundo Suertegaray (2017) os solos podem não ser o único fator de erosão dessas áreas, mas revelam sua efetiva relação com a cobertura vegetal como constituinte de sua estabilidade relativa. No sudoeste do RS, no sudoeste de Goiás, no sudoeste do Piauí e no leste do Tocantins estudos demonstram que a retirada da vegetação original, seja por processos naturais ou devido ao uso intensivo do solo, resultam na intensificação do processo de arenização.

O emprego de ferramentas do sensoriamento remoto, como imagens orbitais de índices de vegetação, como o NDVI e o EVI, pode contribuir para alcançar os objetivos da presente pesquisa. Segundo Moreira *et al.* (2011) os índices de NDVI e EVI do sensor MODIS possibilitam construir perfis sazonais

e temporais da dinâmica da vegetação, permitindo comparações intra e inter- anuais. Kuplich *et al.* (2013) destacam que a observação e a análise de séries de IVs podem auxiliar no reconhecimento de padrões e na detecção de eventuais mudanças ou anomalias associadas a perturbações antrópicas ou naturais.

A utilização de séries temporais de imagens orbitais para detecção de mudanças globais e de cobertura da terra é uma das importantes aplicações atuais dos dados de sensoriamento remoto (MARTINEZ e GILBERT, 2009; FREITAS *et al.*, 2011).

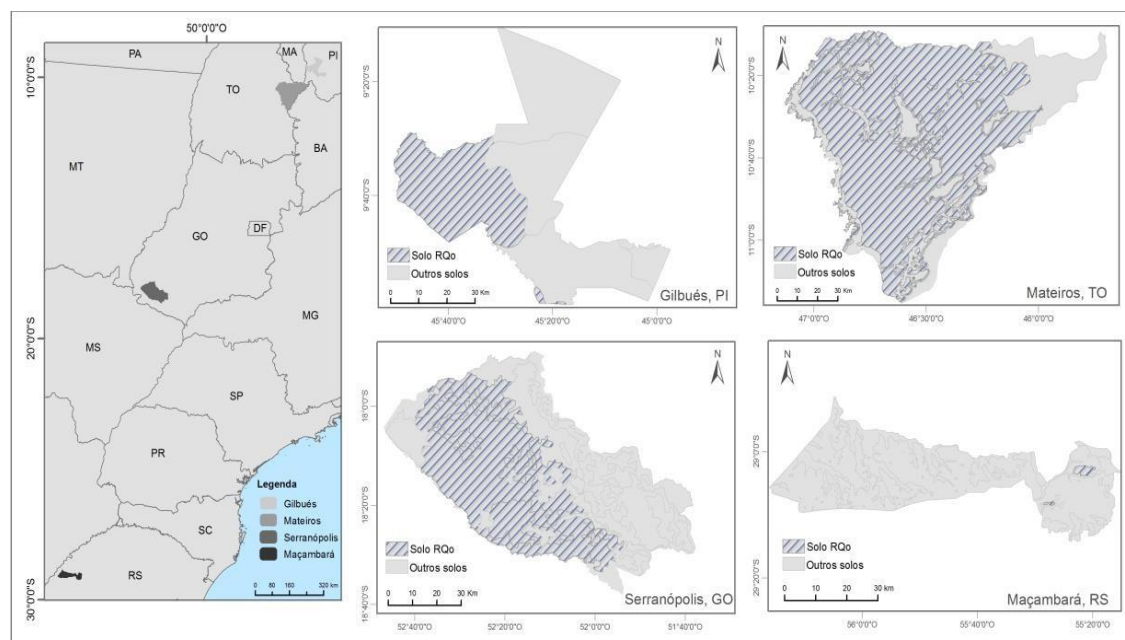


Figura 1: Mapa de localização dos municípios que apresentam solos RQo.

## 1.2 Hipótese da pesquisa e delimitação dos objetivos

Considerando que no sudoeste do Rio Grande do Sul, no sudoeste de Goiás, no sudoeste do Piauí e no leste do Tocantins estudos (SOUSA *et al.*, 2012; SCOPEL *et al.*, 2012; CRISTO, 2013; SUERTEGARAY e OLIVEIRA, 2014; SUERTEGARAY, 2017) indicam a presença dos processos de arenização associados aos solos Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo), a hipótese central desta tese se constitui em: existência de um comportamento temporal similar da vegetação entre as quatro áreas de estudo, devido sua característica em comum, o processo de arenização em solos RQo;

Assim o objetivo principal da presente tese é analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo), associados à ocorrência de arenização no Rio Grande do Sul, Goiás, Tocantins e Piauí.

Como objetivos específicos:

a) Analisar a variação do NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de RQo a partir de espectros temporais do período de 2000 a 2015, com intuito de constatar um comportamento sazonal;

b) Analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI nas áreas de RQo por meio das características - média, tendência, variabilidade interanual (IAV), sazonalidade e STV (short-term variability) – de uma série temporal de imagens MODIS do período de 2000 a 2015;

c) Comparar o comportamento temporal da cobertura vegetal entre os índices e entre as quatro áreas de estudo;

d) Relacionar os espectros temporais de NDVI e EVI com dados pluviométricos e de temperatura.



## **CAPÍTULO 2 - ASPECTOS SÓCIO-AMBIENTAIS**

---

As áreas de estudo localizam-se nas porções dos municípios que apresentam solos RQo associados ao processo de arenização: Gilbués (Piauí), Mateiros (Tocantins), Serranópolis (Goiás), Maçambará (RS), Figura 01.

A escolha desses municípios está relacionada ao fato de serem alvos de estudos do Projeto “Arenização, solos Quartzarênicos Órticos e Uso e cobertura da terra: RS, TO, GO, MT, MS e PI - Brasil”. Este projeto foi aprovado pelo Edital MCTI/CNPQ Nº 14/2013, e foi finalizado em dezembro de 2016 e estabeleceu uma parceria entre pesquisadores do Grupo de Pesquisa “Arenização/desertificação - questões ambientais” da UFRGS e outras universidades do país.

### **2.1 Sudoeste do Rio Grande do Sul - Maçambará**

De acordo com mapeamentos realizados pelo Grupo de Pesquisa Arenização/desertificação – questões ambientais da UFRGS, no sudoeste do Rio Grande do Sul existem dez municípios que possuem areais e processos de arenização: Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda (Figura 2).

A unidade morfoestrutural que caracteriza as áreas com ocorrências de areais e processos de arenização no sudoeste do RS compreende a bacia do Paraná. Em relação à compartimentação geomorfológica, localiza-se na Depressão Central.

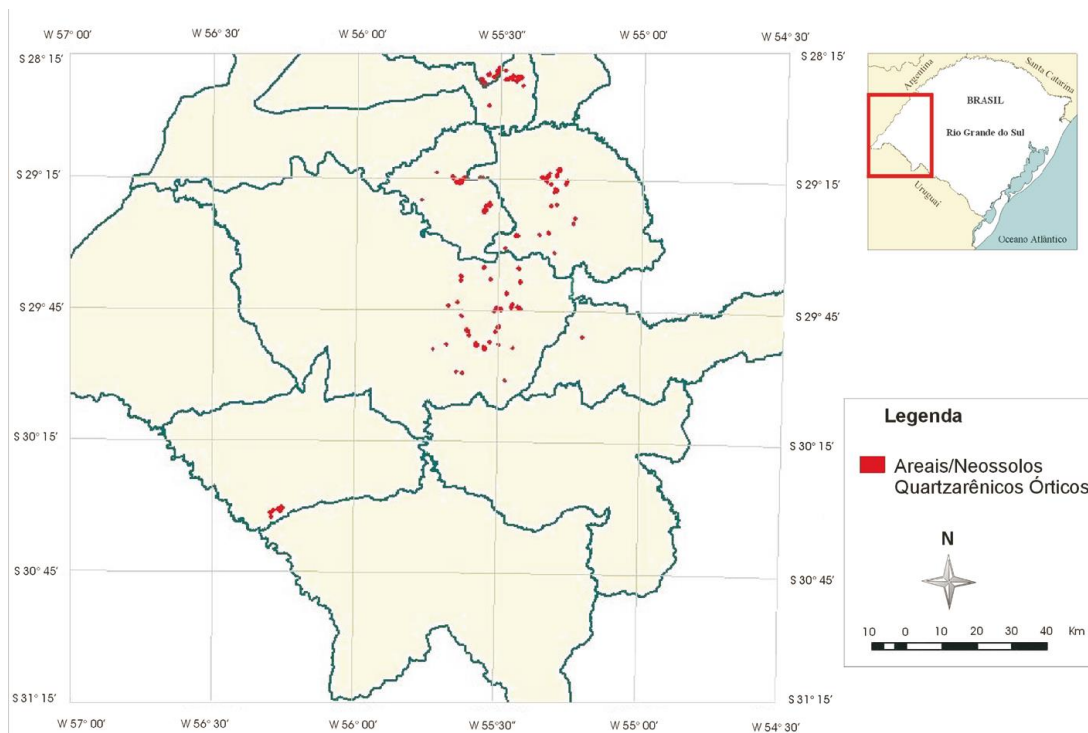


Figura 2: Municípios com áreas representativas de areais no sudoeste do RS.  
 Fonte: Suertegaray, 2011.

Estudos do grupo de pesquisa relacionavam a área de ocorrência dos areais com o substrato do arenito da Formação Botucatu. Sobre esta formação Mesozóica assentam-se depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição hídrica e eólica durante o Pleistoceno e Holoceno, denominados de unidade A (fluvial) e B (eólica). São sobre esses depósitos que se originam os areais, mais particularmente os depósitos da unidade B, com teores mínimos de argila e matéria orgânica (SUERTEGARAY, 2012).

O Mapa Geológico elaborado pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM, 2008) incluiu uma nova formação geológica no sudoeste do RS: a Formação Guará, uma unidade sedimentar de matriz arenítica, assim como a Formação Botucatu.

Os solos RQo em Maçambará abrangem uma pequena área no extremo leste do município. A vegetação pertence ao bioma Pampa, que segundo Suertegaray (2009), é um bioma que apresenta solos rasos, no caso dos areais, a ocorrência é em substrato arenoso. De acordo com Suertegaray (2009, p.27) a vegetação de campo do Pampa caracteriza-se, "(...) por uma vegetação relicto, ou seja, uma vegetação típica de ambientes mais secos. Atualmente sua persistência deve-se às adaptações feitas e aos solos

característicos da região que favorecem a sua manutenção”.

Segundo Hasenack et al., (2010) a vegetação em Maçambará está inserida nos denominados Campos com Areais. Os campos com areais se caracterizam por ter solos arenosos, sujeitos a fortes processos de erosão e arenização que associados às condições climáticas, criam circunstâncias extremas para a sobrevivência das plantas. Em decorrência disto, esses campos apresentam cobertura vegetal baixa e muitas plantas com características associadas à adaptação em condições de estresse hídrico.

Scopel et al., (2012), em parceria com pesquisadores do Departamento de Geografia, do Instituto de Geociências da UFRGS, ao estudar, com maior detalhe os solos da região sudoeste do RS descreve-os como solos que “apresentam cores avermelhadas ou amarelo-avermelhadas, muito salientes no perfil 1 e no perfil 2. Geralmente, a cor mais avermelhada deve-se ao óxido de ferro, na forma oxidada. Os solos estudados foram classificados como de textura “areia”, contendo ao redor de 90% de areia” sendo esses solos na região classificados como RQo” (SCOPEL et al., 2012, p.511).

É sobre este solo que se verifica o processo de erosão descrito como Arenização, Suertegaray (1987, 1998, 2012), Verdum, (1997), Suertegaray *et al.* (2001), para o sudoeste do RS. Este processo ainda que originalmente seja considerado como natural, apresenta em algumas áreas intensificação da erosão em decorrência do uso do solo feito através da atividade pastoril, de lavouras comerciais (soja) e mais recentemente a silvicultura com eucalipto.

Nesse contexto segundo Guasselli (2012, p. 115):

“Historicamente, o sudoeste do RS foi predominantemente pastoril, praticado de forma extensiva e em grandes propriedades. Dentre as principais culturas, o cultivo de arroz irrigado foi pioneiro, ocupando, predominantemente, as várzeas do rio Ibicuí e do rio Uruguai. A partir da década de 70 avança o cultivo de soja com predomínio da mecanização intensiva e estimulada pelas políticas governamentais de exportação. Na década de 1990 até o início dos anos 2000 houve uma redução desse cultivo. A partir de então se observa uma retomada da expansão da soja nessa região avançando mesmo em áreas suscetíveis ao processo de arenização. Essa expansão das atividades agrícolas, em solos frágeis em relação à mecanização e aos processos erosivos, está associada, na região, à intensificação e ao surgimento de manchas arenosas. Mais recentemente, surge outra opção econômica: a silvicultura. Atualmente esse cultivo é representado por áreas de pequena dimensão. Entretanto, as políticas atuais de expansão da silvicultura, para produção de celulose promovem uma expansão nas áreas suscetíveis a arenização.”

Suertegaray *et al.*, (2001) levando em conta diversos estudos climáticos na região sul do Brasil, comenta que o clima da região sudoeste do RS é classifica como clima Subtropical. Caracterizado pela constante passagem de sistemas frontais quentes e frios, com precipitações abundantes durante todas as estações e distribuídas de uma maneira relativamente uniforme durante o ano. Os verões são quentes e os invernos úmidos.



Figura 3: Paisagens dos areais em Maçambará – RS.  
Fonte: Suertegaray et al. (2001).



Figura 4: Paisagens dos processos de arenização em Maçambará – RS.  
Fonte: Suertegaray et al. (2001).

A partir da década de 2000 evidencia-se uma nova dinâmica de uso nas áreas de domínio dos areais no sudoeste do RS. Inicia-se a inserção do cultivo de espécies arbóreas principalmente do Eucalipto *sp*, decorrentes de políticas públicas com investimento de empresas multinacionais de celulose. Segundo Sirangelo (2011), a distribuição espacial das áreas de plantio da silvicultura está principalmente associada ao entorno das áreas de areais. Essa observação permite relacionar a expansão desta atividade ao baixo custo de arrendamento da terra e uma tendência da silvicultura considerar a arenização como problema ambiental a ser recuperado.

De acordo com Souza e Pires (2017), a silvicultura é empregada em áreas em processo de arenização representando uma alternativa econômica para essas áreas.

## 2.2 Sudoeste de Goiás – Serranópolis

O sudoeste de Goiás abrange dezoito municípios e apresenta cinco unidades geoambientais, definidas principalmente pela compartimentação topográfica (Figura 5).

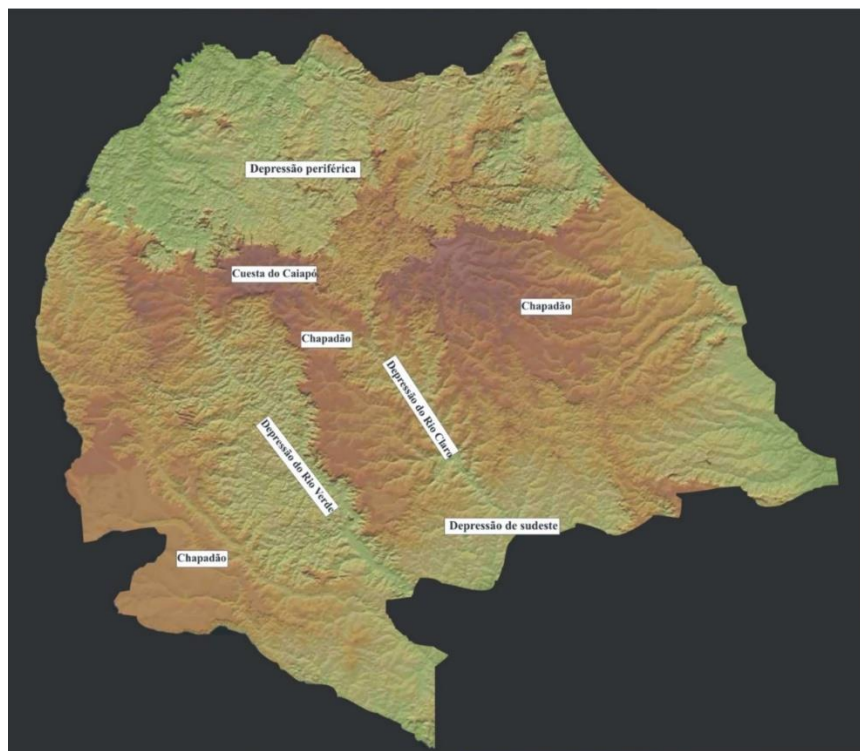


Figura 5: Unidades geoambientais do Sudoeste de Goiás.  
Fonte: EMBRAPA (apud Sousa et al., 2012).

O município de Serranópolis situa-se sobre a unidade geoambiental Depressão do Rio Verde, que se caracteriza por apresentar menores altitudes. Predomina nessa unidade o arenito Botucatu, pouco encoberto por Formações Cenozóicas, na qual predomina a morfogênese, especialmente as laterais de escarpas que recuam a montante de afluentes do rio Verde, erodindo os relevos aplanados dos chapadões, recebendo e transportando os sedimentos provindos destes (SOUSA *et al.*, 2012).

De acordo com Sousa *et al.* (2012), é na unidade geoambiental Depressão do Rio Verde que aparecem solos degradados, em forma de areais, característicos do processo de arenização, sendo que é o município de Serranópolis que ocorrem maior densidade de areais (Figura 6).

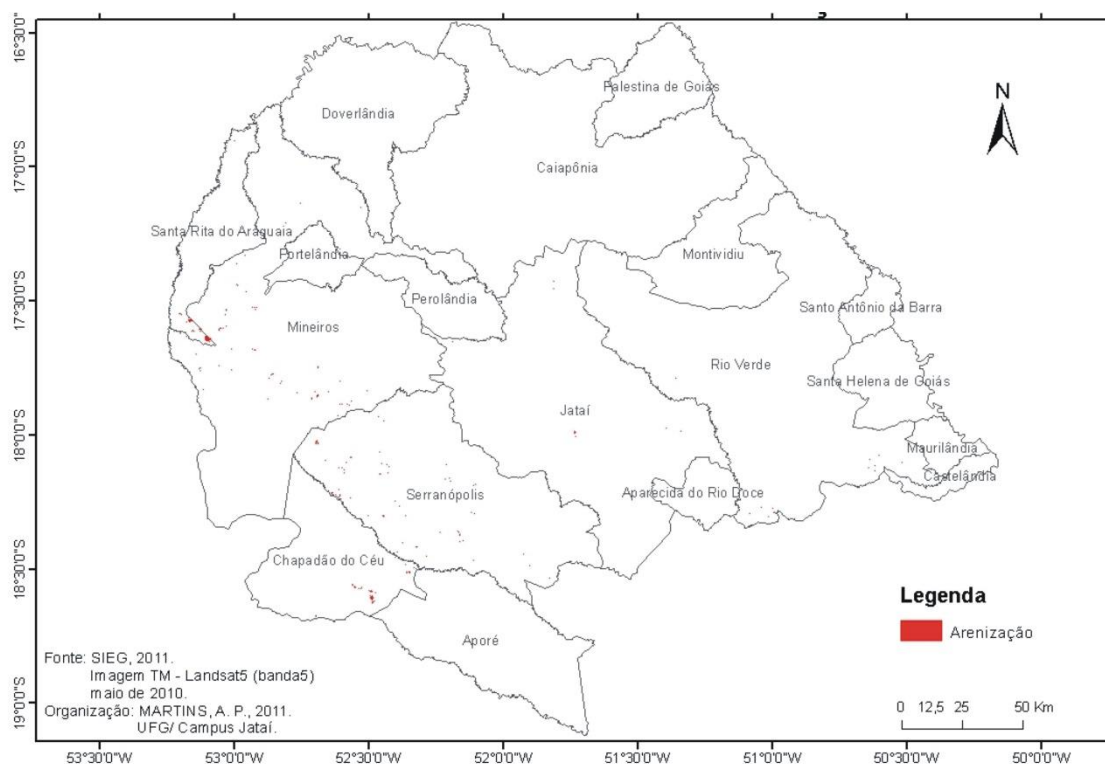


Figura 6: Mapa da distribuição dos areais no Sudoeste de Goiás.  
Fonte: Sousa et al., (2012).

Segundo Sousa (2007 *apud* Sousa *et al.*, 2012, p. 569) “os areais são manchas de Neossolos Quartzarênicos sem ou com rara cobertura vegetal, expostos às ações erosivas e resultantes da degradação do solo *in situ* e/ou da

deposição de areia transportada” (Figura 7).



Figura 7: Areais em Serranópolis. Fonte: Sousa et al. (2012).

Segundo Peixinho e Sousa (2010) Serranópolis caracteriza-se pela presença de arenitos, especialmente Botucatu (Juro-cretáceo) em chapadas penetradas por depressões de relevo suave-ondulado a ondulado, sobre os quais aparecem solos arenosos, sendo os Latossolos de textura média e os Neossolos Quartzarênicos os predominantes em 90% da área do município. A agricultura predomina nas raras chapadas de solos argilosos, enquanto a pecuária, resquícios de vegetação de cerrado florestal, arbustivo e campestre, bem como lavoura de cana-de-açúcar, dividem as áreas muito frágeis de solos arenosos e vertentes de alta declividade.

A porção do município que apresenta a ocorrência de solos RQo associados ao processo de arenização abrange grande parte de sua área.

Souza *et al.* (2012) afirmam que os fatores inerentes aos solos RQo, que condicionam o processo de arenização em Serranópolis são:

“(…) alto percentual de areia, em geral, maior do que 90%, muito profundos, com altas taxas de infiltração e de movimentação de água em subsuperfície, assim como de lixiviação; pouca capacidade de retenção de água e, portanto, alta probabilidade de deficiência hídrica durante o ciclo das culturas; baixa fertilidade natural; esgotamento muito rápido dos nutrientes minerais com o uso agrícola; alta suscetibilidade à erosão e estrutura fraca, predominantemente em grãos simples. Em geral são

muito profundos, soltos e/ou muito friáveis e excessivamente drenados. Observa-se que os RQo, com mais areia fina e/ou silte, apresentam uma coesão/adesão maior entre as partículas e, portanto, uma consistência ligeiramente dura ou dura, quando secos. Neste caso a suscetibilidade à formação de areais é menor”. (SOUSA *et al.*, 2012: 576)

O município de Serranópolis situa-se no Cerrado brasileiro. Abriga uma vegetação muito antiga, relicto das amplas paisagens dominadas por cerrados representantes do período mais seco da última glaciação quaternária, o Cerrado é considerado a especificidade brasileira da zona mundial das savanas (PEIXINHO e SOUSA, 2010).

Parte considerável da vegetação natural foi mantida até o final da década de 1980, quando era baixo o nível técnico dos proprietários de terras. No início da década de 1980, quando o melhoramento técnico, induzido pelo Estado, viabilizou a produção agrícola no Cerrado, as culturas como a da soja passaram a ser produzidas nas áreas de chapadão e a pecuária intensificou-se nas depressões de solos arenosos ou “mistos”. Os baixos preços das terras arenosas tornaram-nas atrativas para investidores, especialmente, vindo de outros estados, para a implantação de pastagens e, ainda, da cana-de-açúcar, sob incentivo do Proálcool. Nesse período intensificaram-se os desmatamentos realizados a partir da quebra da vegetação com “correntão”. Assim, o revolvimento da terra com o arado, contribuiu para acelerar o processo de degradação de solo (SOUSA *et al.*, 2012).

Segundo Sousa *et al.* (2012), a associação do solo, muito friável ou solto, com uso e manejo inadequados, pode ser considerado o principal fator desencadeador dos areais, isto é, da degradação observada nos RQo; essa condição confunde-se com a própria formação dos areais no sudoeste Goiano.

### **2.3 Sudoeste de Tocantins – Mateiros**

Na região leste do Tocantins localiza-se o município de Mateiros. Em Mateiros, de acordo com Cristo (2013), os solos RQo aparecem sob a vegetação de Cerrado principalmente do tipo Cerrado Senso Restrito, Campo Limpo e Campo Sujo, tendo como material de origem arenitos diversos (Figura 8).

Do ponto de vista da formação geológica, a área faz parte da Bacia São



Franciscana com a seguinte estratigrafia: Granito, datado do Cambriano sobreposto pelas camadas de calcário do Neo-Proterozóico (Grupo Bambuí) e na continuidade datando do Cretáceo, tem-se os arenitos do grupo Urucuia. É representativa de um ambiente desértico constituído de dunas com presença de estratificação cruzada de grande porte. É composta por arenitos finos a médios, róseos, impuros, com alguns conglomeráticos, mais argilosos na base.

Na área municipal de Mateiros se localiza total ou parcialmente, importantes unidades de conservação do país, como o Parque Estadual do Jalapão, Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e Área de Proteção Ambiental do Jalapão. Esse ambiente conservacionista, aliado à presença predominante do solo RQo, inadequado para cultivos agrícolas, faz de Mateiros uma área com poucas influências antrópicas. Porém, isso não quer dizer que não ocorra processos erosivos, entretanto resultantes da dinâmica natural (CRISTO, 2013).

Segundo Cristo (2013, p. 236) o solo predominante do tipo RQo evidencia a presença de um solo jovem, e sua relação direta ao intenso processo de transporte e deposição que acontece na área, sendo fator condicionante à ocorrência de assoreamentos das drenagens locais.

O tipo de clima predominante, de acordo com a classificação de Köppen é o Tropical Aw, caracterizado por apresentar uma estação mais seca no inverno, onde o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e equivale a menos de 4% da precipitação anual total.



Figura 8: Vegetação sobre os solos RQo em Mateiros.

Fonte: CRISTO, 2013.



Figura 9: Dunas do Jalapão em Mateiros/TO. A direita da foto área mais deprimida, constituída de solos arenosos com cobertura vegetal de cerrado ralo. Fonte Suertegaray (2017).

## 2.4 Sudoeste do Piauí – Gilbués

Gilbués localiza-se no Sudoeste do Piauí (Figura 1), a porção do município que apresenta a ocorrência de solos RQo associados ao processo de arenização situa-se na porção centro-oeste na divisa com o estado do Maranhão. Segundo Silva (2014), o levantamento pedológico no contexto regional foi realizado inicialmente pelo Projeto Radam (1973) sendo um trabalho sistemático de reconhecimento dos tipos de solos e sua ocorrência no sul do estado do Piauí, inclusive na região de Gilbués.

Em relação aos Neossolos Quartzarênicos em Gilbués (Figura 10), a EMBRAPA Meio Norte (*apud* Silva, 2014 p. 70) caracteriza-os como:

“Solos pouco desenvolvidos, com profundidades relativamente pequena e ausência de nível freático, com textura média (arenosa). Com aproximadamente 40 cm de espessura, possibilita baixa capacidade de armazenamento das águas pluviais, porém permite a concentração do escoamento e conseqüente desenvolvimento de ravinas. Ao mesmo tempo em que estes solos favorecem a infiltração das águas pluviais, por terem uma alta permeabilidade, apresentam alta erodibilidade, devido ao seu elevado teor de areia, sobretudo fina e sem ou com baixa presença de argilas ou matéria orgânica, importantes fatores de agregação dos solos, apresentando, portanto baixo grau de coesão o que favorece a remoção de suas partículas, sobretudo quando desprovidos de cobertura vegetal”.



Figura 10: Neossolo Quartzarênico Órtico em Gilbués.  
Fonte: Silva (2014).



Figura 11: Feições associadas a solo exposto em Gilbués PI. Fonte:  
Ivamauro Ailton de Sousa Silva (2012 apud Suertegaray 2017).

Do ponto de vista geológico regional, Gilbués possui formações litológicas, cujas idades vão do Paleozóico inferior ao Mesozóico Superior. Os terrenos Paleozoicos estão assentados na Bacia Sedimentar do Parnaíba concebidos pelas formações Sambaíba, Pedra de Fogo, Piauí e Poti e os Mesozoicos na Bacia do São Francisco são representados pelas formações geológicas Areado e Urucuia. Mais especificamente é a formação Piauí que abrange a maior parte da área que corresponde os solos RQo, essa Formação

corresponde a ambientes deposicionais do tipo continental fluvial e litorâneo em clima semiárido a desértico com intercalações marinhas. Atualmente a formação Piauí caracteriza-se por apresentar arenitos cinza-esbranquiçados, finos a médios, eventualmente conglomeráticos, com intercalações de siltitos, folhelhos e calcários. Caracterizam-se como extensos chapadões de topos planos e escarpa festonadas, modelados nos arenitos (LIMA e LEITE, 1978; CREPANI et al., 2008; SILVA, 2014).

No contexto geomorfológico, Gilbués é compartimentado em: Planalto da Bacia Sedimentar Piauí/Maranhão e Depressão Interplanáltica de Parnaíba (RADAM BRASIL, 1973). De acordo com Silva (2014) a região de Gilbués está inserida na área dos Chapadões do Alto-Médio Parnaíba, “os Chapadões configuram unidades de relevo tabuliformes (mesetas) de estrutura horizontal com bordas escarpadas e anfiteatros largos, penetradas por vales abertos e superfícies aplainadas” (SILVA, 2014 p. 76).

Em relação ao clima, segundo Silva (2014), Gilbués apresenta características do tipo tropical de continentalidade articulada, dotada de um longo período chuvoso durante o ano, opondo-se a outro, mais seco. Diante dessas características, o clima na região é tropical continental, semiúmido, enquadrando-se na classificação de Köppen do tipo Aw. Em relação a precipitação existe uma irregularidade no período chuvoso, havendo dias de chuva intensa intercalados com períodos curtos de estiagem

Gilbués possui como cobertura vegetal o Cerrado. Oliveira (*apud* Silva 2014, p.82) afirma que:

“o cerrado apresenta variações em sua fisionomia, que vão de formas florestadas (cerradão) até formações campestres (campo limpo, campo sujo). Os limites entre essas formas presentes no cerrado lato sensu não são muito definidos. A “região” do cerrado incorpora, ainda, outros tipos de vegetação, como a floresta-de-galeria, as veredas e os campos úmidos, entre outros”.

O Quadro 01 apresenta as fitofisionomias de Cerrado em Gilbués.

Quadro 01 – Fitofisionomias de Cerrado da região de Gilbués

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Características</b>	<b>Ambiente de ocorrência</b>
Cerradão	Predomínio do porte arbóreo mais alto, com a copa das árvores se tocando, fisionomia típica e característica de áreas areníticas lixiviadas com solos profundos em clima tropical eminentemente estacional.	Fitofisionomia desenvolvida em áreas topograficamente mais elevadas, vegetação assentadas, sobretudo nos chapadões da porção norte de Gilbués.
Campo Sujo	Domínio de gramíneas com presença de arbustos e árvores anãs.	Ocorre em relevo planos a levemente ondulados situados na porção centro-sul de Gilbués, são denominadas também de Malhadas, localizam-se nas áreas de solos mais degradados.
Stricto Sensu	Cobertura vegetal constituída por gramínea intercalada por arbustos tortuosos, bastante espaçados entre si, sobre denso tapete de vegetação rasteira.	Ocupam áreas topograficamente mais elevadas geograficamente situadas na porção noroeste e norte de Gilbués.
Mata Galeria	Corresponde a vegetação desenvolvida em áreas de influência direta da umidade proporcionada por fontes, rios, represas e outros corpos d'água.	Sua ocorrência nas encostas dos vales, devido à maior fertilidade dos solos que nos topos planos, são fitofisionomias que protegem os cursos dos rios Uruçuí-Preto (norte) e Gurguéia (sudeste).
Campo Cerrado	Cobertura arbórea seja bem menor, com árvores pequenas bastante esparsas, espalhadas sobre um tapete gramíneo-lenhoso.	Dominam parte da porção sudeste de Gilbués caracterizadas também de campestres onde pratica atividade agropastoril tradicionais.

Fonte: Silva (2014).

De acordo com Sales (2003), nos primeiros estudos sobre desertificação no Nordeste brasileiro, Vasconcelos Sobrinho (1974) ao trabalhar com indicadores biológicos, apontou, entre outras, a região de Gilbués como um núcleo de desertificação, denominação proposta por ele para indicar as áreas mais atingidas pelo processo.

Porém, atualmente diversos pesquisadores redirecionam suas interpretações, distanciando-se da compreensão que Gilbués se caracteriza como um núcleo de desertificação. Silva (2014, p.36) afirma que todos os núcleos de desertificação, propostos por Vasconcelos Sobrinho (1983) “estão localizadas no nordeste brasileiro em clima semiárido e sob embasamento geológico cristalino, com exceção do núcleo de Gilbués em que predomina clima subúmido assentado em litologia sedimentar”. Para Crepani (2009, p.5192) “o Núcleo de Desertificação de Gilbués, não parece ter nenhuma relação com variações climáticas, estando relacionado exclusivamente às atividades humanas, que vêm acontecendo por centenas de ano”.

Segundo Sales (2003, p. 115):

“Gilbués, apresenta intensa degradação dos seus solos, decorrente principalmente, da forte erosividade das chuvas locais e da erodibilidade de seus solos. Do ponto de vista climático diferencia-se da região semi-árida, por apresentar valores de índice de aridez e variabilidade interanual das chuvas inferiores aqueles da região semi-árida. Área de intensa morfogênese natural tem, historicamente, a pecuária extensiva como principal atividade econômica, associada à mineração de artesanal de diamante, ambas desenvolvidas de forma predatória”.

Silva (2014) adota o termo de arenização para elucidar o processo de degradação de terras em Gilbués, e elabora o Quadro 2 que apresenta de forma sintética as condições físicas que atuam no processo de arenização e desertificação.

Quadro 2 – Condições físicas dos processos de arenização e desertificação

<b>Arenização</b>	<b>Desertificação</b>
Abundância hídrica	Escassez de recursos hídricos (perenes)
Clima úmido e subúmido - ausência de aridez	Clima Semiárido - presença de aridez
Precipitação em torno de 1.400 mm/ano	Precipitações inferiores a 800 mm/ano
Ausência de períodos longos de seca	Períodos secos bastante longos
Embasamento Sedimentar	Embasamento Cristalino e Sedimentar
Solos arenosos e com profundidade média/alta	Solos pedregosos e rasos
Campos (herbácea) e vegetação rasteira no Cerrado (Campo Limpo)	Caatinga
Gênese natural, porém intensificados pela ação antropogênica	Variabilidade climática e ação antropogênica
Processos erosivos dominantes: Hídricos, Eólicos, presença de sulcos, ravinas, voçorocas e superfícies arenosas	Hídricos e presença de ravinas, erosão laminar e selagem do solo
Ecossistema frágil	Explorações excessivas/antropismo

Fonte: Silva (2014).

Portanto Silva (2014, p. 47) declara:

“Considerando as condições físico-naturais, sobretudo características climáticas e o perfil socioeconômico, o processo de degradação em Gilbués não corresponde ao fenômeno de desertificação, pois os aspectos geoambientais apresentados diferem das áreas com suscetibilidade a desertificação.

Dessa forma, para denominar o processo erosivo do solo que ocorre em Gilbués o termo arenização foi adequado nesta pesquisa. Assim, o conceito de “arenização” se adapta melhor para elucidar o processo de degradação de terras na área de estudo, devido às condições climáticas e uma vez que a paisagem de Gilbués apresenta semelhanças com o sudoeste do Rio Grande do Sul, bem como a ocorrência de arenitos, fluxos hídricos atuantes na cabeceira de drenagens, a posição topográfica em reverso de *cuesta* e morros/chapadas isoladas, a atuação de focos arenosos no entorno de morros e serras, além das características inerentes ao regime pluviométrico (estiagem e chuvas concentradas).”

## **CAPÍTULO 3 - ASPECTOS TEÓRICOS CONCEITUAIS**

---

Nesse capítulo serão abordados os tópicos que auxiliaram na construção teórico conceitual da presente tese.

### **3.1 MODIS e Índices de Vegetação**

A partir dos anos 2000, imagens e produtos provenientes do sensor MODIS, a bordo da plataforma Terra passaram a ser disponibilizados. Alguns destes produtos, como o NDVI e EVI, têm sido utilizados no estudo da vegetação e estão relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa verde, porcentagem de cobertura verde e índice de área foliar (PONZONI e SHIMABUKURU, 2009; JENSEN, 2009).

De acordo com Victotia *et al.* (2009) a alta resolução temporal do sensor MODIS permite acompanhar as alterações da cobertura da Terra de forma quase contínua, além de ser imprescindível para a geração de imagens compostas temporais com menor interferência de nuvens, sombras e efeitos de aerossóis. Esta característica, reforçada por um baixo custo de obtenção de produtos, inclusive com imagens compostas de 16 dias livres de nuvens, e a disponibilidade de ferramentas para processamento, amplia as possibilidades de utilização de modelos de análise de séries temporais e reforça a capacidade de interpretação dos fenômenos locais a partir do entendimento dos processos que determinam as alterações na cobertura vegetal ao longo do tempo.

Os índices de vegetação são técnicas auxiliares no estudo e monitoramento da vegetação por meio do sensoriamento remoto. De acordo com Moreira (2011) os índices de vegetação foram criados, ente outros fins, para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, através de maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação de sensores. Eles foram criados no intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2011, p.182).



Os índices de vegetação têm o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI e SHIMABUKURU, 2009), devido ao “contraste” de valores de reflectância entre essas duas regiões (quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior a absorção na região do visível e maior a reflexão no infravermelho próximo).

Segundo Jensen (2009, p. 384):

os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Jensen (2009), baseado em Running *et al.* (1994); Huete e Justice, (1999), aponta algumas características de um índice de vegetação ideal:

- maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, preferencialmente de uma forma linear, para que esta sensibilidade seja fidedigna para uma grande amplitude de condições vegetais e para facilitar a validação e a calibração do índice;
- conseguir normalizar ou modelar efeitos externos tais como o ângulo solar, o ângulo de visada e as interferências atmosféricas, de modo a permitir comparações espaciais e temporais;
- normalizar efeitos internos, como as variações no substrato abaixo do dossel, incluindo topografia, solos e diferenças quanto à vegetação senescente;
- ser acoplável a algum parâmetro biofísico mensurável, tais como a biomassa ou o IAF, para fins de validação e de controle de qualidade.

### 3.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Baptista e Munhoz (2009), ressaltam que o NDVI (Rouse et al., 1973), é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na fotossíntese. E segundo Soares et al., (2007) visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação

solar e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais, Equação 1.

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

O NDVI é utilizado no monitoramento e na construção de perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis. O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividades sazonal, fenológica, duração de período de crescimento, pico verde, mudanças fisiológicas da folha e períodos de senescência (PONZONI e SHIMABUKURU, 2009).

Por apresentar rápida saturação em seus valores, o NDVI é pouco sensível à detecção de variações no aumento de biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, ou seja, “o índice estabiliza em um patamar apresentando um mesmo valor, embora a densidade do dossel aumente” (WARDLOW e EGBERT, 2010; ZANZARINI *et al.*, 2013).

### 3.1.2 Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

O EVI foi desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação verde, melhorando a sensibilidade para as variações estruturais e arquitetônicas do dossel de fitofisionomias, com maior densidade de biomassa em relação ao NDVI e reduzindo as influências atmosféricas e influência do solo (HUETE *et al.*, 2002), Equação 2.

$$\text{EVI} = \text{G} * (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{L} + \text{IVP} + \text{C1} * \text{R} - \text{C2} * \text{B}) \quad 2$$

Em que: L é o fator de ajuste para o solo (L=1); C1 e C2 são coeficientes de ajuste para o efeito de aerossóis na atmosfera (C1=6; C2=7,5); G é o fator de ganho (G=2,5).

De acordo com Jensen (2009) o EVI é um NDVI modificado, contendo um fator de ajuste para solos e dois coeficientes que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis. O EVI tem melhorado a sensibilidade para regiões de alta

biomassa, permitindo um melhor desempenho do monitoramento da vegetação através da diminuição do sinal proveniente do substrato abaixo do dossel, e através da redução da influência atmosférica.

O NDVI e o EVI têm um grande potencial nos estudos que envolvem a análise e monitoramento de tipos e mudanças da cobertura vegetal. O NDVI é sensível à clorofila e o EVI é sensível as variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel HUETE et al. (2002, apud CARVALHO JÚNIOR et al., 2006).

### **3.2 Séries temporais de índices de vegetação**

O desenvolvimento de índices de vegetação possibilitou a inferência de parâmetros biofísicos referentes à vegetação, em extensas áreas da superfície da Terra, bem como de suas respostas frente à ação de fenômenos geofísicos e à influência antrópica (GINCIENE e BITENCOURT, 2011).

Segundo Huete et al., (2002), as composições de índices de vegetação de 16 dias do sensor MODIS permitem análises regulares da vegetação em nível global, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos e a detecção de mudanças.

A alta resolução temporal do MODIS pode ser utilizada para obter conhecimento aprofundado a respeito dos ciclos sazonais da vegetação. De acordo com isso, diversos estudos com base em índices de vegetação do MODIS analisaram a dinâmica da vegetação em séries temporais (GURGEL, 2008; ROSEMBACK et al., 2010; KUPLICH, 2013).

Séries temporais são analisadas a partir de seus principais movimentos descritos como: tendência, ciclo, sazonalidade e variações aleatórias. A partir destes objetiva-se (i) descrever o comportamento da série de dados por meio de cálculos estatísticos e da representação gráfica; (ii) identificar o processo gerador da série; (iii) estimar valores futuros; (iv) monitorar os valores das séries a fim de verificar alterações nas características da mesma ou identificar periodicidades relevantes nos dados e (v) avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Segundo Freitas *et al.* (2011) a análise de séries temporais em sensoriamento remoto que antes era restrita aos estudos globais em oceanografia e atmosfera hoje são uma realidade no sensoriamento da superfície terrestre, principalmente relacionadas as questões de mudança no uso e cobertura da terra (LAMBIN e LINDERMAN, 2006).

Wagner *et al.* (2011), por meio de série temporal de NDVI/MODIS, analisaram o comportamento da biomassa na ecorregião das Savanas Uruguaias, com objetivo de conhecer a distribuição espacial das formações vegetais, bem como as alterações que vem ocorrendo ao longo do tempo. Foram geradas as médias de cada data para toda a área de estudo, compreendendo toda a variabilidade florística, e para cada região geomorfológica. Os resultados mostram coerência na resposta do NDVI médio ao longo do ano com a sazonalidade do clima na região. Tanto na área total, quanto nas amostras os maiores valores de NDVI ocorreram no início da série temporal. Observaram também um padrão de comportamento do NDVI no tempo que perde regularidade após o ano de 2004 (forte estiagem na região), o que pode estar correlacionado com a ocorrência de vários eventos moderados de La Niña.

Moreira *et al.* (2011), utilizaram a Transformada de Ondaleta para identificar as mudanças ocorridas na fenologia de diferentes tipologias campestres do bioma Pampa, em uma série temporal de NDVI do período de 2000 a 2008. Detectaram que essas tipologias possuem um comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento das espécies nos meses quente do ano, ou seja, durante a primavera e verão. Concluíram que a manipulação dos dados de NDVI, por meio da análise de ondaleta, apresentou-se como uma nova possibilidade de análise da dinâmica da vegetação campestre.

Silveira *et al.* (2013) também utilizaram ondaletas para comparar o desempenho de índices de vegetação (EVI e NDVI) para monitorar a vegetação campestre, a partir de uma série temporal de dados de EVI e NDVI obtidos pelo sensor. Concluíram que o uso da Transformada de Ondaleta em estudos de vegetação campestre apresenta potencial na identificação do ciclo fenológico e também de variações neste. Ainda, é possível identificar a existência de

anomalias em períodos distintos, o que na análise do escalograma com os valores médios da série não se apresenta com a mesma clareza. Por fim observaram que os espectros de potência para os dados de EVI apresentaram maior variabilidade que o NDVI em diferentes períodos da série

Wagner (2013), descreve os padrões da dinâmica espaço/temporal dos índices de vegetação do Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e sua relação com a variabilidade climática interanual, utilizando séries temporais de NDVI e EVI do sensor MODIS, medidas de superfície de 20 estações meteorológicas, dados de MEI e o índice de seca ARID, para o período de fevereiro de 2000 a agosto de 2011. Constata que os índices de NDVI e EVI apresentam padrões médios temporais similares entre si, com as maiores variabilidades no verão, picos máximos em março e setembro e mínimos valores no inverno. Contudo, o EVI apresentou o maior potencial para a detecção de variações anuais. As oscilações das condições climáticas estacionais atuaram de forma diferente com respeito à região e à estação do ano na resposta dos índices de vegetação. Os resultados mostram que o que determina o padrão temporal no vigor vegetativo dos campos do Pampa do RS e Uruguai é a condição climática da região.

O desenvolvimento de estudos que envolvam séries temporais de NDVI e EVI, permite avaliar o comportamento sazonal da cobertura vegetal, bem como, a detecção de mudanças ambientais que venham ocorrer.

### **3.3 Dos Areais a Arenização**

No sudoeste do Rio Grande do Sul manchas de areia expostas contrastando com o verde dos campos pampeanos é uma paisagem habitual, onde a toponímia local designa como areais. Por volta dos anos 1970-80 houve uma vasta divulgação midiática que relacionava essas paisagens aos desertos, assim iniciou a propagação da ideia que essa região passava por um processo de desertificação devido a práticas inadequadas do uso do solo.

Nesse contexto iniciam as pesquisas de Suertegaray com o intuito de investigar e entender a gênese e os processos que envolvem os areais. Em sua tese (Suertegaray, 1987) constata-se que os areais são de origem natural

e não estão relacionados com o processo de desertificação<sup>1</sup>. “Essa região não se constitui em uma região árida ou semiárida. São registradas precipitações médias anuais em torno de 1400 mm (...).”

De acordo com Suertegaray (2012, p.44):

“A análise sobre a gênese dos areais tomou como referência os conceitos de morfogênese e de morfodinâmica, sem diferenciá-los entre processos do passado e do presente, mas compreendendo no processo de formação da paisagem (morfogênese), em cada período climático, uma dinâmica característica (morfodinâmica). (...)

Esta investigação permitiu compreender, pelo menos, que as grandes manchas arenosas são de origem natural, podendo surgir novos areais pelas práticas humanas. Construiu sob essa perspectiva o conceito de Arenização (Suertegaray, 1987) para explicar esse fenômeno em termos da dinâmica dos processos físicos.”

O conceito de arenização designa o processo natural, pelo qual essas áreas no sudoeste do Rio Grande do Sul estão sujeitas, sendo que “os areais” são a forma resultante desse processo. Suertegaray (1987, *apud* Suertegaray 2012, p.130) conceitua arenização como “o processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou nada consolidados, e que promove, nessas áreas, uma dificuldade de fixação de vegetação, devido à constante mobilidade dos sedimentos.” “Os areais tornam-se visíveis na paisagem enquanto superfícies arenosas com ausência de recobrimento com algum tipo de cobertura vegetal de forma contínua.” (SUERTEGARAY 2012, p. 130)

Portanto, o processo de arenização está relacionado à presença de água e não a sua escassez, como nos casos de desertificação. De acordo com Verdum (2012, p.79) “essa região tem como características principais uma média de chuvas mensais, em torno de 100mm e anuais de 1200mm, mas com episódios de estiagem prolongada e chuvas concentradas de até 160mm/dia”. Sendo assim:

“Observa-se que há uma relação provável entre essa dinâmica pluviométrica e a ultrapassagem de um patamar hidrológico gerador de processos geomorfológicos, sobretudo o escoamento superficial difuso

---

<sup>1</sup> Desertificação é a diminuição ou a destruição do potencial biológico da terra, o qual desemboca em definitivo em condições do tipo desértico. A desertificação é um aspecto da deterioração generalizada dos ecossistemas sob pressões combinadas de um clima adverso e flutuante e de uma exploração excessiva (VASCONCELOS SOBRINHO, 1978 *apud* SUERTEGARAY 2012, p.128).

e concentrado, como desestabilizadores da cobertura vegetal, dos solos e das formações superficiais.” (VERDUM, 2012, p.81)

Levando em conta esses fatores, Suertegaray e Verdum (2008), ampliaram o conceito de arenização, em sua explicitação:

“O retrabalhamento desses depósitos, no caso de formações superficiais, provavelmente quaternárias, resultou de uma dinâmica morfogenética onde os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados às chuvas torrenciais, expõe, transporta e deposita areia, dando origem a formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção” (SUERTEGARAY E VERDUM 2008, *apud* SUERTEGARAY 2012, p.130).

Nesse contexto, o processo de arenização ocorre inicialmente pela dinâmica hídrica, sobre solos frágeis e susceptíveis, onde o escoamento superficial contribui para a formação de ravinas (Figura 12) e o escoamento em subsuperfície, através do lençol freático, contribui para a formação de voçorocas (Figura 13).

Segundo Suertegaray (2012, p. 141) os processos hídricos relacionados com uma topografia favorável, permitem, em uma primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Estas na continuidade do processo, desenvolvem-se por erosão lateral e regressiva, conseqüentemente alargando as suas bordas. Por outro lado, à jusante destas ravinas e voçorocas, em decorrência dos processos de transporte de sedimentos pela água durante episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leque (Figura 14A). Com o tempo estes leques agrupam-se e, em conjunto, originam um areal. O vento que atua sobre essas areias permite a ampliação desse processo e conseqüentemente dificulta ou impede a recolonização vegetal da mancha arenosa devido à intensa remobilização desses sedimentos.



Figura 12: Ravinas: Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS.  
Fonte: Sirangelo, 2011.



Figura 13: Voçoroca: Cerro da Esquina, São Francisco de Assis/RS.  
Fonte: Sirangelo, 2011.

Segundo Suertegaray (2012, p. 142) “os areais ocorrem sobre unidades litológicas frágeis (depósitos arenosos) em áreas de baixas altitudes e declividades. São comuns nas médias colinas ou nas rampas em contato com escarpas de morros testemunhos.” A figura 14A demonstra um ambiente com processos formadores dos areais: as ravinas e os leques de dejeção, e a figura 14B o areal já consolidado. A figura 15 apresenta os areais em colina.



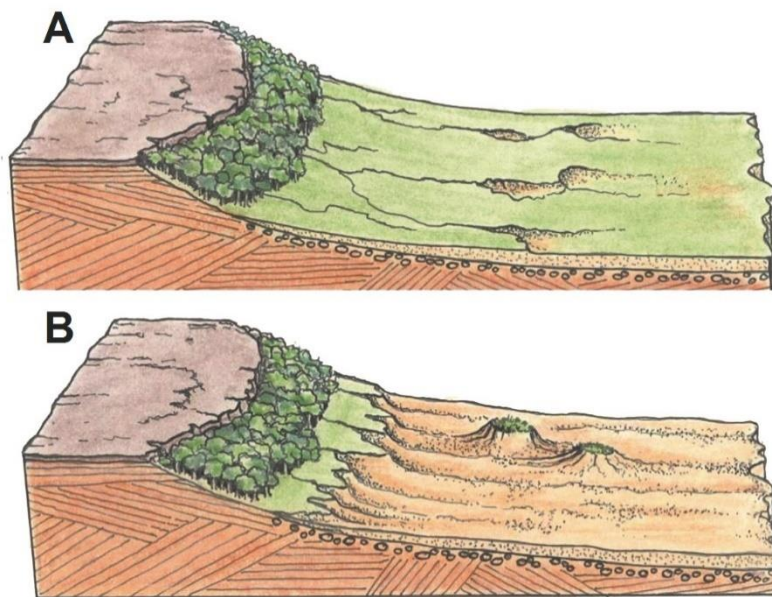


Figura 14: Representação da formação de areais em rampas.  
 Fonte: Suertegaray et al. 2001, apud Suertegary 2012.

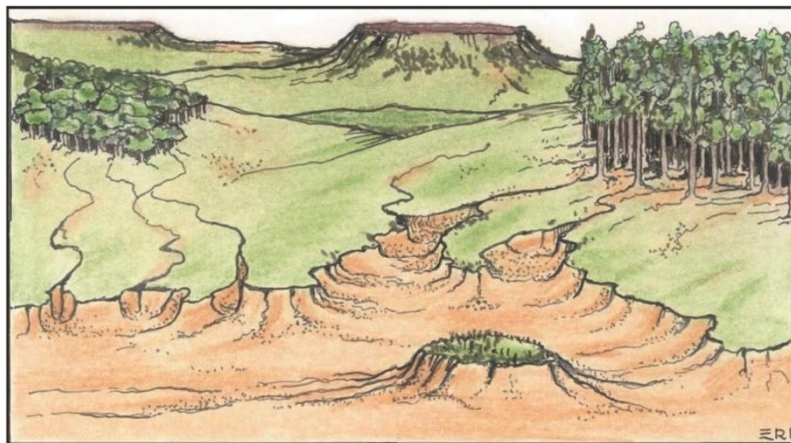


Figura 15: Representação da formação de areais em colina.  
 Fonte: Suertegaray et al. (2001)

De acordo com Verdum (1997, *apud* Silva 2014, p.41) as precipitações elevadas são um motor da arenização, pois atingem as formações superficiais com fragilidade estrutural, assim com a vegetação herbácea pouco protetora, formariam ravinamento e voçorocas, retrabalhando os sedimentos juntamente com a ação eólica. Nesse sentido, em regiões/áreas onde a dinâmica da paisagem é influenciada por esses fatores condicionantes (clima, relevo, solo) apresentam aptidão para a ocorrência de processos erosivos.

Evidenciados os principais fatores naturais ligados com a gênese e dinâmica da arenização, é importante salientar também a interface social desse fenômeno. A ação antrópica interfere na dinâmica desse processo, por mais

que não seja sua causa geradora, ela pode intensificá-lo de acordo com o tipo do uso do solo. Por exemplo, o pisoteio do gado e o uso de maquinaria pesada na atividade agrícola originam sulcos que desencadeiam o escoamento concentrado, assim auxiliando na formação de ravinas e voçorocas (Suertegaray 2012).

Segundo Verdum (2012) o processo de arenização se associa à dinâmica social, em especial as formas de uso da terra (pastoril e agrícola). A organização do espaço rural do sudoeste do Rio Grande do Sul se deu inicialmente pela criação de gado extensiva nas pastagens dos campos, o que leva os proprietários a prática de limpeza e rebrote da vegetação nativa, com o uso da queimada, “esta prática conduz a redução da produção de biomassa e a exposição dos solos às chuvas torrenciais, ou seja, aos processos morfogenéticos”.

Para Verdum (2012 p. 82), “os criadores tradicionais dos campos dividem hoje seus espaços de criação com produtores de grãos e monoculturas arbóreas que acentuam a pressão sobre os solos frágeis e a vegetação herbácea dos campos”.

De acordo com Caneppele (2017), algumas áreas são mais suscetíveis ao processo de arenização, em função de características como: 1) Áreas com reduzida biomassa e pouca cobertura vegetal, 2) Áreas de reduzida biomassa associada com a presença de areais; 3) Áreas com a presença do substrato arenoso das formações Botucatu e Guará. As áreas suscetíveis são consideradas em primeiro lugar pela possibilidade do processo acontecer em sua gênese natural, mas também, através de um inadequado manejo da terra, como acontece nas lavouras de diversos cultivos (canola, girassol, milho, soja e trigo), que nos últimos anos estão se expandindo pela região (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

### **3.4 Arenização para além do sudoeste do RS e sua relação com os solos RQo**

Partindo da compreensão que a arenização é um processo erosivo que ocorre em áreas com características específicas e que pode ser desencadeado por práticas antrópicas, nos últimos anos pesquisadores de

outros estados do Brasil apropriaram-se do conceito para explicar o surgimento de manchas de areias em suas regiões.

No sudoeste de Goiás, no sudoeste do Piauí e no leste do Tocantins alguns estudos (SOUSA *et al.*, 2012; SCOPEL *et al.*, 2012; CRISTO, 2013; SUERTEGARAY e OLIVEIRA, 2014; SILVA, 2014; SUERTEGARAY, 2017) indicam a presença dos processos de arenização associados aos solos Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo).

Segundo Oliveira (2015, p. 23), “todas as áreas em atual estudo com ocorrência de manchas arenosas se observa a presença da formação de solo de idade recente, descritos como Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo).”

Suertegaray (2012), sobre os solos do sudoeste gaúcho afirma:

“(…) os solos onde ocorrem o processo de arenização, são solos novos, formações muito recentes, rasos ou profundos, frágeis com baixo teor de matéria orgânica – inferior a 1% - e de nutrientes. Solos arenosos “altamente suscetíveis à erosão hídrica e eólica”. A erosão que observa nesses solos é a erosão em sulcos. Essas dão origem às ravinas e voçorocas. A erosão eólica só ocorre quando esse solo não está coberto. Denominam-se esses solos, mais recentemente, de Neossolos Quartzarênicos Órticos.” (Suertegaray, 2012 p. 154)

De acordo com a EMBRAPA, os Neossolos Quartzarênicos Órticos ocorrem em relevo plano ou suave ondulado, apresentam textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A, que é ligeiramente escuro. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, descreve os solos RQo como:

“Solos com sequência de horizontes A-C ou A, AC, C sem contato lítico dentro dos primeiros 50cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico. São essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo)” (EMBRAPA, 2006,p.182).

Streck *et al.* (2008), embora sem trabalhos de mapeamento, indicam a ocorrência dos solos RQo para região da Campanha Gaúcha, encontrados nas áreas em processo de arenização. Os autores apontam que a arenização é um processo natural que ocorre sobre áreas ocupadas pelos solos RQo e em alguns Latossolos de textura média (arenosos) (OLIVEIRA, 2015).

Scopel *et al.* (2012) também verificaram que é sobre os solos RQo que ocorrem processo de arenização, para o sudoeste do RS. Segundo os autores ao estudarem com maior detalhe os solos dessa região, constataram que:

“os solos RQo possuem baixa capacidade de água disponível, baixa CTC, baixos teores de matéria orgânica, são ácidos e, muitas vezes, álicos, dispõem de baixos teores de nutrientes necessários para as plantas, são excessivamente drenados, com altas taxas de infiltração de água no solo e valores elevados de condutividade hidráulica saturada, facilitando a lixiviação dos nutrientes, adicionados pela adubação e oferecem dificuldades para mecanização, devido à consistência muito solta e facilidades para o processo erosivo, pelos mesmos motivos. Em algumas áreas constata-se a presença de um teor maior de areia fina e muito fina, observando-se a formação de crosta superficial, reduzindo, com isso, as taxas de infiltração de água no solo. Em síntese e sob o ponto de vista agrícola, são solos inaptos para culturas anuais e mecanizadas, considerando-se os investimentos necessários para obtenção de produtividades economicamente compatíveis” (SCOPEL *et al.*, 2012, p.536).

Para a região do sudoeste de Goiás Sousa *et al.* (2012, p. 576) declaram “ainda que os areais resultem de um processo de degradação, que é mais amplo que a degradação do solo, envolvendo um conjunto de fatores interdependentes, é primordial a relação entre RQo e os areais, pois os areais sempre ocorrem em RQo” (SOUSA *et al.*, 2012, p. 576).

Como já evidenciado, no sudoeste de Goiás o processo de arenização também ocorre em áreas de solos RQo, porém diferentemente do RS. Os areais nessa região são formas recentes na paisagem e têm sua gênese ligada ao processo de desmatamento e mecanização em áreas em que foram implementadas pastagens e culturas. No município de Serranópolis onde os areais ocorrem em maior densidade, “o principal condicionante foi a exploração de áreas vegetadas, potencialmente favoráveis à formação de areais, com cana-de-açúcar e pastagem por um ou mais ciclos, implantadas na década de 1980” (SOUSA *et al.*, 2012, p. 572).

SOUSA *et al.* (2012, p. 569) afirmam:

“Ainda que a idade, a gênese do processo e os principais “tipos” ou “modelos” de areais no Rio Grande do Sul, ao que parece, sejam diversos do que se tem verificado em Goiás, algumas formas são parecidas e há algumas semelhanças, como: a posição em reverso de cuesta, a ocorrência predominantemente em arenitos Botucatu, a localização nas bordas da Bacia Sedimentar do Paraná, além da maior parte das características intrínsecas aos solos.”

Nos trabalhos de Sousa (2009) e Sousa *et al.* (2012) evidencia-se estudo do processo de arenização do sudoeste de Goiás, na identificação dos principais aspectos dos areais, com ênfase na compreensão do nível de degradação do solo. O processo de formação de areais envolve uma dinâmica que se desencadeia a partir da carência de nutrientes e do manejo inadequado do solo numa área de forte fragilidade potencial. Origina pequenas manchas de areia exposta, desencadeia processos erosivos e degradação do solo, associados à excessiva pressão de pastejo, o que facilita a expansão dos areais. As características intrínsecas dos Neossolos Quartzarênicos favorecem a degradação, evidenciada pela perda por completo da fraca estrutura natural na camada superficial. O que repercute na deficiência de nutrientes e matéria orgânica e na baixa capacidade de retenção de água, fatores, dentre outros, que facilitaram a expansão dos areais.

Diante disso, o olhar sobre o processo de arenização e sua relação com os solos RQo se amplia para outras áreas no Brasil. Suertegaray (2017), faz uma reflexão histórica sobre o tema arenização, desde sua concepção inicial e todo o percurso abordado durante os anos por diversos pesquisadores com suas dimensões analíticas. Por fim, a autora apresenta outras áreas do Brasil onde o olhar com foco na arenização se amplia e revela como ponto convergente a relação com o tipo de solo RQo.

Na região nordeste do Tocantins (Jalapão) “é possível observar a presença significativa de solos arenosos associados às grandes dunas e que constituem sua identidade paisagística”. Na região do Jalapão, especialmente na área de ocorrência das dunas, a indicação é de que o solo é do tipo Neossolos Quartzarênicos Órticos. (SUERTEGARAY, 2017).

Outra área que apresenta manchas arenosas associadas aos solos RQo é o sudoeste do Piauí, em Gilbués. Nessa região pesquisadores têm desvinculado o termo “núcleo de desertificação” de Gilbués (SALES, 2003; SILVA, 2014). Segundo Silva (2014), “conforme os conceitos apresentados pela literatura sobre a desertificação e de acordo com as diferenças geoambientais do núcleo de Gilbués com os demais núcleos de desertificação do nordeste brasileiro considerou mais adequado o emprego do termo e conceito de “arenização”, para elucidar o processo de erosão do solo

característico do sudoeste piauiense”.

Assim, referindo-se às quatro áreas que apresentam solos RQo e semelhanças com o processo de arenização, Suertegaray (2017, p. 72) sintetiza:

Em geral, as investigações em andamento não, necessariamente, se utilizam do conceito de arenização como síntese desse processo de erosão/degradação de solos, mas, se observarmos as especificações de cada processo investigado podemos concluir por significativas semelhanças, quais sejam: origem genética dos depósitos, solos arenosos (em geral RQo), processos erosivos associados a fluxos hídricos concentrados do tipo ravinas e ou voçorocas, formação de areais, ou seja, depósitos superficiais de areia remobilizada, sem presença de cobertura vegetal, como expressão de uma dinâmica de deposição em ambiente seco e remobilização em ambiente úmido (subtropical) ou semiúmido (tropical).

## CAPÍTULO 4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir os objetivos propostos serão executadas as seguintes etapas:

### 4.1 Amostragem e geração dos espectros temporais

Para gerar os espectros temporais de NDVI e EVI e assim, poder analisar a variação da cobertura vegetal em áreas de RQo, utilizou-se a ferramenta online “SATVeg”.

O SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação - é uma ferramenta Web desenvolvida pela Embrapa Informática Agropecuária (Figura 16), destinada à observação de perfis temporais de índices vegetativos – NDVI e EVI - que expressam as variações da biomassa verde na superfície terrestre ao longo do tempo. No SATVeg estão disponíveis as séries históricas completas dos índices vegetativos NDVI e EVI, derivados das imagens do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua. As imagens são adquiridas do Land Processes Distributed Active Center (LP-DAAC), um centro vinculado ao NASA 's Earth Observing System. As séries temporais dos índices vegetativos fazem parte da coleção 6 dos produtos MOD13Q1 (derivado do satélite Terra, com início em 18/02/2000) e MYD13Q1 (derivado do satélite Aqua, com início em 04/07/2002). Nestes produtos, o NDVI e o EVI são disponibilizados em composições máximas de 16 dias, com resolução espacial de aproximadamente 250m.<sup>2</sup>

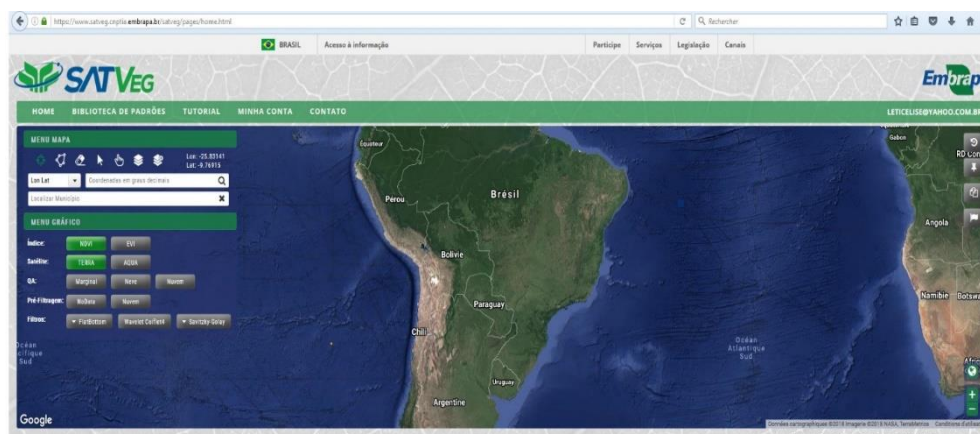


Figura 16: Interface de trabalho da ferramenta web SATVeg.

<sup>2</sup> Informações disponíveis no site : <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/pages/home.html>

Em cada um dos quatro municípios foram selecionadas 8 amostras (polígonos) de índice NDVI e EVI em áreas de ocorrência de solos RQo (Figura 17). Como critério para a definição da localização dos polígonos amostrais utilizou-se os critérios que Guasselli (2012) cita em seus estudos, ou seja, foram selecionadas: a) quatro amostras em áreas de reduzida biomassa, que segundo o autor caracterizam-se por uma cobertura vegetal de campo que se apresenta visualmente de forma mais rarefeita na superfície observada; b) quatro amostras em “solo exposto”, que caracteriza-se pela associação de áreas de reduzida biomassa e areais, neste caso considerou-se para fins de delimitação áreas onde a reduzida biomassa articula-se, também, com a presença de areais (GUASSELLI, 2012).

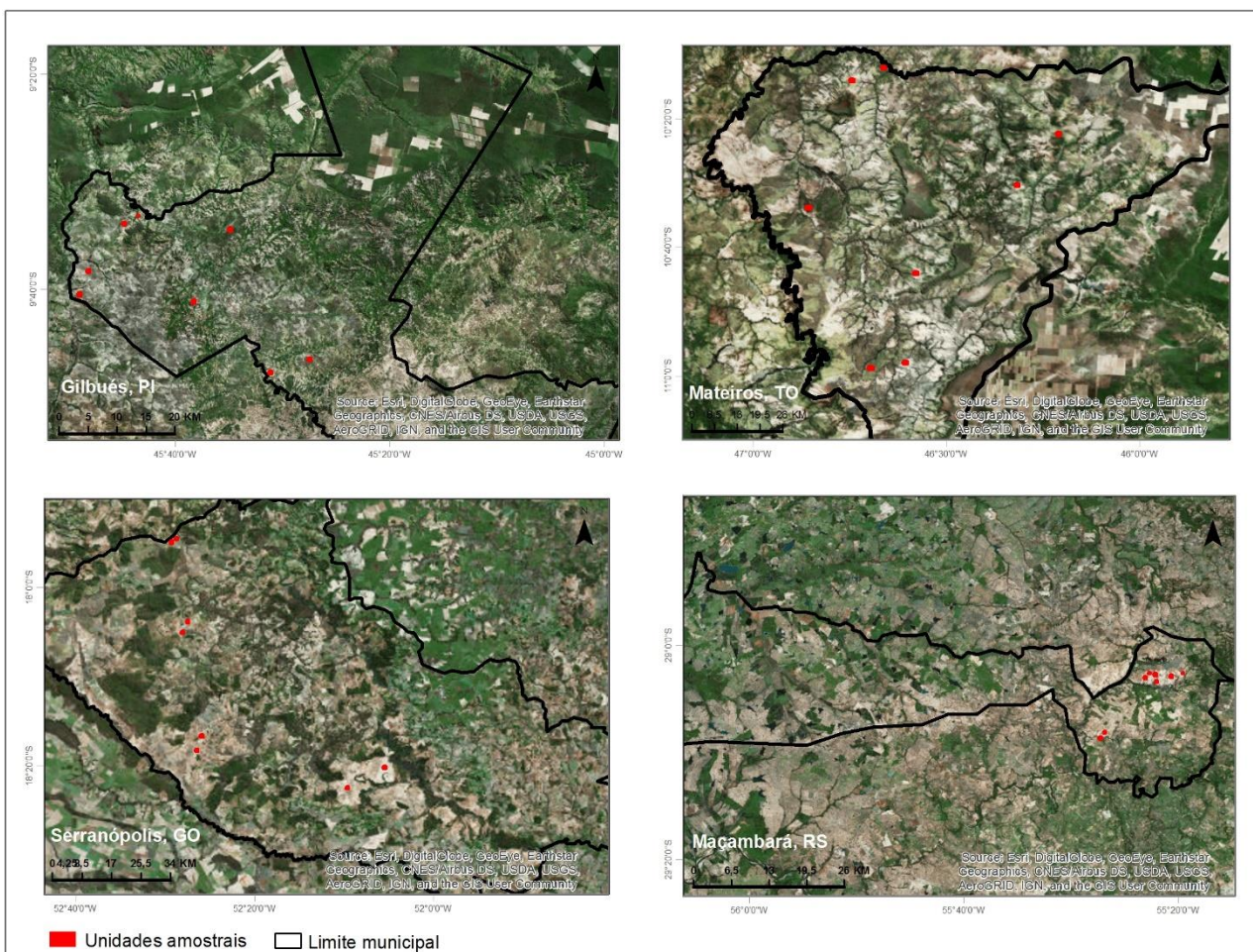


Figura 17: Mapa-imagem com localização das unidades amostrais em solos RQo, Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará.

O procedimento de seleção dos polígonos amostrais, figura 18, através



da ferramenta web SATVeg em uma área de reduzida biomassa no município de Macambará/RS e a Figura 19 em uma área de solo exposto no mesmo município. O quadrado interno de cor amarelada que se visualiza no momento da seleção, corresponde a 1 pixel do sensor MODIS de 250m, unidade amostral mínima que foi utilizada para a definição dos polígonos amostrais. A ferramenta disponibiliza a série temporal dos índices desde o ano de 2000 até os dias atuais, porém conforme os objetivos da tese, realizou-se o download dos dados correspondentes ao ano 2000 até 2015.

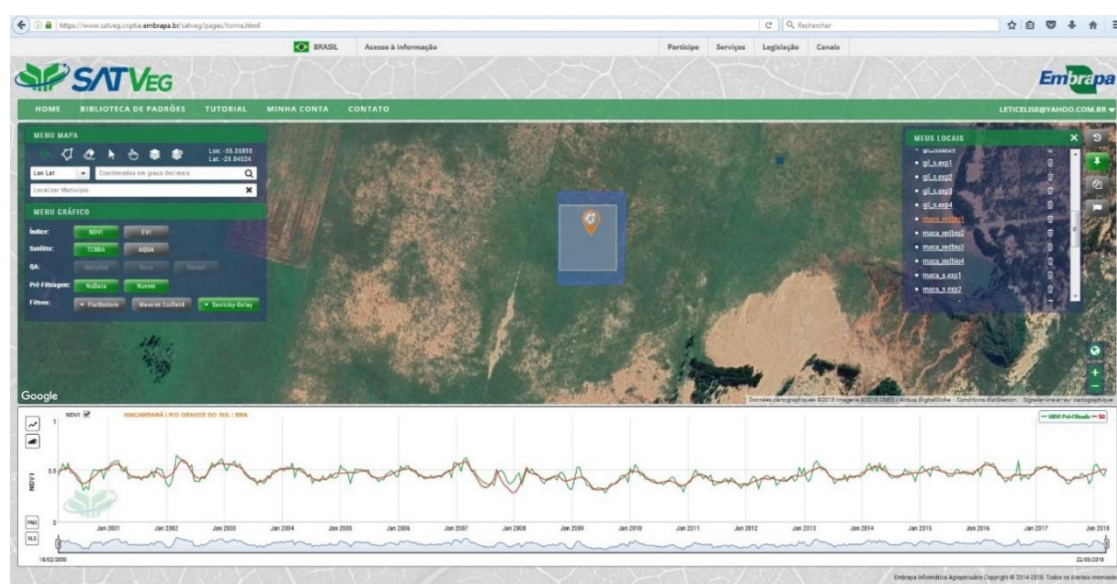


Figura 18: Interface SATVeg – coleta da série histórica de índice de vegetação de uma amostra do tipo “reduzida biomassa”, Maçambará/RS.

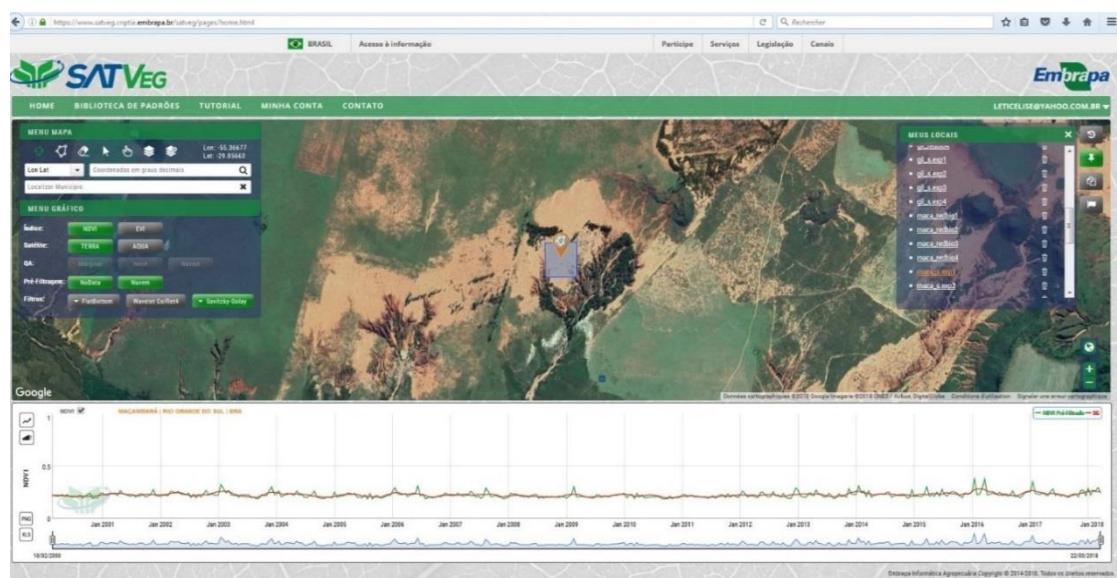


Figura 19: Interface SATVeg – coleta da série histórica de índice de vegetação de uma amostra do tipo “solo exposto”, Maçambará/RS.

Foram utilizados apenas os dados NDVI e EVI derivados do satélite Terra, pré-filtrados<sup>3</sup> e filtrados com o filtro Savitzky-Golay<sup>4</sup> com uma janela móvel 6.

Após a seleção e download dos dados, realizou-se a média mensal dos valores dos índices, plotados em gráficos para representar os espectros temporais de NDVI e EVI da série temporal de 2000 a 2015. Estes espectros temporais foram utilizados para caracterizar cada unidade amostral de cobertura vegetal em solo RQo, com o intuito de traçar semelhanças e/ou diferenças entre as áreas de estudo e analisar a ocorrência de um comportamento sazonal para a cobertura vegetal.

#### 4.2 Aquisição e pré-processamento das imagens MODIS

Organizou-se a base de dados orbitais do produto MOD13Q1 - NDVI e EVI, sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, disponibilizadas no portal Land Processes Distributed Active Archive Center (LP-DAAC - NASA), imagens de 16 dias, com resolução espacial de 250m.

Para cada uma das quatro áreas de estudo foi adquirida uma série temporal totalizando 368 imagens de NDVI e de EVI, entre o período de 2000 e 2015, num total de 23 imagens por ano para cada índice. O Quadro 3 apresenta as datas de cada uma das 23 imagens, tanto de NDVI como EVI.

Quadro 3. Imagens de NDVI e EVI/MODIS do período de um ano

Dia juliano	Dia do mês	Mês
001	1	Janeiro
017	17	Janeiro
033	2	Fevereiro
049	18	Fevereiro

<sup>3</sup> As séries temporais dos índices vegetativos podem apresentar oscilações inconsistentes em seus valores em decorrência da presença de nuvens, outras influências atmosféricas e da geometria de aquisição da imagem no momento da passagem dos satélites. A pré-filtragem permite a aplicação de um método simples, baseado em interpolação bi-linear, para a eliminação de valores não válidos (NoData) e de valores classificados com a presença de neve e nuvem pelos dados de qualidade do pixel. Fonte: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/>

<sup>4</sup> Filtro de suavização, baseado em janela móvel, que utiliza ajuste linear de mínimos quadrados por meio de sucessivas equações polinomiais. O usuário tem a opção de definir o tamanho da janela móvel: 2, 3, 4, 5 e 6. Quando maior a janela, maior o efeito de suavização. Fonte: <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/>

065	6	Março
081	22	Março
097	7	Abril
113	23	Abril
129	9	Maio
145	25	Maio
161	10	Junho
177	26	Junho
193	12	Julho
209	28	Julho
225	13	Agosto
241	29	Agosto
257	14	Setembro
273	30	Setembro
289	16	Outubro
305	1	Novembro
321	17	Novembro
337	3	Dezembro
353	19	Dezembro

As imagens foram reprojctadas para a Projeção Geográfica, Datum WGS. A base de dados está relacionada ao estudo da vegetação em áreas de solo RQo.

As séries temporais de imagens de NDVI e de EVI foram filtradas no ambiente R (R CORE TEAM 2016), utilizando o filtro Whittaker (WS) (ELIERS, 2003; ATZBERGER e EILERS 2011ab; ATKINSON et al., 2012), para amenizar as oscilações inconsistentes em seus valores em decorrência da presença de nuvens, influências atmosféricas e da geometria de aquisição da imagem no momento da passagem do satélite. A filtragem WS é um procedimento iterativo que diminui o peso das observações negativamente tendenciosas e *outliers*, o que leva a uma suavização mais próxima ao patamar superior da série, que tende a ter valores mais confiáveis (ATZBERGER e EILERS, 2011).

### **4.3 Análise da variação espaço-temporal de NDVI e EVI por meio das características da série temporal das imagens MODIS**

Para analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI nas áreas de RQo por meio das características média, tendência, variabilidade interanual (IAV), sazonalidade e STV (short-term variability) de uma série temporal de imagens MODIS foi adotada a metodologia de Forkel et al. (2013), utilizando o pacote *greenbrown* disponível no ambiente R. Este pacote apresenta uma gama de funções para analisar tendências e mudanças de tendências em séries temporais. Foram obtidos os parâmetros de Média, Tendência, Variabilidade Interanual (IAV), Desvio Padrão de IAV, Variação Sazonal, Variabilidade Intra-Anual (STV) e Desvio Padrão de STV, das séries temporais de cada área de estudo.

O cálculo dos parâmetros é baseado na decomposição da série seguindo as etapas descritas por Forkel et al. (2013), Figura 20:

1º) cálculo da média da série temporal;

2º) cálculo do parâmetro tendência com base no método AAT - *Annual Aggregated Time Series*, onde os valores mensais da série são agregados a valores anuais e, assim, o coeficiente de inclinação da reta da regressão linear é estimado, indicando uma tendência positiva ou negativa (sem calcular as mudanças abruptas);

3º) cálculo do IAV, que corresponde ao desvio padrão das anomalias (ruídos) anuais, gerado pela subtração da média e da tendência dos valores originais da série;

4º) cálculo da sazonalidade pela subtração da média, da tendência e das anomalias da série temporal original;

5º) cálculo da STV a partir da subtração da média, da tendência, das anomalias e do ciclo sazonal da série temporal.

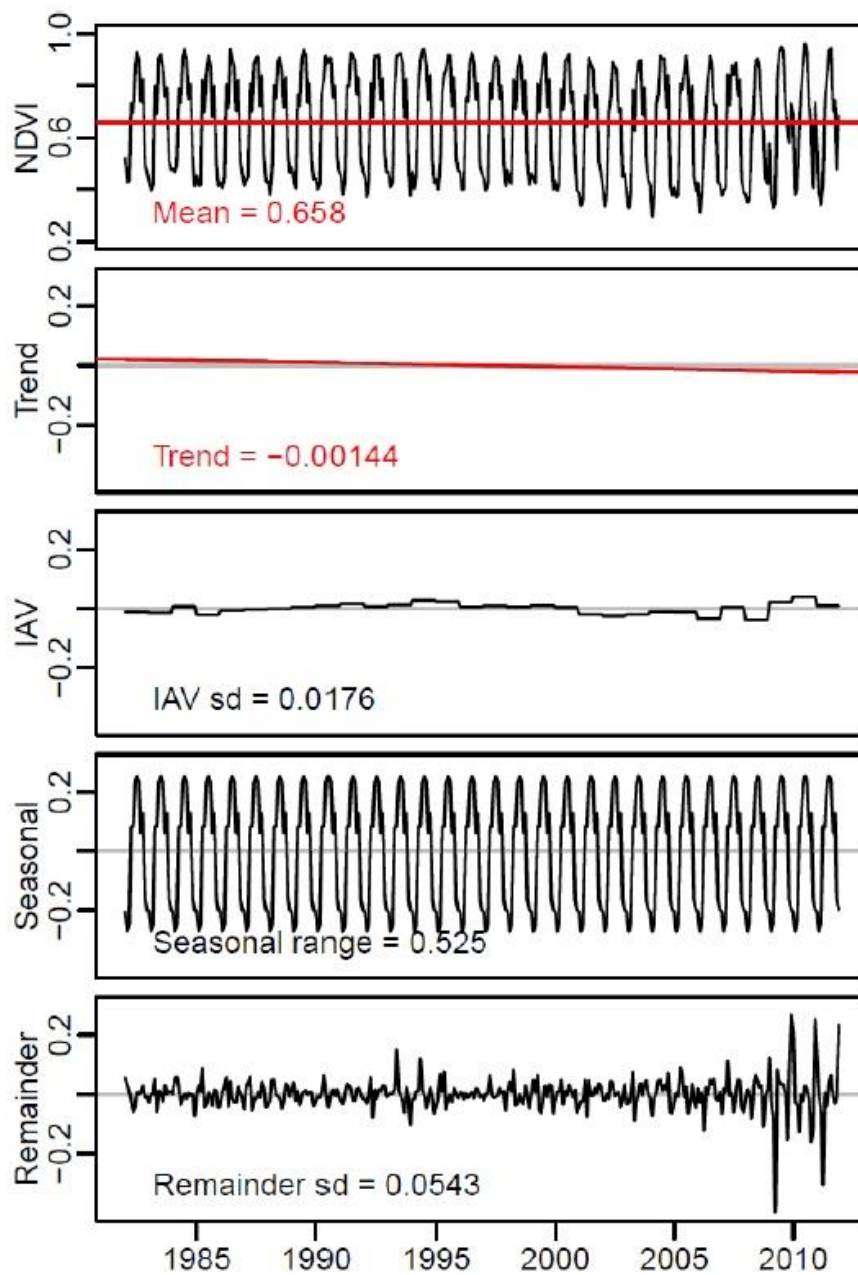


Figura 20: Componentes de séries temporais estimadas para uma célula de grade de exemplo selecionada aleatoriamente no centro do Alasca ( $3 \times 3$  células da grade em média em torno do pixel central  $146.424^\circ \text{ W}$ ,  $64.762^\circ \text{ N}$ ). O painel superior mostra a série temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) original com seu valor médio (linha vermelha). Os próximos painéis mostram a tendência estimada, variabilidade interanual (IAV) (ou seja, anomalias anuais), sazonalidade (ou seja, ciclo) e variabilidade de curto prazo (componente restante), respectivamente. A soma da média, tendência, IAV, componente sazonal e restante é igual à série temporal original. Fonte: Forkel et al. (2013).

## 4.4 Dados meteorológicos

### 4.4.1 Precipitação

Os dados de precipitação utilizados são originários do produto 3B42 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). O TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), lançado no ano de 1997, com objetivo de monitorar e estudar através de dados de radar, a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (KUMMEROW et al., 2000).

O produto 3B42 fornece estimativas de precipitação diária acumulada (mm/dia) originadas a cada 3 horas em grade de resolução espacial de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Esses dados são obtidos através da técnica *Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA) (HUFFMAN et al., 2007).

Esta técnica é uma combinação de estimativas de precipitação do canal de microondas provenientes do TRMM Microwave Imager (TMI), Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E), Advanced Microwave Sounding Radiometer (AMSU-B), Canal Infravermelho (IR) através do Goes Precipitation Index (GPI) e com informações de precipitação mensais de superfície, provenientes do Global Precipitation Climatology Center (GPCC).

Os dados do satélite TRMM aqui utilizados foram coletados a partir da ferramenta web “series view” desenvolvida pelo LAF (Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Florestas - INPE) (FREITAS et al., 2011). Essa ferramenta permite visualizar uma série temporal mensal de precipitação pluviométrica de qualquer ponto marcado sobre o mapa do Brasil, correspondente ao período de janeiro de 2000 até os dias atuais. As áreas selecionadas para a coleta dos dados são correspondentes aos polígonos amostrais utilizados no SATVeg.

### 4.4.2 Temperatura

Os dados de temperatura utilizados foram coletados a partir da ferramenta

web “series view” desenvolvida pelo LAF/INPE (FREITAS *et al.*, 2011). Essa ferramenta disponibiliza as séries históricas de temperatura da superfície da Terra oriundos do sensor MODIS do satélite Terra e Aqua, com resolução temporal de 8 dias e espacial de 1 km (ARAI *et al.*, 2017).

Utilizou-se apenas os dados do satélite Terra que passam pela linha do Equador às 10h30min no horário local, realizando sua coleta diurna e novamente às 22h30min para a coleta noturna. Estão disponibilizados na ferramenta web “Series view” os dados agrupados a cada 16 dias, tanto para as temperaturas diurnas, como para as temperaturas noturnas, após o download desses dados se realizou a média de cada mês correspondente ao período de 2000 a 2015. As áreas selecionadas são correspondentes aos polígonos amostrais utilizados no SATVeg.

## **CAPÍTULO 5 – RESULTADOS**

---

Os resultados estão organizados e apresentados visando responder os objetivos propostos, e estão desenvolvidos a partir dos seguintes itens:

- Panorama geral dos municípios: dinâmicas naturais e antrópicas da variação espaço-temporal da cobertura vegetal;

- Variação do NDVI e EVI de imagens MODIS em áreas de RQo a partir de espectros temporais;

- Análise da variação espaço-temporal de NDVI e EVI nas áreas de RQo por meio das características da série temporal de imagens MODIS.

### **5.1 Panorama geral dos municípios: dinâmicas naturais e antrópicas que envolvem a variação espaço-temporal da cobertura vegetal**

Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará segundo, Sousa et al., 2012; Scopel et al., 2012; Cristo, 2013; Suertegaray; Oliveira, 2014; Suertegaray, 2017, são municípios que apresentam processo de arenização associados aos solos RQo: Nessas áreas, os solos RQo são apenas um dos tipos de solos que compõem a área municipal, alguns apresentam a quase totalidade de sua área com o solo RQo e outros apenas uma pequena porção.

Optou-se por apresentar uma caracterização dos municípios, não apenas focando nas áreas de RQo, com intuito de assim formar uma visão geral para poder melhor compreender as dinâmicas naturais e antrópicas que envolvem a análise da variação espaço-temporal da cobertura vegetal. Nesse sentido, inicialmente será feita uma contextualização da precipitação, da temperatura, dos índices de vegetação e dos tipos de solos e após uma caracterização do uso do solo e cobertura vegetal em cada município.

#### **5.1.1 Gilbués**

Gilbués localiza-se no estado do Piauí. Possui um clima característico do Cerrado, apresentando dois períodos bem marcados um pela presença e outro



pela escassez de chuvas. Além de estar enquadrado do clima Aw de Köppen, segundo Silva (2014), regionalmente o clima de Gilbués é do tipo tropical de continentalidade articulada, dotado de um período chuvoso durante o ano, opondo-se a outro, mais seco. De acordo com o mapa de Climas do Brasil (IBGE, 2002) o município de Gilbués enquadra-se no clima Tropical Brasil Central, semi-úmido com 4 a 5 meses secos, considerado um clima quente com temperaturas médias mensais acima de 18°C em todos os meses do ano.

De acordo com Silva (2011) a pluviosidade varia entre 870 mm, como regime pluvial mais seco, e 1330 mm, como período pluviométrico de regime chuvoso. No período entre 1998 e 2009, a precipitação apresentou totais anuais em torno de 1.100 mm.

A figura 21 apresenta a média mensal da precipitação e da temperatura no período entre 2000 e 2015, evidenciando o padrão sazonal da precipitação. O final da estação seca se dá entre setembro/outubro iniciando a partir daí a estação chuvosa que vai até março/abril. Com o início das chuvas as temperaturas médias mensais tendem a apresentar uma leve diminuição, ficando em torno de 25°C.

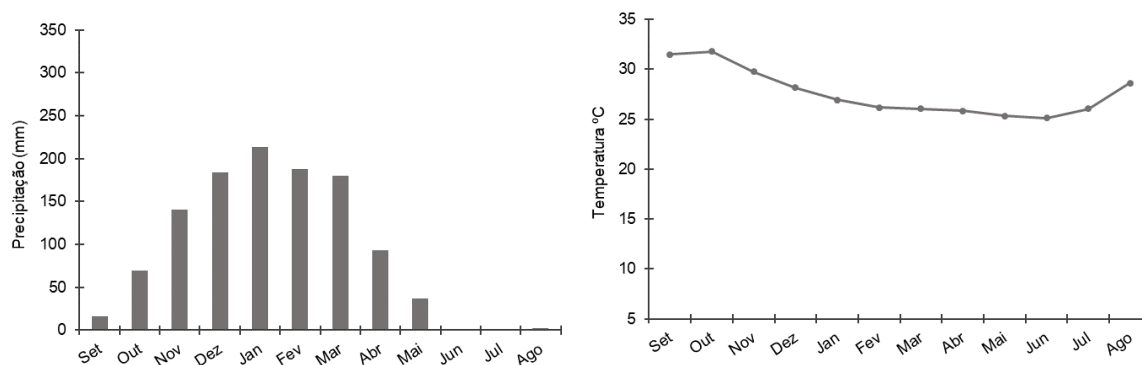


Figura 21: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Gilbués. Fonte dos dados: ferramenta web Series view, Freitas et al.; 2011.

Os elementos e fatores climáticos constituem-se de primordial importância na caracterização da cobertura vegetal. Para compreender o comportamento temporal dos índices NDVI e EVI é essencial considerar a dinâmica sazonal da precipitação e da temperatura, pois elas influenciam a atividade fotossintética e a quantidade de biomassa das formações vegetais (SOUZA et al., 2016).

O comportamento dos índices de vegetação em Gilbués, figura 22, é

influenciado pelo regime das chuvas. Para as quatro amostras tanto de reduzida biomassa como as quatro de solo exposto, os maiores valores de NDVI e EVI correspondem ao período chuvoso e os menores valores ao período seco.

A média das quatro amostras do mesmo tipo de cobertura vegetal, por índice de vegetação no período entre 2000 e 2015 é apresentada na figura 21. As áreas de reduzida biomassa, variam entre 0,4 e 0,55 de NDVI e entre 0,25 e 0,35 de EVI, e as áreas de solo exposto entre 0,3 e 0,35 de NDVI e entre 0,2 e 0,25 de EVI.

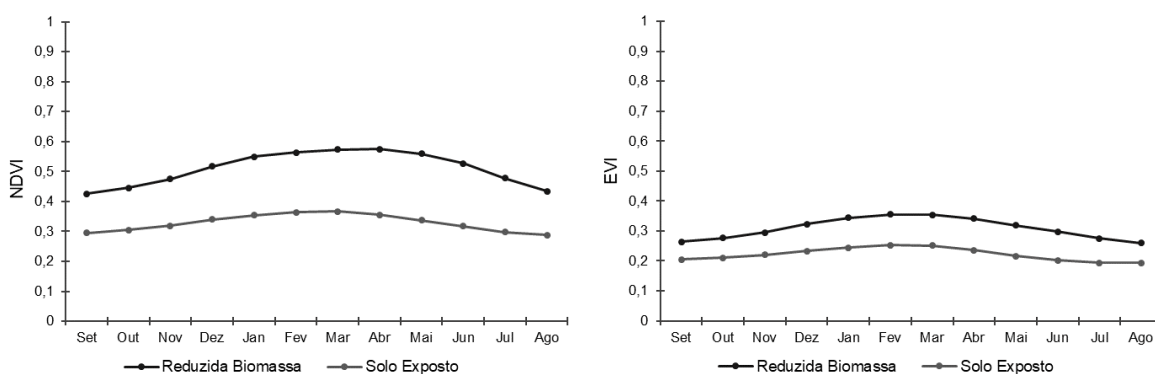


Figura 22: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de cobertura vegetal por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, nas áreas de RQo em Gilbués.

O comportamento sazonal dos índices de vegetação em Gilbués está evidenciado na Figura 23. É nítida a alteração de valores de NDVI e de EVI da estação chuvosa para a estação seca. Esses valores são predominantemente mais elevados na estação chuvosa do que na estação seca. A imagem da estação chuvosa é de 06/03/2015. Nesse período já está se encaminhando para o fim das chuvas, ou seja, o comportamento da vegetação está refletindo a influência dos maiores índices pluviométricos. A imagem da estação seca é de 28/07/2015, meados da estação seca, quando a escassez de chuva também já interfere na vegetação e na diminuição dos valores dos índices.

Nas áreas agrícolas, figura 23, no norte do município, no período da estação chuvosa os índices aumentam, provavelmente por corresponder ao período de desenvolvimento das culturas, e na estação seca provavelmente ao período de colheita.

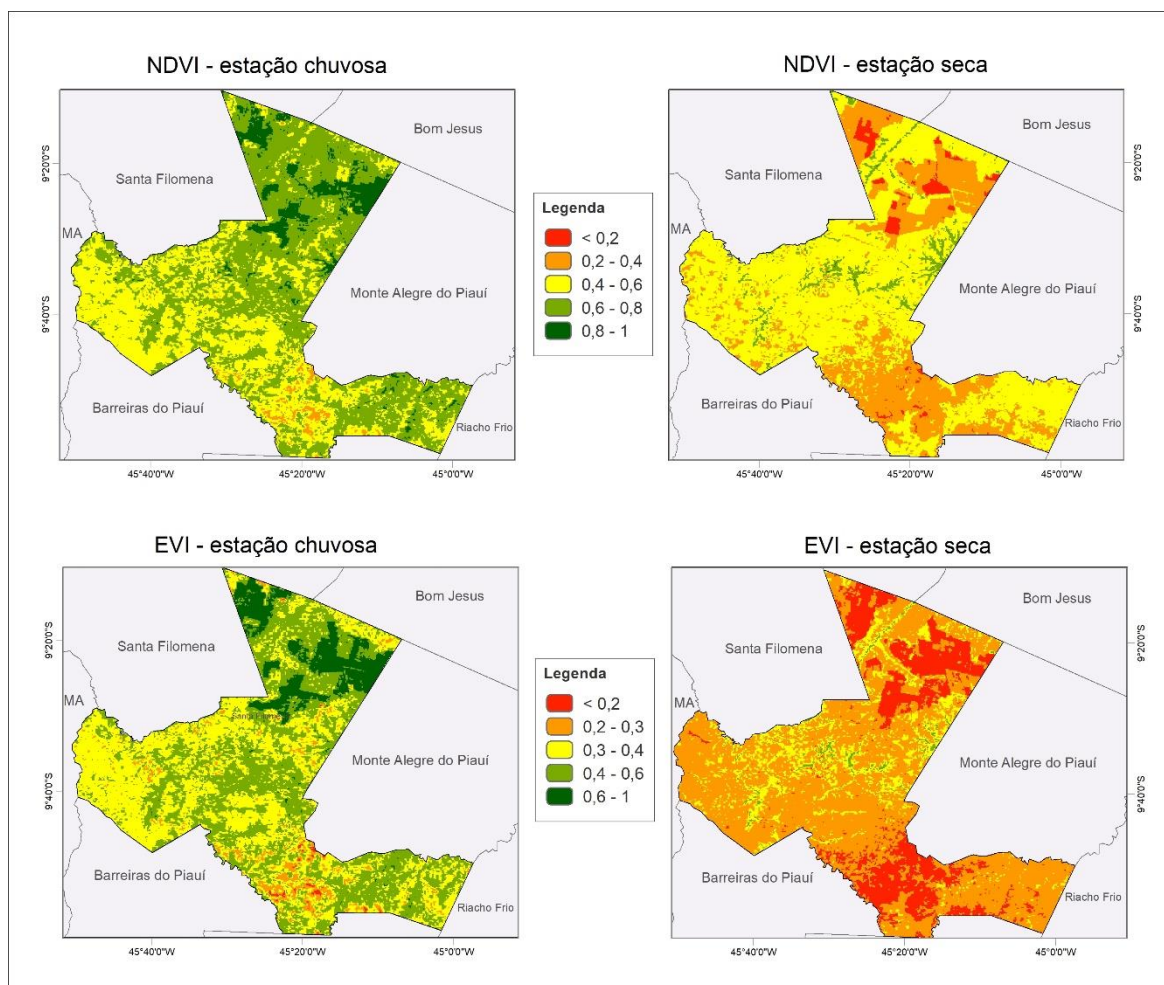


Figura 23: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa (06/03/2015) e a estação seca (28/07/2015) – Gilbués.

Na porção sudeste de Gilbués destaca-se uma área que apresenta valores mais baixos dos índices na estação chuvosa, entre 0,2 e 0,4 de NDVI e entre < 0,2 e 0,3 de EVI, que se intensifica ainda mais na estação seca. Essas áreas segundo Silva (2014) se referem às áreas em que ocorrem processos de degradação de solos, na forma de erosão/arenização, e dificultam ou impedem o uso do solo (Figura 23).

O município de Gilbués abrange uma área total de 3.495,18 km<sup>2</sup>, e apresenta quatro tipos de solos, de acordo com o mapeamento dos solos na escala de 1:500.000.00 (IBGE, 2006), Figura 24.

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) ocupam a porção centro-oeste do município. De acordo com Crepani et al., (2008) os Neossolos Quartzarênicos são solos de textura arenosa e por isso excessivamente drenados, pobres em nutrientes/matéria orgânica e muito profundos.

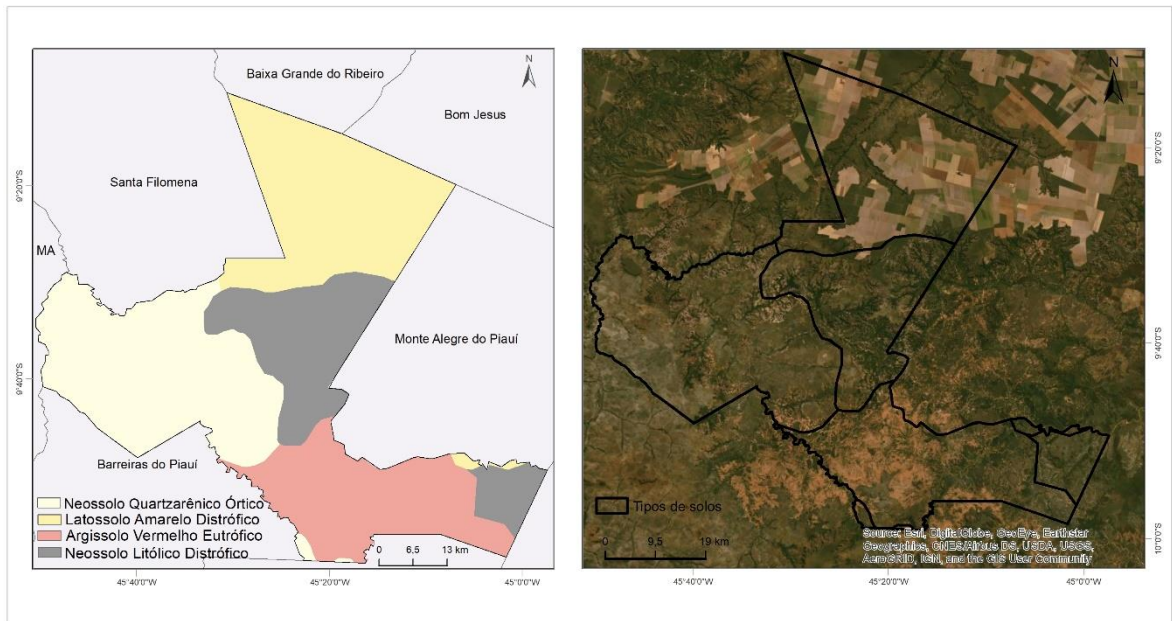


Figura 24: Mapa de solos e imagem do município de Gilbués/PI.  
 Fonte: IBGE, 2006; Basemap/ArcGis. Elaboração: Letícia C. B. da Costa.

Na parte leste ocorre o Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe). De acordo com Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007), os Argissolos têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), a profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos e profundos. Os PVe são de alta fertilidade e possuem restrição à drenagem devido a contato lítico na subsuperfície.

Os Neossolo Litólico Distrófico (RLd) ocupam duas porções em Gilbués, uma pequena no extremo oeste e em maior domínio na região central do município. De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica, compreendem solos rasos, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, associados normalmente a relevos mais declivosos. As limitações ao uso estão relacionadas a pouca profundidade, presença da rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão.

Na porção norte ocorre o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd). Segundo IBGE (2007), são solos profundos, de coloração amarelada, perfis muito homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria. São cultivados com grande variedade de lavouras. Sua ocorrência se dá em

relevo plano ou suavemente ondulado, sendo favorável à mecanização agrícola e não favorecendo a erosão (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA).

Gilbués possui cobertura vegetal típica de Cerrado. Porém, esse termo é amplo e engloba variadas formações vegetais. No levantamento dos recursos naturais do Brasil, realizado pelo projeto RADAMBRASIL (1973 - 1987), foi utilizado o termo Savana para referir-se aos tipos vegetais do Cerrado, devido a similaridade com as savanas africanas. O Manual técnico da vegetação (IBGE, 2012) também adota termos relacionados às Formações Savânicas para se referir as Formações Típicas de Cerrado. Para a classificação da vegetação brasileira resolveu-se adotar o termo Savana como prioritário e Cerrado como sinônimo regionalista (IBGE, 2012) (Figura 25).

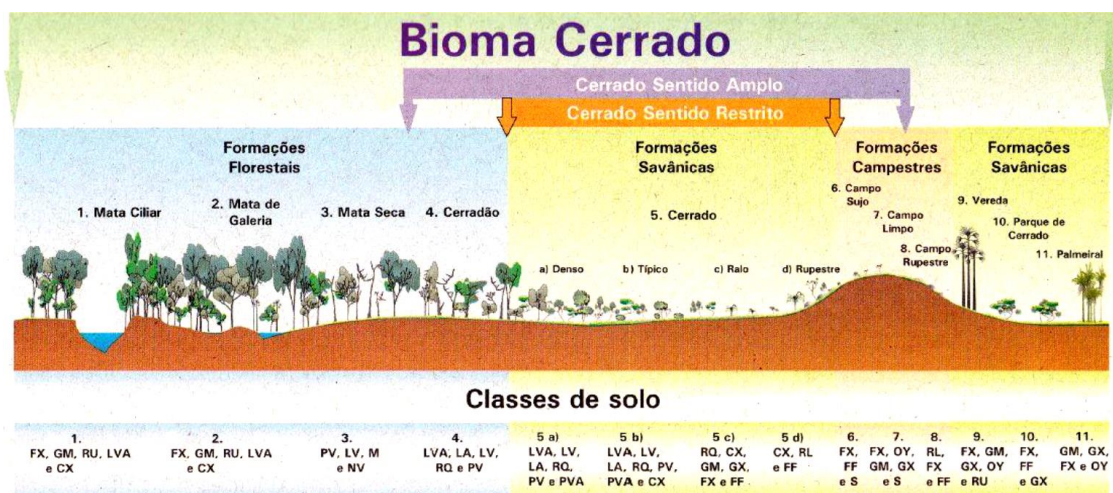


Figura 25: Esquema adaptado das principais fitofisionomias do bioma Cerrado apresentadas num gradiente de maior biomassa (Formações Florestais à esquerda) para as de menor biomassa (Formações Savânicas e Campestres à direita), na posição topográfica em que geralmente ocorrem. As classes de solos estão destacadas quanto à sua ocorrência em cada fitofisionomia. Fonte: RIBEIRO; WALTER (2008, apud BASTOS e FERREIRA, 2010).

A cobertura vegetal original em Gilbués, de acordo com o levantamento do projeto RADAMBRASIL, Figura 26a, predominantemente é a Savana arborizada, ao norte e oeste sem floresta galeria e ao centro-oeste com floresta galeria. Essa classe refere-se ao Cerrado Sentido Restrito que se caracteriza pela presença dos estratos arbóreo e arbustivo-herbáceo definidos, com as árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno em diferentes densidades. Apresenta quatro subtipos: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e

Cerrado Rupestre (RIBEIRO; WALTER, 2008) (Figura 25). De acordo com Silva (2014) predomina na porção norte de Gilbués o Cerrado Denso e na porção centro-oeste o Cerrado Ralo.

A Savana Florestada e a Savana gramíneo-lenhosa, Figura 26a, também compõem a cobertura vegetal de Gilbués. A primeira conhecida como Cerradão (IBGE, 2012), caracteriza-se segundo Ribeiro; Walter (2008), pela presença de espécies que ocorrem no Cerrado Sentido Restrito e também por espécies de mata. Do ponto de vista fisionômico é uma floresta, mas florísticamente é mais similar a um Cerrado. Apresenta cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%. A Savana gramíneo-lenhosa compreende formações herbáceas com plantas lenhosas raquíticas e ausência completa de árvores.

A Figura 26b mostra os principais usos do solo em Gilbués. As classes “Formação não florestal” e “Formação florestal” compreendem a cobertura vegetal da Figura 26a anteriormente descritas.

Na porção norte a classe “Área antropizada” refere-se predominantemente às áreas de agricultura. De acordo com Silva e Barros (2016), a abertura das fronteiras agrícolas em áreas de Cerrado, fez com que o quadro econômico de Gilbués passasse a sofrer algumas alterações relacionadas com a expansão da agricultura. Foi na porção norte que ocorreu a expansão agrícola devido às características físico-naturais favoráveis. Silva (2014, p.93), caracteriza essas áreas como “instalação do agronegócio, grandes espaços ocupados pela agricultura moderna em contato com extensões tomadas pela pecuária, localiza-se nas áreas planas das chapadas.”

As áreas antropizadas na metade sul, de acordo com Silva e Barros (2016), referem-se às pastagens, solo exposto e áreas que sofrem processo de arenização (Figura 26b).

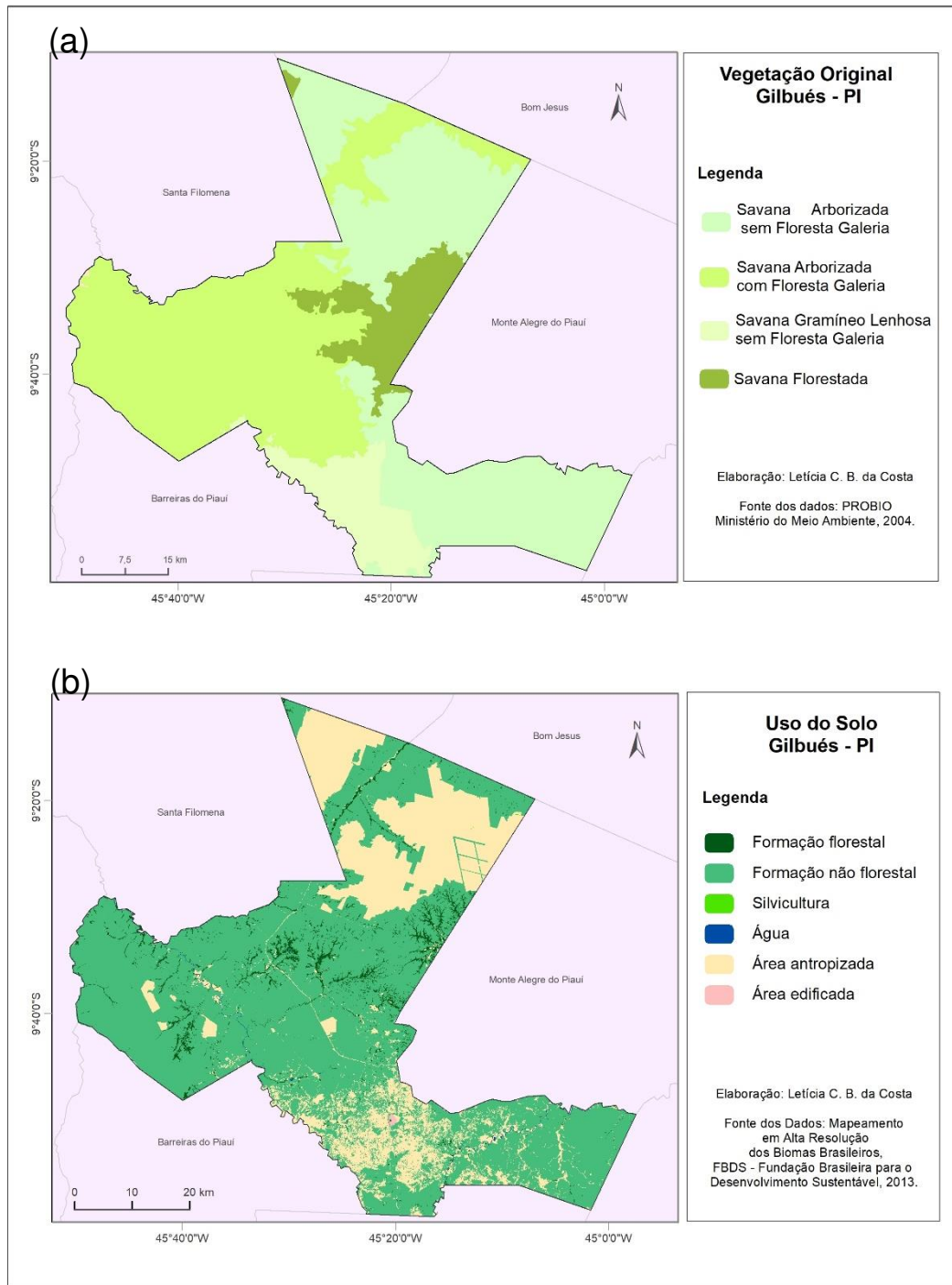


Figura 26:(a) Mapa da vegetação original; (b) Mapa do Uso do solo, Gilbués/PI.

Nas áreas correspondentes aos solos RQo, há apenas algumas manchas correspondentes a classe “Área antropizada”, de acordo com o mapeamento do projeto TerraClass (2013), essas áreas correspondem a pastagens. Não se constata a presença de atividades agrícolas, como na porção norte do município, provavelmente devido às características arenosas do solo RQo, impróprias para cultivo (Figura 26b).

Entretanto, Silva (2014) por meio de classificação de imagens Landsat 5TM ano 2009, constatou pequenas áreas de areais e de solo exposto relacionadas à agropecuária na porção de solo RQo (Figura 27).

No sudeste de Gilbués há maior ocorrência da classe “Área antropizada” (Figura 26b), de acordo com Silva (2014) é onde a arenização/degradação dos solos é mais intensa. Nessas áreas, se evidenciam os processos de degradação/arenização, sendo que o tipo de solo predominante é o PVe e não o RQo como esperado (Figura 24). Segundo Silva (2014), apresentam elevados níveis de degradação dos solos e concentração de superfícies arenosas próximas a rampas no entorno de morros e serras, decorrente de diversos fatores/causas geoambientais. Dentre esses fatores Silva (2014, p.170-171) cita:

- “- Características do solo: o Argissolo Vermelho-Amarelo tipo de solo são bem evoluídos e profundos, constituídos de uma camada areno-argilosa facilmente saturável e pouco consolidada, sobreposta em horizontes impermeáveis, possui minerais pouco resistentes ao intemperismo. No horizonte “B” apresenta quantidade de microporos muito maior do que o horizonte “A” devido a maior concentração de argila, isso aumenta o tempo de água disponível no perfil “B”. Com a ocorrência de eventos pluviométricos intenso-concentrados, nesta área com Argissolos, conseqüentemente impossibilita a rápida infiltração/absorção da chuva devido à água permanecer acumulada no horizonte superficial “B”. Esse tipo de solo se dissolve com facilidade, destituindo os horizontes, isso conseqüentemente torna os processos erosivos acentuados na área de estudo;
- Cobertura Vegetal: Campo Limpo/Campo Cerrado – vegetação extensivamente degradada, presença de alguns arbustos e árvores anãs conectadas ao tapete herbáceo com gramíneas. Esse tipo de vegetação (rasteira - desprovidas de folhas) não oferece suporte para proteger o solo contra impactos da gota da chuva e também não impede a concentração do escoamento superficial;
- Regime e intensidade pluviométrica: caracterizado por quantidades pluviométricas em torno de 1.200 mm anuais, desigual distribuição ao longo do ano, principalmente a predominância de chuvas intenso-concentradas (dezembro-janeiro-fevereiro) e ainda a análise pluviométrica diária, relevou a ocorrência de chuvas “torrenciais” atingindo volume de 144 mm (...).”



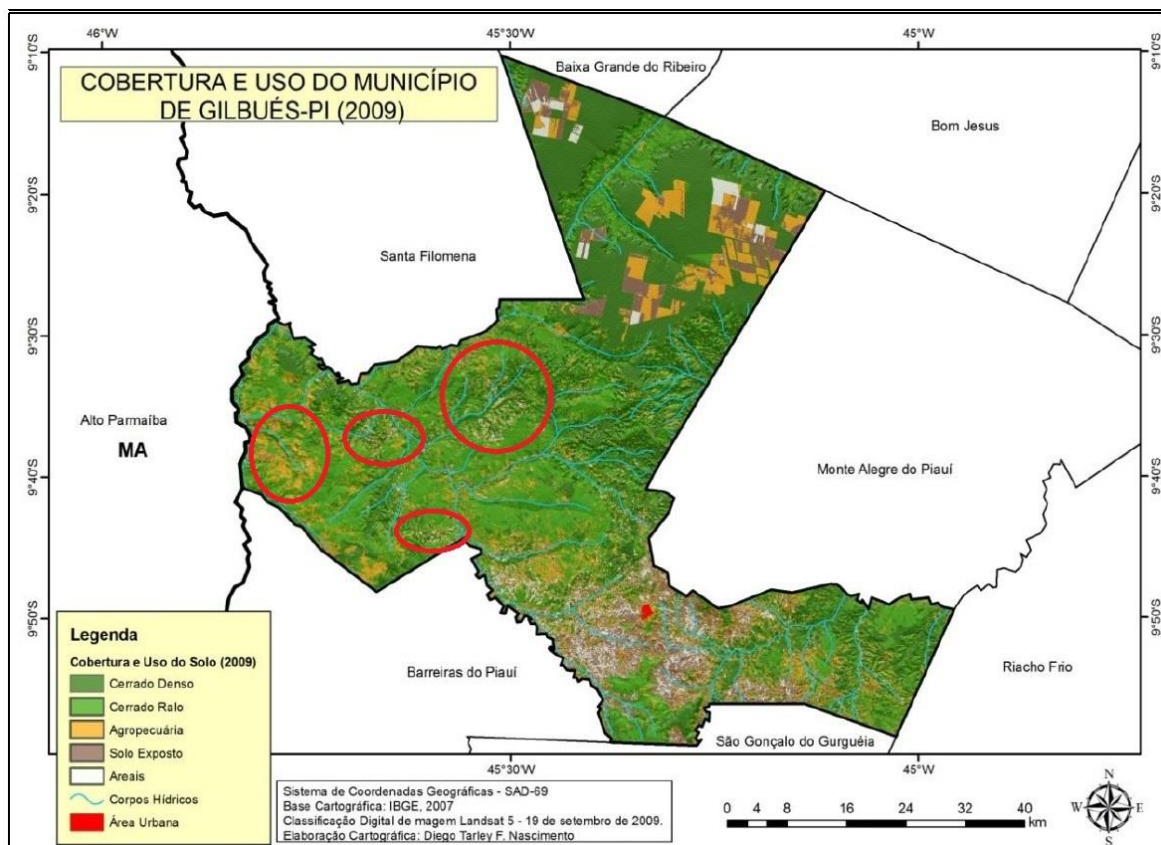


Figura 27: Mapa de cobertura e uso do solo 2009, Gilbués. As áreas circuladas em vermelho se referem as classes de agropecuária, solo exposto e areais sobre os solos RQo. Fonte: Silva (2014).

### 5.1.2 Mateiros

Mateiros localiza-se no leste do estado do Tocantins divisa com Maranhão, Piauí e Bahia. Também situado no Cerrado, apresenta características climáticas semelhantes a Gilbués. A Figura 28 apresenta as médias mensais da precipitação do período entre 2000 e 2015 em Mateiros.

A estação de abundância de chuvas inicia-se por volta de outubro/novembro durando aproximadamente seis meses, iniciando logo em seguida a estação seca. Durante os meses chuvosos a precipitação fica em torno de 200/250 mm mensais. A média pluviométrica anual é de aproximadamente 1400 mm (Figura 28), 300 mm a mais que em Gilbués.

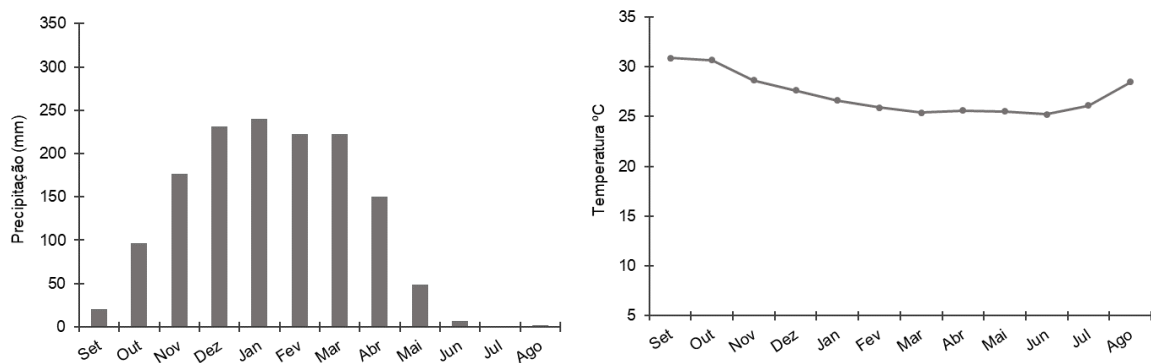


Figura 28: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Mateiros. Fonte dos dados: ferramenta web Series view, Freitas et al.; 2011.

As médias mensais da temperatura do período entre 2000 e 2015 não apresentam um comportamento sazonal definido como a precipitação (Figura 28). As temperaturas se comportam de acordo com o clima da região, com temperaturas elevadas durante o ano, com médias mensais maiores que 18°C e sem grandes variações (IBGE, 2002).

Os dois índices de vegetação delineiam satisfatoriamente o padrão sazonal da precipitação. Os valores de NDVI tanto para as áreas de reduzida biomassa, como as de solo exposto iniciam um declínio a partir do mês de junho onde se encontram com valores entre 0,5 e 0,3 respectivamente. Esse padrão dura até aproximadamente o mês de outubro, quando os valores voltam a aumentar atingindo o máximo em abril para a reduzida biomassa entre 0,6 e 0,4 em março para o solo exposto. O EVI apresenta o mesmo padrão comportamental do NDVI, porém com valores menores para os dois tipos de amostras (Figura 29).

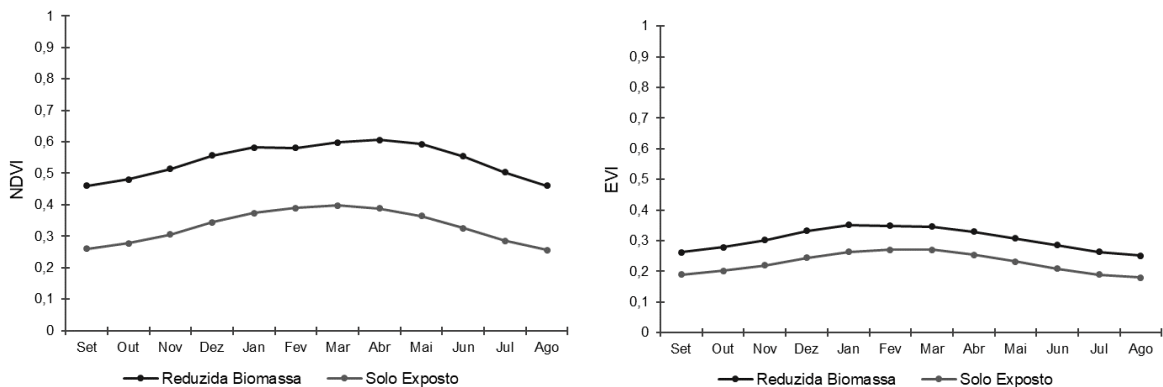


Figura 29: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Mateiros.

A Figura 30 evidencia o comportamento sazonal dos índices de vegetação em Mateiros. Os valores de NDVI e EVI são predominantemente mais elevados na estação chuvosa do que na estação seca. No período de elevados índices pluviométricos os valores de NDVI se concentram entre 0,4 e 0,6 e de EVI entre 0,2 e 0,4. Na estação seca ocorre diminuição nos valores dos índices. Na imagem de NDVI da estação seca os valores se concentram entre 0,2 e 0,4, as áreas com valores entre 0,4 a 0,6 referem-se ao Cerrado Sentido Restrito, que apresenta uma vegetação mais abundante do que nas outras áreas. Na imagem de EVI da estação seca os valores se concentram entre  $< 0,2$  e 0,3.

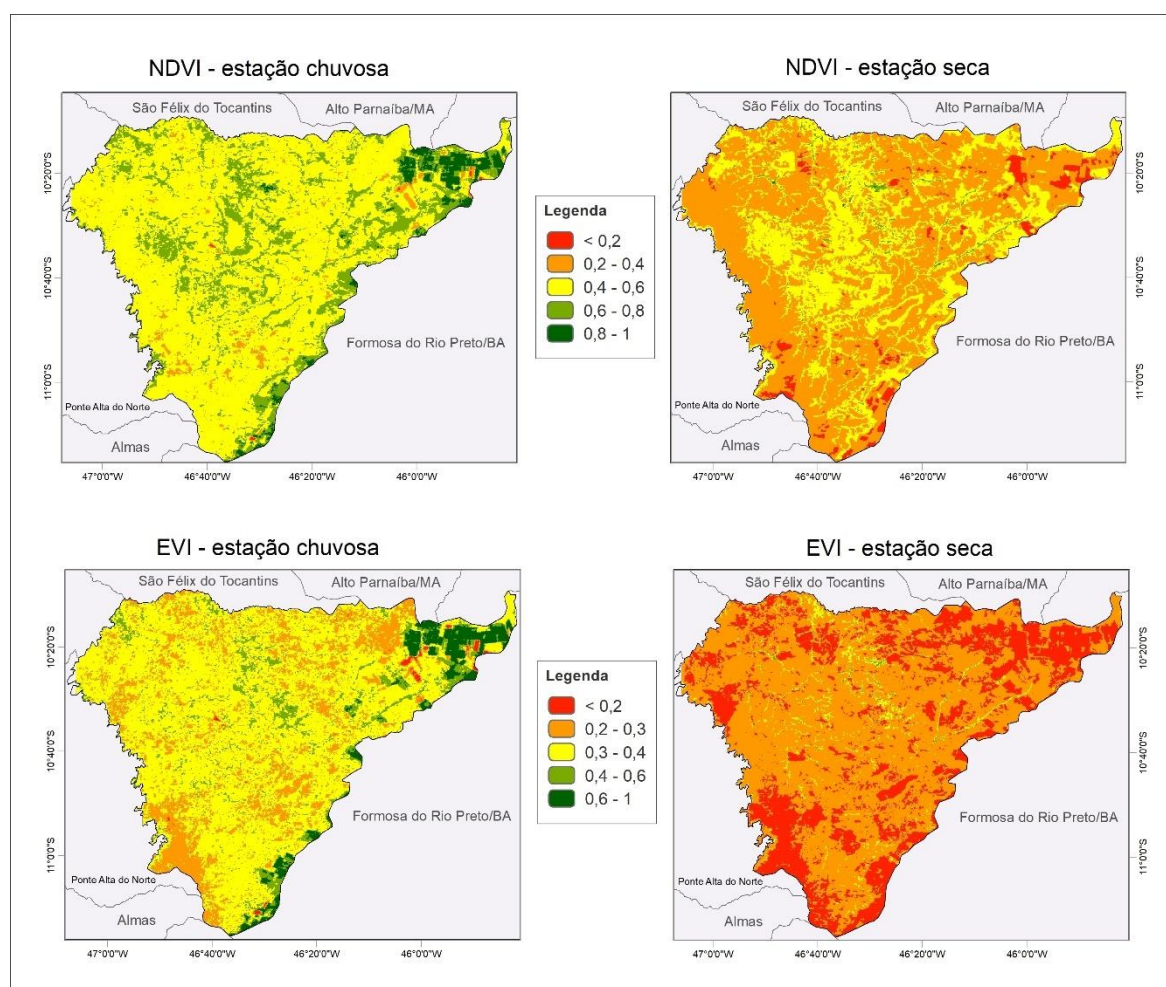


Figura 30: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa (06/03/2015) e a estação seca (28/07/2015) – Mateiros.

Nas duas datas de imagens, Figura 30, não concentraram extensas áreas com valores elevados de NDVI e EVI como, por exemplo, acima de 0,6. Isso evidencia que na cobertura do solo em Mateiros não há concentração de

vegetação de grande porte, característica evidenciada na figura 30.

Conforme mapeamento realizado pela SEPLAN – DZE<sup>5</sup>, a vegetação de campo é a cobertura vegetal predominante em Mateiros (Figura 31). O IBGE (2007) classifica as áreas de campo em Mateiros, como áreas de Savana Parque sem floresta galeria, caracterizadas por uma vegetação arbóreo-arbustiva que possui cobertura arbórea variável de 5% a 20%, altura média de 2 a 4 m, e estrato arbustivo-herbáceo também destacado. Pode ocorrer em trechos contínuos, mas geralmente aparece em mosaicos, incluído em outros tipos de vegetação (RIBEIRO e WALTER, 2008). No município há presença expressiva também do Cerrado Sentido Restrito.

No extremo leste ocorre o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) (Figura 32), onde se concentra as áreas de cultura temporária (Figura 31).

Os solos RQo são predominantes em Mateiros, e englobam a maior parte do município (Figura 32). Segundo Cristo (2013), recobre tanto as áreas mais baixas, em relevos de planícies, quanto nas áreas mais elevadas, nos relevos colinosos em substratos de arenitos.

Segundo Santana *et al.* (2015), a cobertura vegetal da região de Mateiros encontra-se preservada, com baixa conversão da vegetação natural em uso antrópico. Em razão dessa preservação, das limitações do uso agrícola, das fragilidades do solo RQo, entre outras variáveis, foram criadas diversas unidades de conservação, o que torna a região uma área com uma grande extensão de Cerrado preservado.

Apesar da presença significativa de solos arenosos associados as grandes dunas constituindo a identidade paisagística da região de Mateiros (SUERTEGARAY, 2017), atualmente na bibliografia não se encontram estudos que mapeiam processos de arenização relacionados ao solo RQo.

---

<sup>5</sup> Secretaria do Planejamento do Estado do Tocantins, Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico.

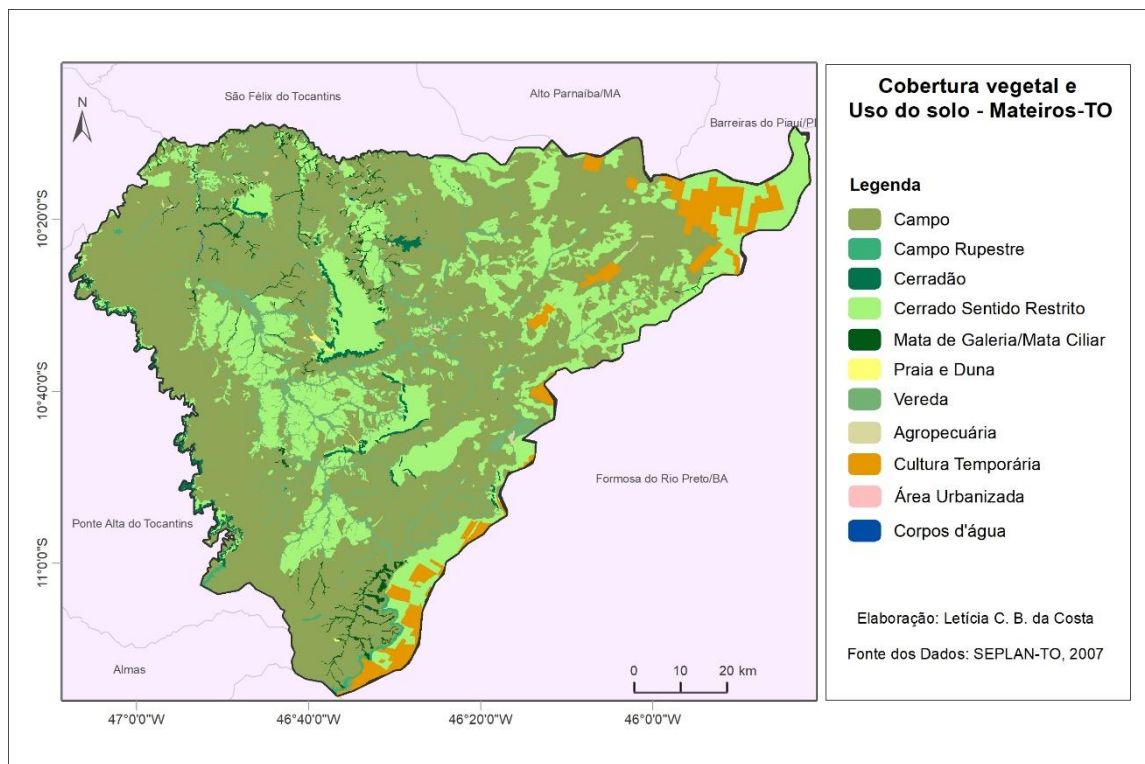


Figura 31: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Mateiros.

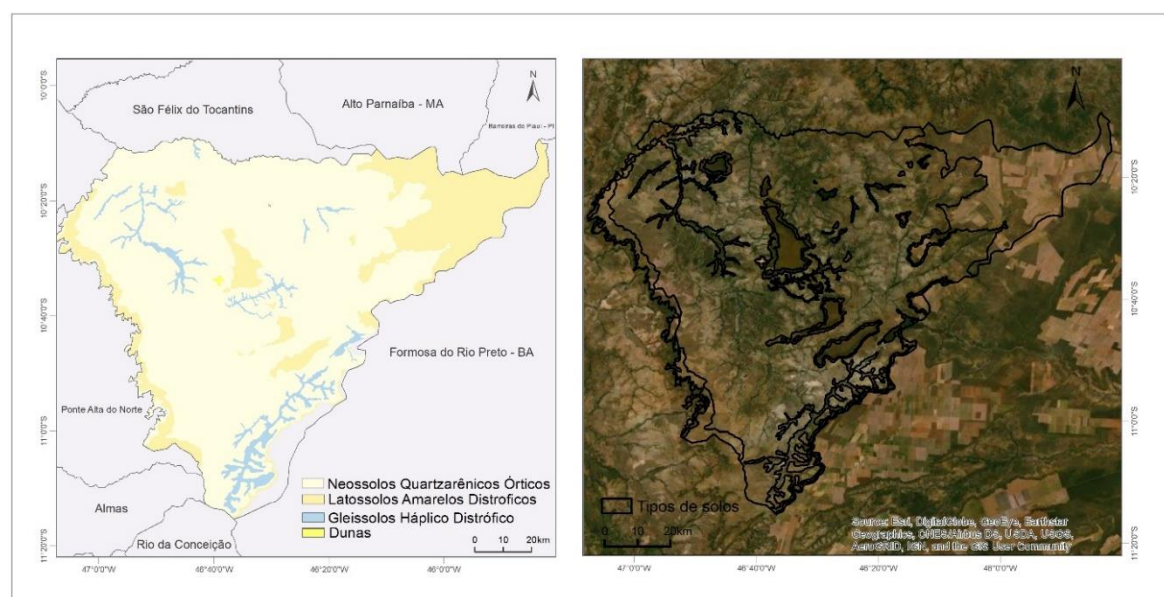


Figura 32: Mapa de solos e imagem do município de Mateiros.  
Fonte: SEPLAN, 2012; Basemap/ArcGis. Elaboração: Letícia C. B. da Costa.

### 5.1.3 Serranópolis

Serranópolis se localiza no sudoeste goiano. Como as outras duas áreas de estudo, apresenta dois períodos bem marcados pela dinâmica das chuvas,

porém com índices pluviométricos anuais mais elevados (Figura 33). Considerando-se a média anual a distribuição da chuva no Estado de Goiás situa-se predominantemente entre valores de 1400 a 1600 mm (GOIÁS, 2006).

As médias mensais da temperatura são mais baixas do que em Gilbués e Mateiros, com um período mais frio entre maio a julho. Em áreas localizadas no sudoeste goiano as temperaturas mínimas podem chegar a 12°C nos meses de junho e julho (GOIÁS, 2006).

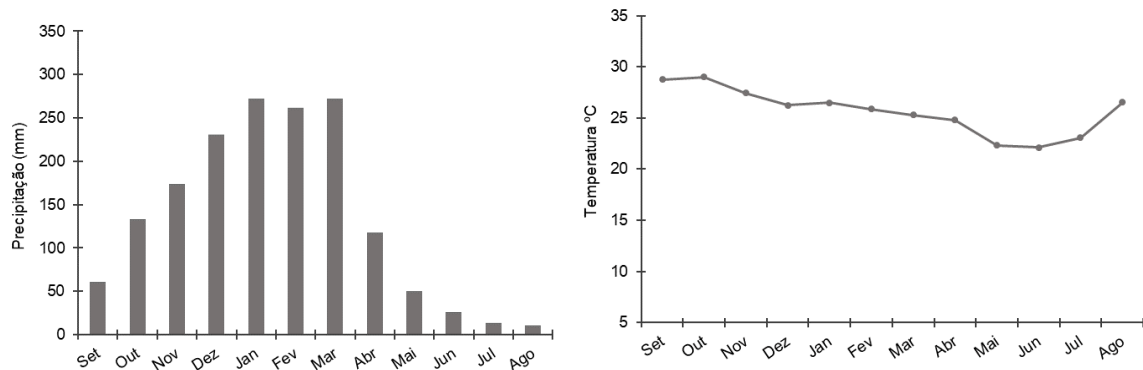


Figura 33: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Serranópolis. Fonte dos dados: ferramenta web Series view, Freitas et al.; 2011.

As médias mensais dos índices de vegetação para as amostras de reduzida biomassa e de solo exposto, apresentam um comportamento sazonal com valores mais baixos entre os meses de maio a setembro e valores mais elevados entre outubro a abril (Figura 34).

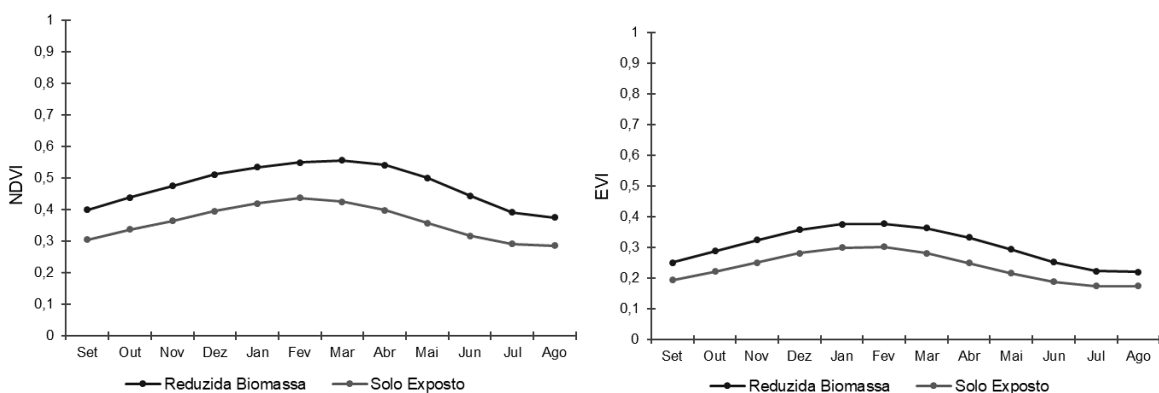


Figura 34: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Serranópolis.

Esse comportamento sazonal é evidenciado também nas imagens da

Figura 35. Os valores de NDVI na estação chuvosa concentram-se entre 0,6 e 0,8, e na estação seca diminuem para a predominância de valores entre 0,4 e 0,6, com manchas expressivas da classe 0,2 – 0,4 concentradas no noroeste e leste do município. Nas imagens de EVI da estação chuvosa os valores concentram-se entre 0,4 e 0,6 e na estação seca entre 0,2 e 0,3.

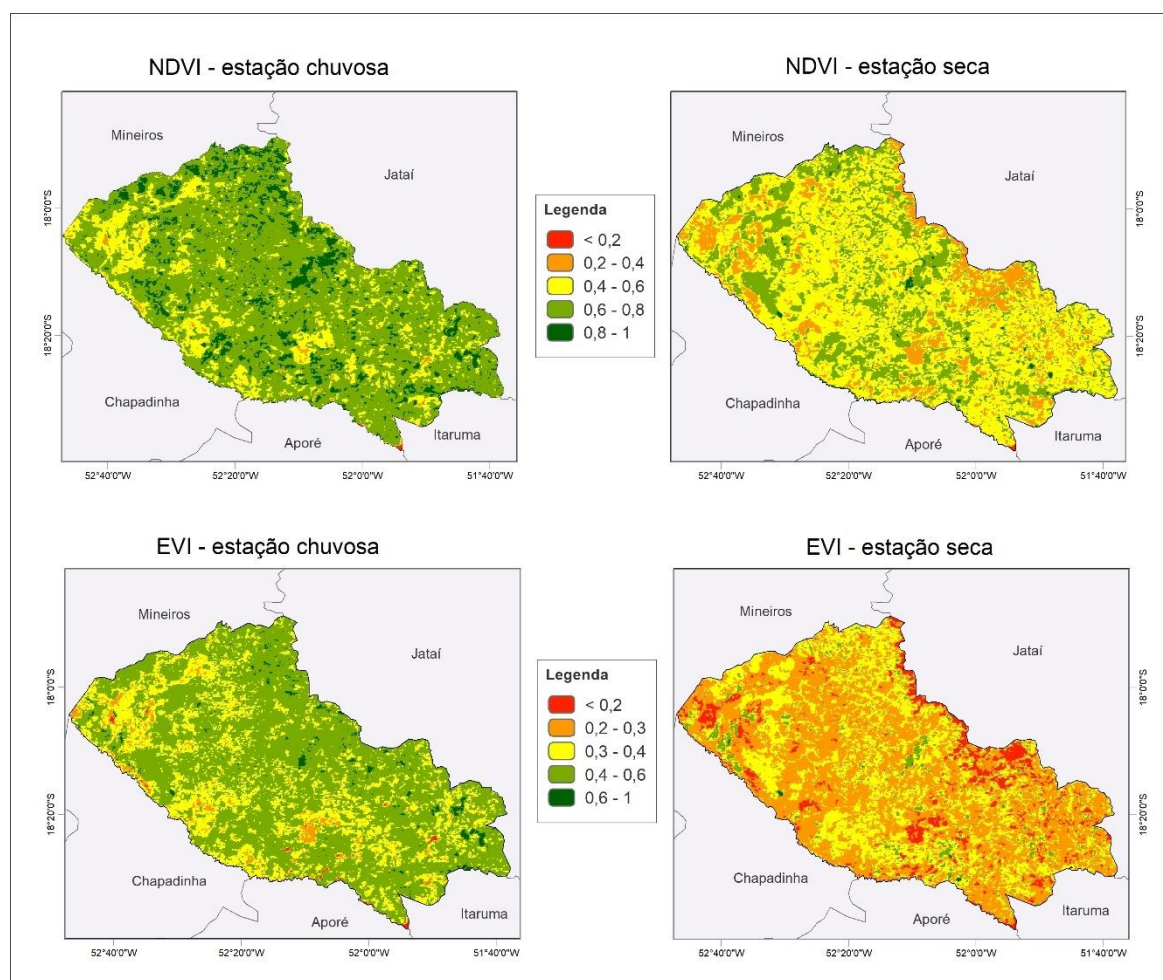


Figura 35: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação chuvosa (06/03/2015) e a estação seca (28/07/2015) – Serranópolis.

Serranópolis apresenta na sua porção nordeste, divisa com o município de Jataí, áreas destinadas a agricultura anual sobre Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo (Figuras 36 e 37). Essa classe de uso do solo também se encontra no noroeste e em pequenas manchas no sul do município, onde também se desenvolve áreas de agricultura perene (Figura 36).

A classe denominada “Natural”, segundo o mapeamento do projeto RADAMBRASIL atualizado pelo o IBGE (2012), refere-se predominantemente as

formações vegetais de Cerrado Típico e Cerrado Denso com floresta galeria (Figura 36).

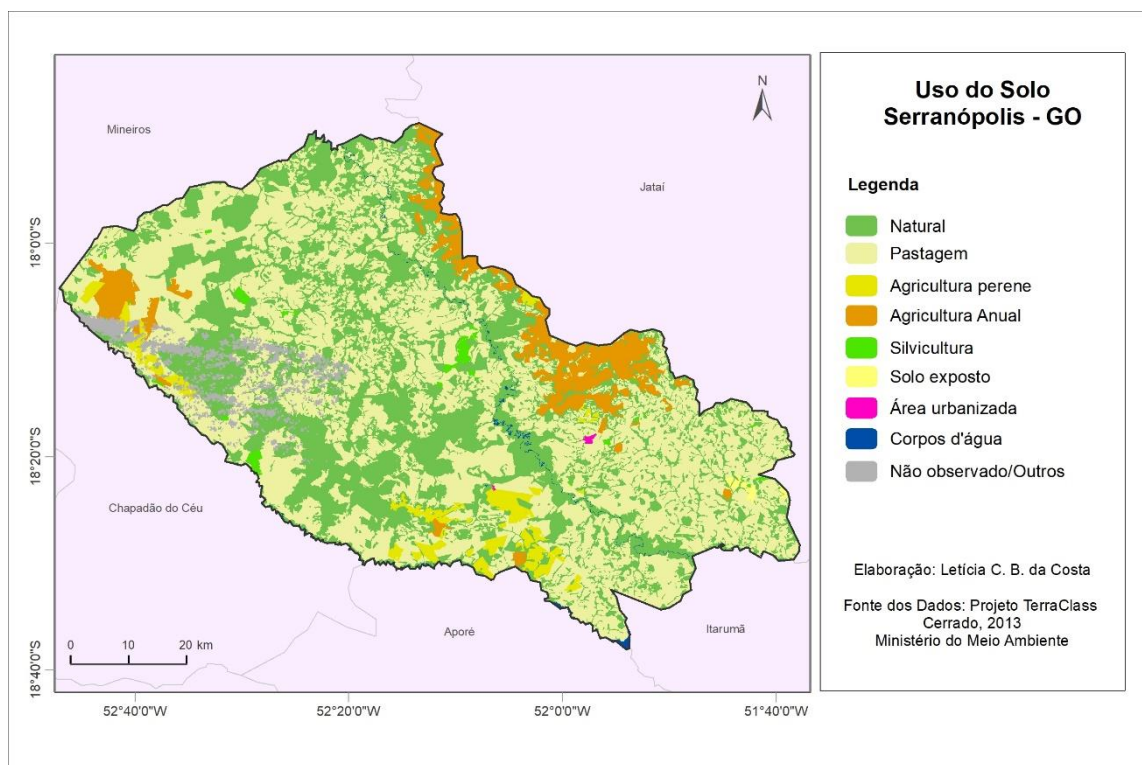


Figura 36: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Serranópolis.

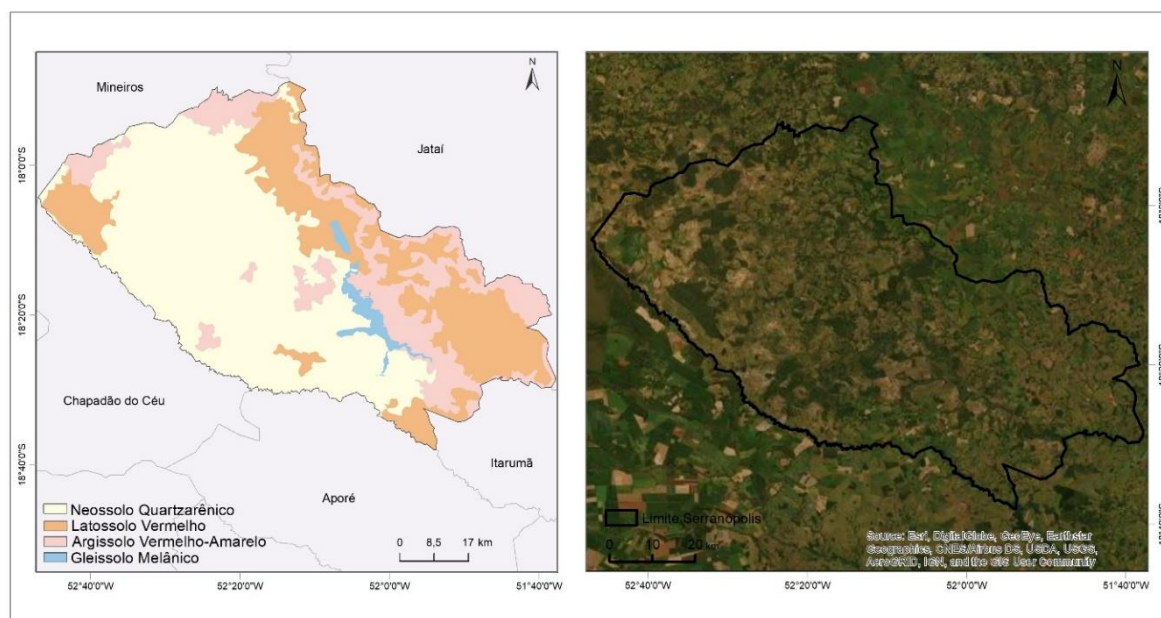


Figura 37: Mapa de solos e imagem do município de Serranópolis.  
Fonte: SIEG/GO, 2005; Basemap/ArcGis. Elaboração: Leticia C. B. da Costa.

A classe de uso do solo dominante em Serranópolis é pastagens. De



acordo com o projeto MapBiomas, em 2015 as pastagens ocupavam aproximadamente a metade da área territorial do município. Esse tipo de uso do solo associado ao solo RQo são os responsáveis pelo processo de arenização que vem ocorrendo em Serranópolis (Figura 38 e 39).

Segundo Scopel et al., (2013) Serranópolis é o município da região sudoeste de Goiás com as maiores porções de solo, parcial ou totalmente, descobertas. Existem fortes indícios de que as áreas arenizadas, na sua maior parte, são consequência do uso e manejo inadequado com pecuária. A falta de reposição de nutrientes, ou mesmo de correção do solo, associado à lotação inadequada do gado podem ter sido causas principais da degradação do solo (SCOPEL et al., 2013).

Segundo dados do MapBiomas as áreas de pastagens em Serranópolis no ano de 1985 correspondiam a 208.033 ha, e em 2005 317.794 ha apresentando 20 anos de acréscimo. A partir do ano de 2006 elas apresentaram um decréscimo e em 2017 correspondiam a 264.769 ha.

Nas áreas onde os areais ocorrem em maior densidade, o principal condicionante foi a exploração de áreas vegetadas, potencialmente favoráveis à formação de areais, com cana-de-açúcar e pastagem por um ou mais ciclos, implantadas na década de 1980 (SOUSA et al., 2012; SCOPEL et al., 2013)



Figura 38: Áreas contínuas de areais, a partir de pastagens abandonadas. Fonte: Antunes, (2006).

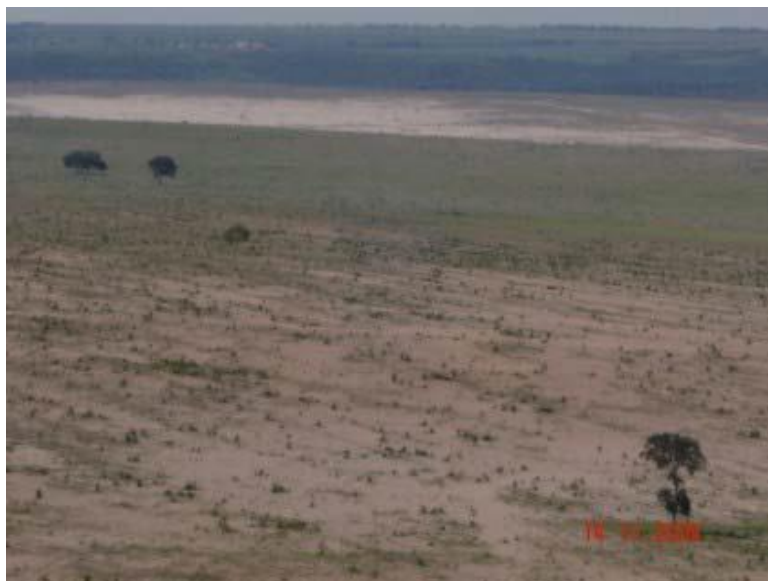


Figura 39: Paisagem no córrego Panela em Serranópolis mostrando em 1º e 2º plano, areais comuns da região. Fonte: Antunes, (2006).

#### 5.1.4 Maçambará

Maçambará se localiza no sudoeste do Rio Grande do Sul. Apresenta uma dinâmica climática diferente das outras três áreas. A precipitação não apresenta um comportamento sazonal, e caracteriza-se por chuvas distribuídas ao longo do ano, sem a presença de uma estação seca e outra chuvosa (Figura 40). A sazonalidade está presente na dinâmica da temperatura, com verões quentes e invernos frios. Em janeiro no mês mais quente a média mensal da temperatura chega a 26,5°C e em julho no inverno a média registrada é de 12,5°C (Figura 40).

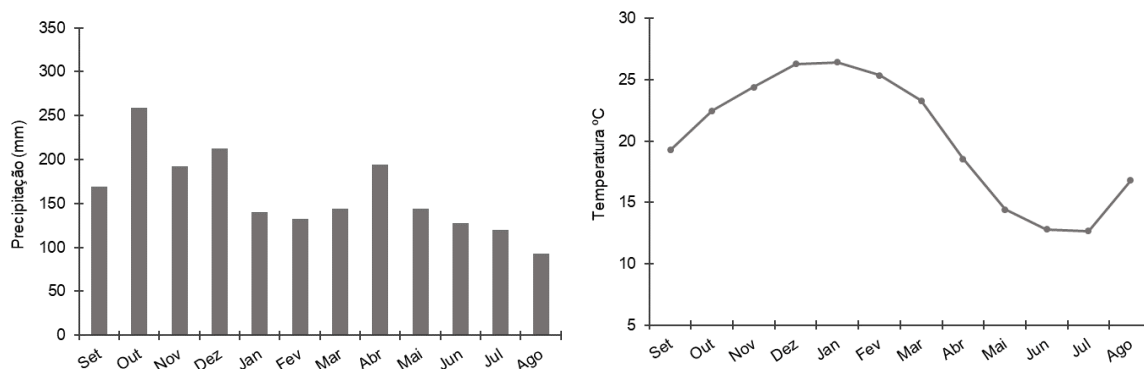


Figura 40: Média mensal da precipitação e da temperatura, período entre 2000 e 2015, Maçambará. Fonte dos dados: ferramenta web Series view, Freitas et al.; 2011.

Os índices de vegetação não apresentam um comportamento sazonal definido. As amostras de solo exposto, tanto para NDVI como EVI, não apresentam variação mensal ao longo do ano, apresentando valores baixos, em torno de 0,2 e 0,1 respectivamente. As amostras de reduzida biomassa apresentam um leve aumento nos valores dos índices nos meses de março/abril (Figura 41).

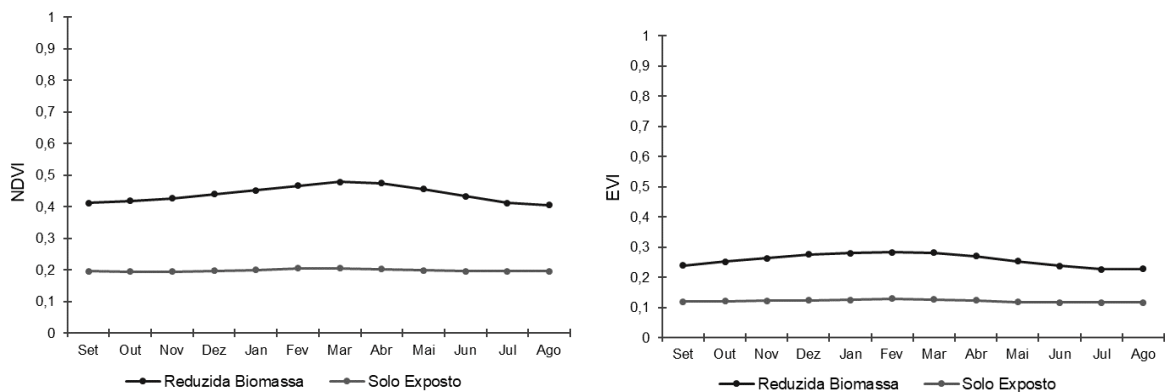


Figura 41: Gráficos da média das quatro amostras do mesmo tipo de uso do solo por índice de vegetação no período de 2000 a 2015, em Maçambará.

Ao expandir a análise para toda a área municipal de Maçambará a variação temporal dos índices de vegetação fica mais evidente. A figura 42 evidencia o comportamento do NDVI e EVI na estação mais quente do ano (entre outubro a março) e na estação mais fria (entre abril a setembro).

Na estação quente é quando se concentram as classes de maior valor dos índices, predominando entre 0,6 e 0,8 de NDVI e entre 0,4 e 0,6 de EVI. Já na estação fria os valores diminuem como evidenciado na figura 42.

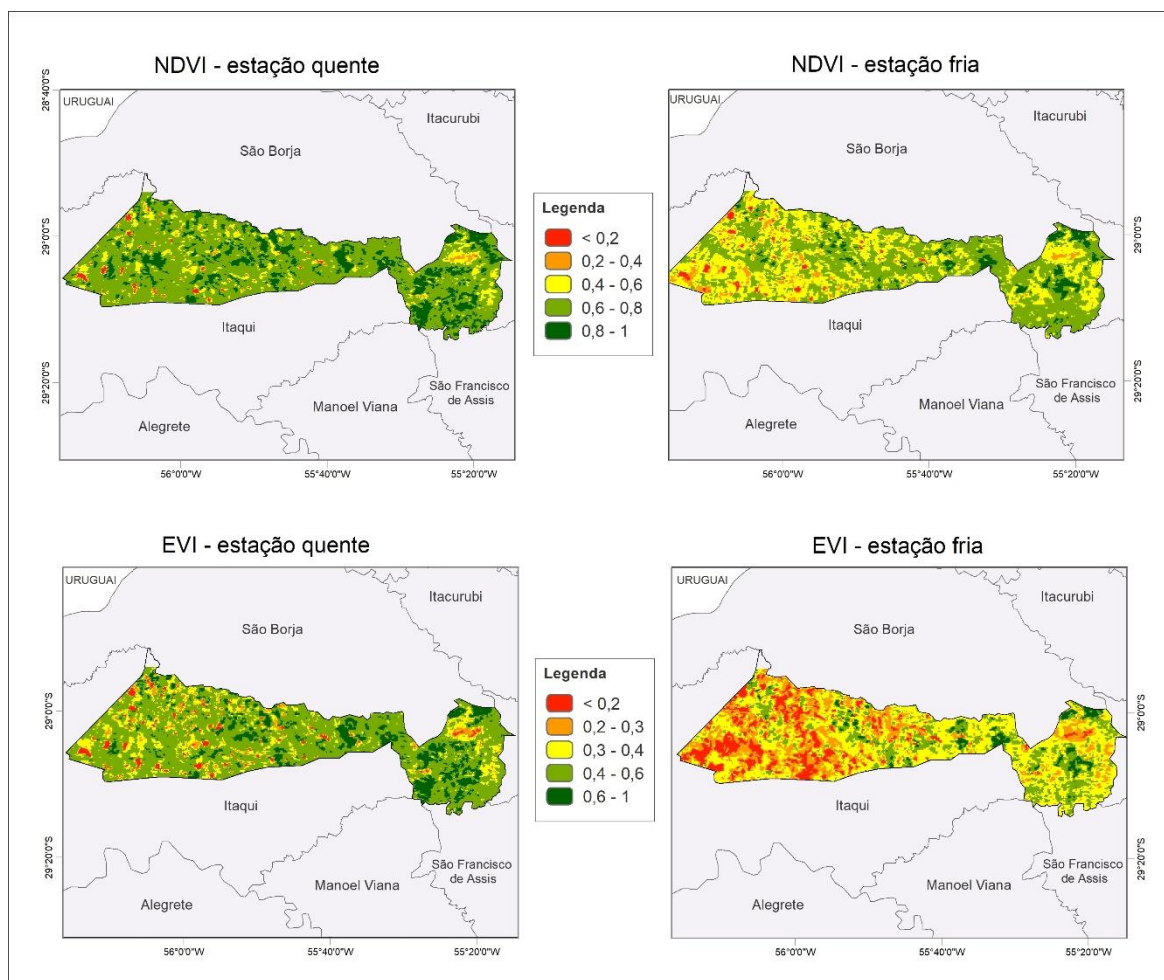


Figura 42: Imagens de NDVI e EVI correspondente a estação quente (02/02/2015) e a estação fria (28/07/2015) – Maçambará.

Esse comportamento dos índices se dá em partes pelo uso do solo presente no município (Figura 43). A maior parte de sua área compreende culturas temporárias, que tem um ciclo produtivo específico e que influencia nos índices de vegetação, pois quando está no período de colheita ou plantio os valores tendem a diminuir, e quando está no período de crescimento da planta os valores tendem a aumentar.

Os solos de maior ocorrência em Maçambará são os Plintossolo, Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho (Figura 44). O solo RQo se encontra em pequenas porções no extremo leste do município. Entretanto, esse solo pode ter maior área de ocorrência, devido as características geoambientais da área, porém não há mapeamentos em uma escala adequada que evidencie os RQo na metade sul do RS.

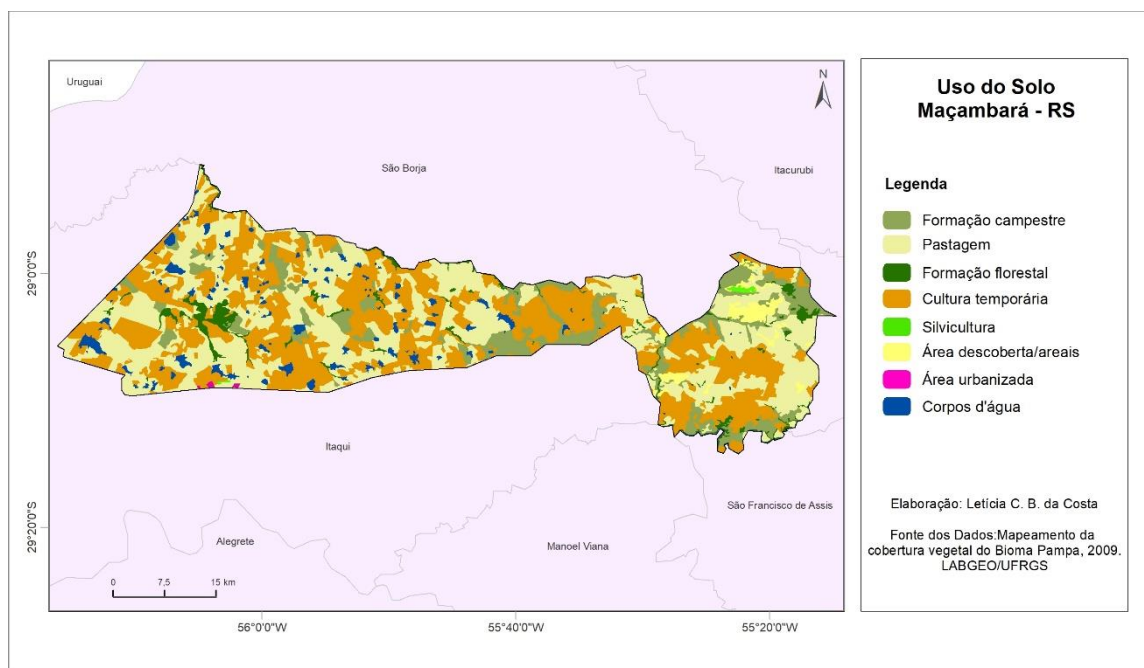


Figura 43: Mapa da cobertura vegetal e uso do solo em Maçambará.

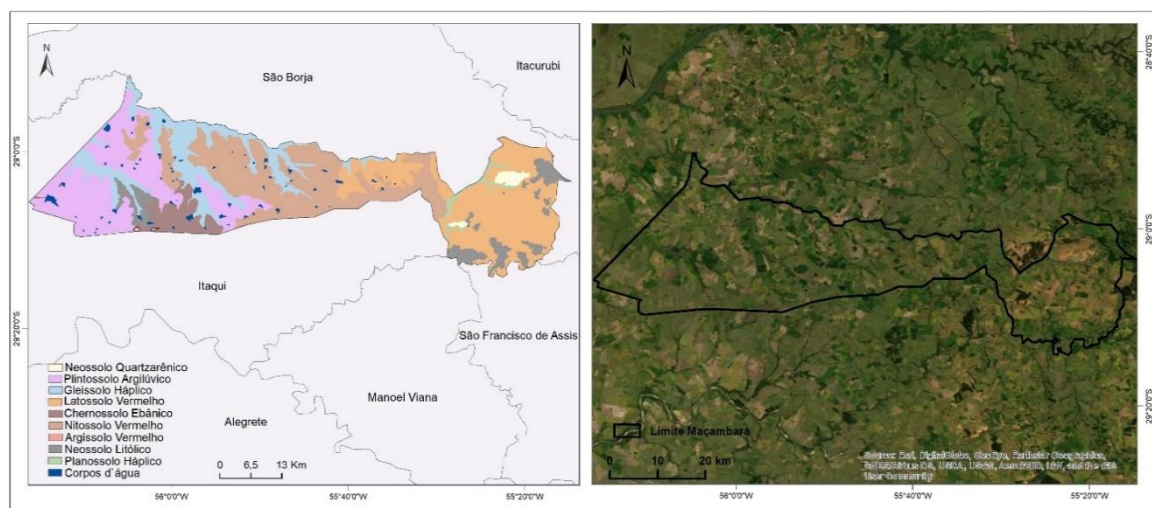


Figura 44: Mapa de solos e imagem do município de Maçambará. Fonte: IBGE, 2013; Basemap/ArcGis. Elaboração: Leticia C. B. da Costa.

É provável que o RQo esteja presente na maior parte da porção extrema leste de Maçambará, pois são nessas áreas que se concentram o maior número de areais (Figura 45). Segundo Suertegaray et al., (2001) os areais em Maçambará são bastantes expressivos em extensão, ocupando o terceiro lugar, entre dez municípios, em área com processo de arenização. As manchas arenosas se localizam prioritariamente na bacia do Arroio Puitã, que se caracteriza pela alta vulnerabilidade ao processo de arenização.

De acordo com a Figura 43 a cobertura vegetal predominante na porção

leste são pastagens e formações campestres, esse tipo de vegetação acaba por facilitar o processo de arenização relacionado com a dinâmica pluviométrica predominante no sudoeste do RS. Segundo Silva (2014), a vegetação rasteira não oferece suporte para proteger o solo contra impactos da gota da chuva que são potencializados pelo escoamento hídrico, retrabalhando os sedimentos juntamente com a ação dos ventos, propiciando a formação dos areais (Figura 46).

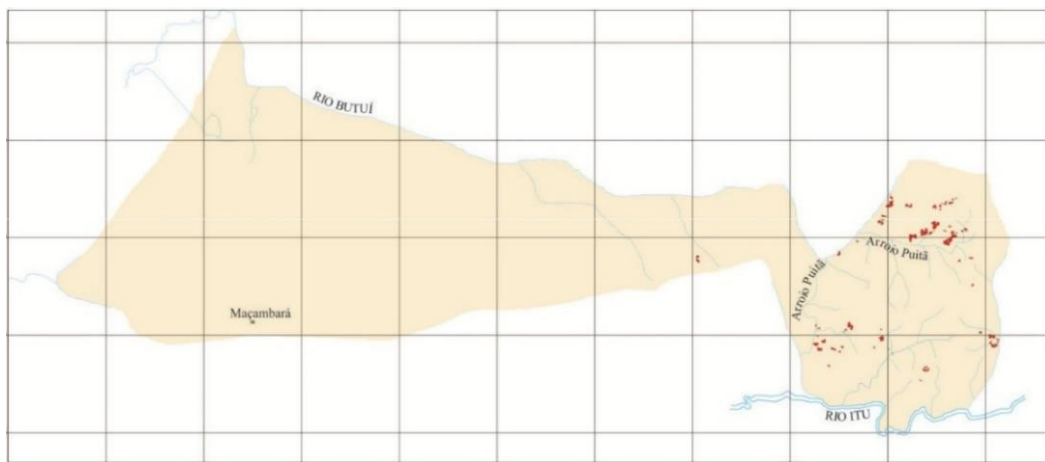


Figura 45: Espacialização dos areais (manchas em vermelho) em Maçambará. Fonte: Suertegaray et al. (2001).



Figura 46: Areal na bacia do Arroio Puitã, Maçambará. Fonte: Souza e Pires (2017).

## **5.2 Variação do NDVI e EVI de imagens MODIS em áreas de RQo a partir de espectros temporais**

Esse capítulo propõe verificar a ocorrência de um comportamento sazonal da cobertura vegetal em áreas de solos RQo. Para isso, a partir de imagens de NDVI e EVI do sensor MODIS (satélite Terra) foram gerados espectros temporais (gráficos da variação mensal dos índices ao longo da série temporal) para o período entre 2000 e 2015. Os resultados são apresentados por município.

### **5.2.1 Gilbués**

O comportamento temporal do NDVI e EVI entre 2000 e 2015, para as amostras de reduzida biomassa e de solo exposto localizados nas áreas de solos RQo no município de Gilbués, é apresentado nas Figuras 47 a 50. As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores mínimos, máximos, a média e o desvio padrão de cada espectro temporal dos índices por polígono amostral.

Os espectros temporais dos índices de vegetação, Figuras 47 a 50, mostram que não ocorrem quedas bruscas nos valores e sim um padrão temporal contínuo. Isso indica que não houve supressão significativa da vegetação nessas áreas entre 2000 e 2015, tanto para as amostras de reduzida biomassa como para as amostras de solo exposto. Observa-se que as quatro amostras de mesma cobertura vegetal apresentam um comportamento sazonal similar entre si em cada índice de vegetação.

Os valores de NDVI das amostras de reduzida biomassa variaram entre 0,3 e 0,7 com médias em torno de 0,5. Os valores de EVI variaram entre 0,16 e 0,47 com médias de 0,3 (Tabela 1). As amostras de solo exposto variaram entre 0,22 e 0,5 com médias de aproximadamente 0,35 para o NDVI e entre 0,14 e 0,34 com médias de 0,2 para o EVI (Tabela 2).

O desvio padrão das amostras de NDVI e EVI, dos dois tipos de uso do solo, apresentaram valores muito próximos a zero, indicando que não houve valores ao longo das séries temporais discrepantes das médias.

A variação temporal dos dois índices de vegetação apresenta um

comportamento sazonal em que os maiores valores de NDVI e EVI se concentram entre os meses de janeiro a maio e os menores valores entre os meses de julho a outubro. Esse comportamento se observa em todas as amostras de reduzida biomassa e solo exposto. Porém, cabe salientar que as amostras de EVI de solo exposto foram as que apresentaram menor contraste sazonal, com curvas temporais menos expressivas (Figura 50) e menor variação dos valores (Tabela 2).

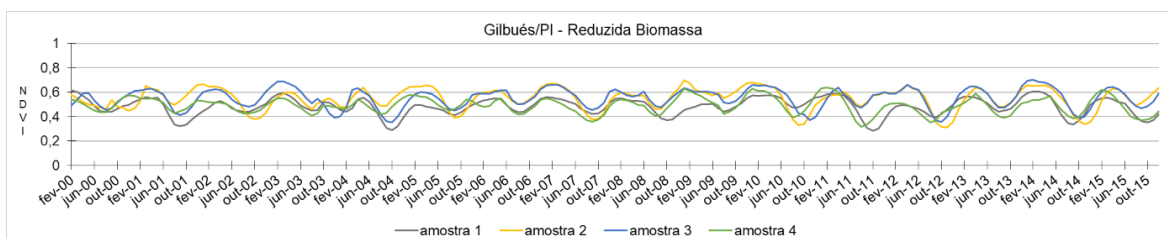


Figura 47: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Gilbués/PI.

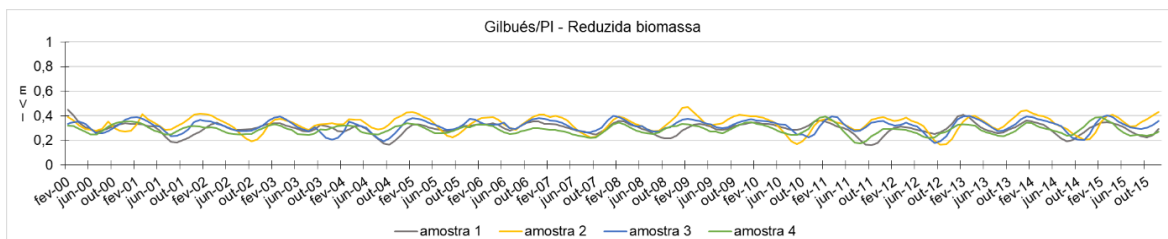


Figura 48: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Gilbués/PI.

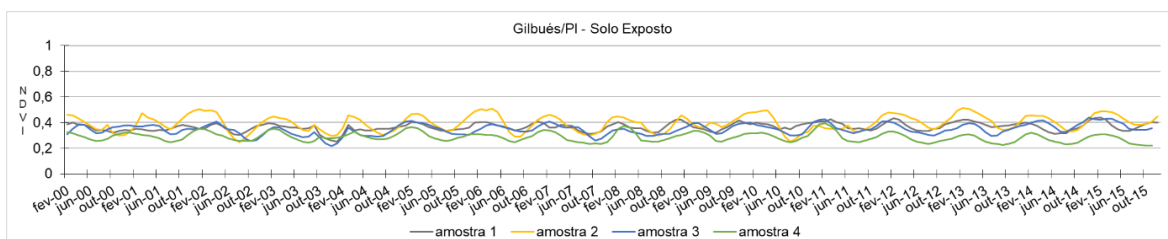


Figura 49: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Gilbués/PI.

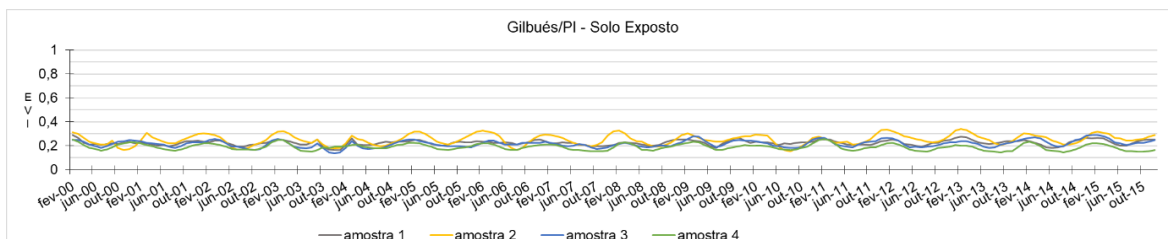


Figura 50: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Gilbués/PI.



Tabela 1: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Gilbués/PI.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,29	0,31	0,35	0,32	0,16	0,17	0,18	0,17
<b>Máximo</b>	0,62	0,70	0,70	0,64	0,45	0,47	0,40	0,39
<b>Média</b>	0,48	0,55	0,55	0,49	0,30	0,33	0,32	0,29
<b>Desv. Padrão</b>	0,071	0,09	0,08	0,07	0,048	0,06	0,04	0,04

Tabela 2: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Gilbués/PI.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,25	0,25	0,22	0,22	0,16	0,15	0,14	0,15
<b>Máximo</b>	0,44	0,51	0,44	0,40	0,29	0,34	0,29	0,26
<b>Média</b>	0,37	0,40	0,35	0,29	0,23	0,25	0,22	0,19
<b>Desv. Padrão</b>	0,032	0,06	0,04	0,04	0,021	0,04	0,03	0,03

As áreas de solos RQo no município de Gilbués, segundo mapeamento realizado por Silva (2014), apresentam predominantemente uma cobertura vegetal do tipo Cerrado Ralo. De acordo com o autor o Cerrado Ralo se constitui por gramíneas intercaladas por arbustos bastante espaçados entre si, sobre denso tapete de vegetação rasteira.

O comportamento sazonal ao longo da série temporal pode estar relacionado a fatores climáticos. De acordo com a Figura 51, a área apresenta duas estações bem marcadas ao longo do ano. Uma estação mais chuvosa com temperaturas mais amenas entre novembro a março, e uma de seca que dura aproximadamente seis meses com temperaturas um pouco mais elevadas, entre abril a outubro.

Os dois índices de vegetação conseguiram delinear o padrão sazonal da precipitação. Os maiores e menores valores dos índices coincidem com os períodos chuvosos e de estiagem respectivamente evidenciando que a vegetação tende a expandir em períodos de chuvas e retrair em períodos de seca. Essa relação direta da sazonalidade da vegetação com o padrão sazonal da precipitação em áreas de Cerrado, também foi constatado em Liesenberg *et*

al. (2007); Becerra *et al.* (2009); Bayma e Sano (2015); Souza *et al.* (2016).

Segundo Souza *et al.* (2016) o comportamento dos índices de vegetação (NDVI e EVI) em áreas de Cerrado, no período entre 2000 e 2015 foi fortemente controlado pela precipitação. Ocorreu um “aumento dos índices de vegetação devido à alta atividade fotossintética e maior biomassa, reflexo do aumento da precipitação. Decréscimo dos índices devido à redução das taxas fotossintéticas e redução da fitomassa foliar com a diminuição da precipitação pluvial.” (SOUZA *et al.*, 2016, p.510).

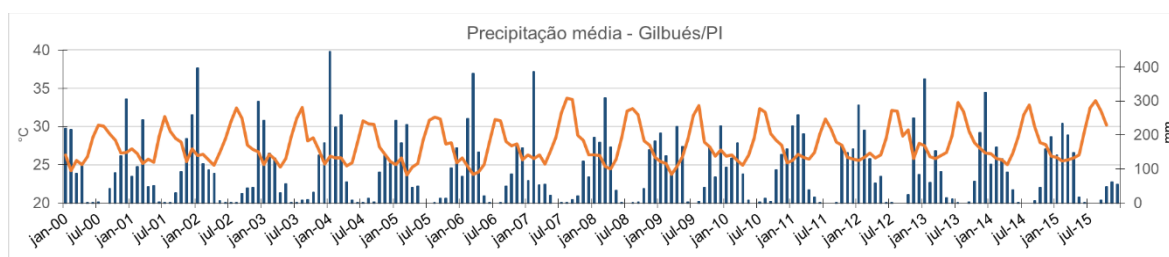


Figura 51: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Gilbués/PI.

As Figuras 52 e 53 ilustram o comportamento médio mensal no período entre 2000 e 2015 da precipitação juntamente com os índices NDVI e EVI nas amostras de reduzida biomassa e solo exposto dos RQo em Gilbués, evidenciando os dois períodos da estação seca e a estação chuvosa, que ocorrem no Cerrado brasileiro. Segundo Castro *et al.* (1994 *apud* Souza *et al.*, 2016) o período chuvoso é de outubro a abril e o período seco ocorre nos meses de maio a setembro. As Figuras 52 e 53 evidenciam que a dinâmica da vegetação é fortemente influenciada pelo regime de chuva.

As médias mensais de NDVI e EVI entre 2000 e 2015 das amostras de reduzida biomassa evidenciam que a resposta dos índices de vegetação à precipitação pluvial é mais gradual quando a precipitação diminui. O período seco inicia em abril, e os índices apresentam uma diminuição apenas em junho (Figura 52). Com o início das primeiras chuvas a vegetação responde mais rapidamente, com reflexos no crescimento mais rápido do NDVI e EVI. A queda mais lenta dos índices de vegetação ocorre devido aos reservatórios de água no solo do cerrado que ficam disponíveis para as plantas (SOUZA *et al.*, 2016).

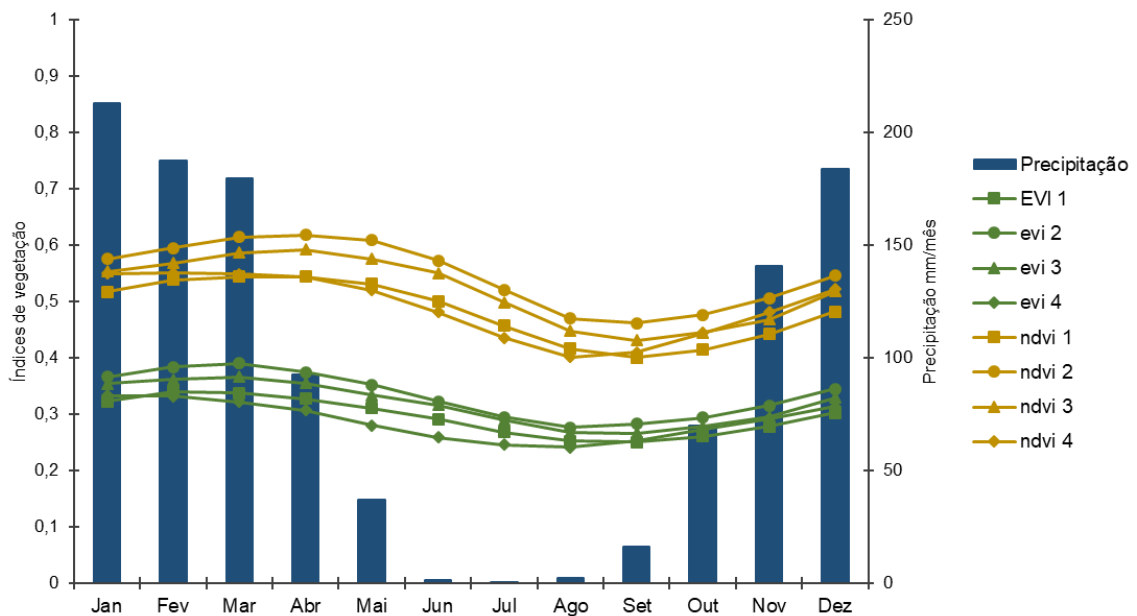


Figura 52: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Gilbués/PI no período de 2000 a 2015.

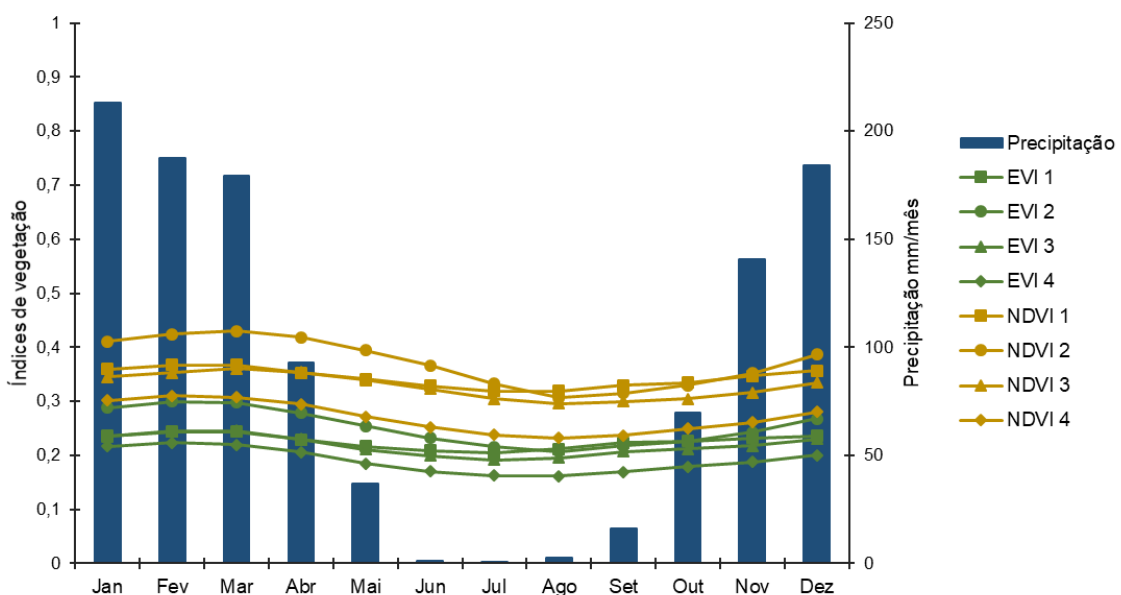


Figura 53: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Gilbués/PI no período de 2000 a 2015.

As médias mensais de NDVI e EVI entre 2000 e 2015 das amostras de solo exposto apesar de apresentarem a mesma dinâmica frente a precipitação, não apresentaram um comportamento sazonal tão expressivo e acentuado

(Figura 53). Isso se deve provavelmente as características das áreas de solo exposto, o que reflete também nos menores valores de NDVI e EVI.

Cabe destacar o comportamento temporal da amostra 4 de solo exposto (Figura 53), apesar de todas as amostras para esse tipo de cobertura apresentarem menor contraste sazonal ao longo da série, ela evidencia uma variação menor ainda, com valores mais baixos em relação as outras amostras para os dois índices (Tabela 2). Isso se deve provavelmente ao fato dessa amostra estar localizada, de acordo com o mapa de uso do solo (Figura 26b), em uma área fortemente antropizada com a ocorrência de processos de erosão/arenização mais intensos nas áreas de RQo, divisa com o domínio do solo PVe (Figura 54). Ocasionalmente assim, solos com areias expostas sem a presença de vegetação.

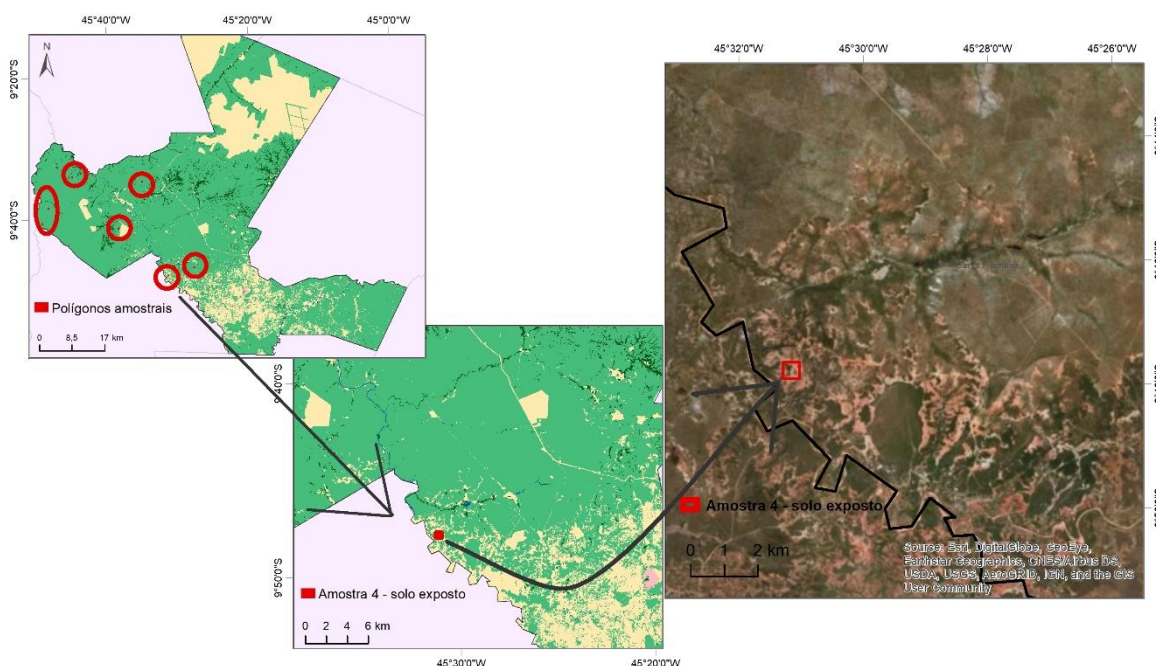


Figura 54: Localização e característica do uso do solo da amostra 4 de solo exposto, Gilbués.

De maneira geral, o comportamento sazonal das amostras de NDVI dos dois tipos de uso de solo foi similar aos obtidos para o EVI, porém, sempre com valores mais altos (Figuras 47 a 50). Isso fica evidente nas Figuras 52 e 53, que mostra o aumento para todas as médias mensais dos índices. Essa variação entre 0,2 e 0,3 nos dois índices, já foram observados por Liesenberg *et al.* (2007); Bayma e Sano (2015).

Isso pode ser explicado devido a formulação de cada índice. O NDVI é sensível à clorofila (HUETE *et al.*, 2002) e fornece informações sobre detecção de mudanças vegetais e parâmetros biofísicos do dossel. O EVI foi desenvolvido para melhorar a detecção do sinal da vegetação em regiões com maior densidade de biomassa, reduzindo problemas de saturação, e, ainda, reduzir a influência da interferência do solo e da atmosfera na resposta da vegetação (JUSTICE *et al.*, 1998; HUETE *et al.*, 2002).

### 5.2.2 Mateiros

O município de Mateiros caracteriza-se pela presença de invernos secos e verões chuvosos. As chuvas são concentradas de outubro a março (estação chuvosa), e a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (RIBEIRO e WALTER, 2008). Essa dinâmica climática influencia fortemente a sazonalidade da vegetação, Figuras 55 a 58, o NDVI e EVI de todas as amostras de reduzida biomassa e solo exposto apresentam maiores valores no período chuvoso e menores valores no período seco (Figura 59).

Os valores de NDVI das amostras de reduzida biomassa variam entre 0,2 e 0,7 com médias em torno de 0,5 a 0,6 e os valores de EVI variam entre 0,1 e 0,48 com médias de 0,3 (Tabela 3). As amostras de solo exposto variam entre 0,14 e 0,5 com médias de aproximadamente 0,3 para o NDVI e entre 0,1 e 0,35 com médias de 0,2 para o EVI (Tabela 4).

Em relação ao desvio padrão todas as amostras de NDVI e EVI dos dois tipos de uso do solo apresentam valores muito próximos a zero. Isso indica que não houve valores ao longo das séries temporais discrepantes das médias.

A vegetação predominante no município de Mateiros, de acordo com IBGE (2007) é a Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa. Segundo o Manual Técnico da Vegetação (IBGE, 2012) essas fitofissionomias correspondem ao Cerrado *stricto sensu*, Campo sujo e ao Campo limpo respectivamente. Essas duas últimas formações são as que estão presentes nas áreas de solos RQ e correspondem a cobertura das amostras.

Segundo Ribeiro e Walter (1998) o Campo Sujo é um tipo fisionômico exclusivamente herbáceo arbustivo, com arbustos e subarbustos esparsos

cujas plantas, muitas vezes, são constituídas por indivíduos menos desenvolvidos das espécies arbóreas do Cerrado Sentido Restrito, ocorre principalmente nos solos RQo. O Campo Limpo é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Pode ser encontrado em diversas posições topográficas, com diferentes variações no grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo (RIBEIRO e WALTER, 1998).

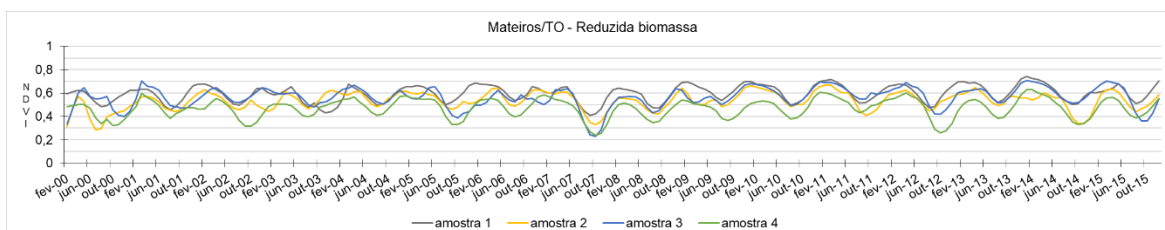


Figura 55: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Mateiros/TO.

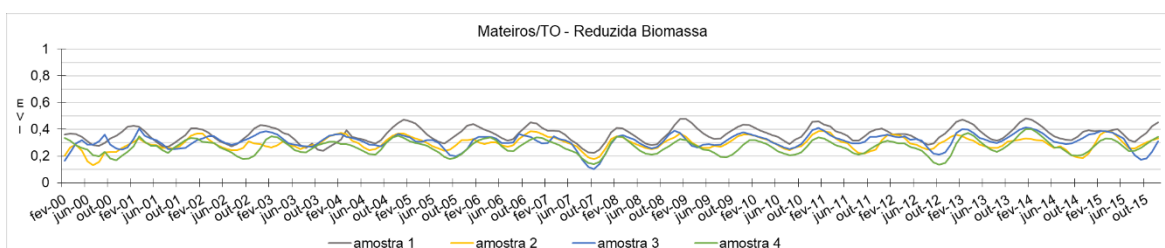


Figura 56: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Mateiros/TO.

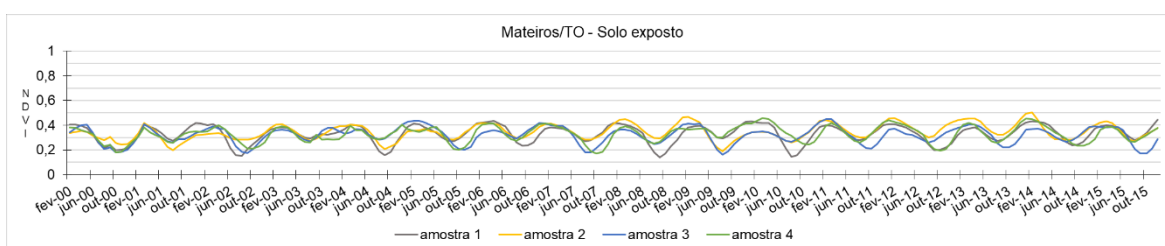


Figura 57: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Mateiros/TO.

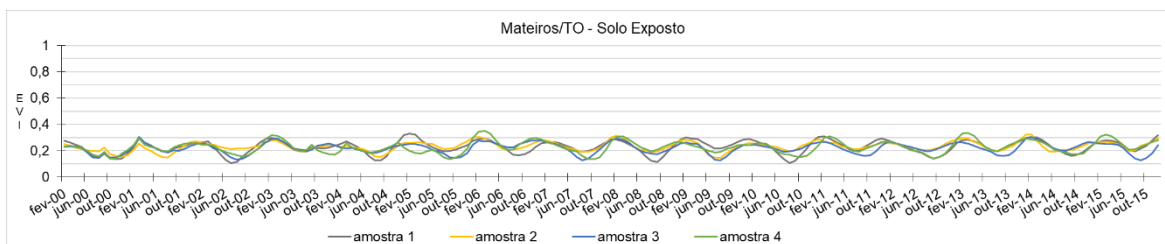


Figura 58: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Mateiros/TO.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Mateiros/TO.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,41	0,29	0,23	0,24	0,22	0,13	0,10	0,13
<b>Máximo</b>	0,74	0,67	0,71	0,63	0,48	0,39	0,42	0,40
<b>Média</b>	0,60	0,53	0,56	0,47	0,36	0,29	0,31	0,27
<b>Desv. Padrão</b>	0,072	0,08	0,09	0,08	0,057	0,05	0,05	0,05

Tabela 4: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Mateiros/TO.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,14	0,19	0,16	0,17	0,10	0,15	0,13	0,13
<b>Máximo</b>	0,45	0,50	0,45	0,46	0,33	0,32	0,30	0,35
<b>Média</b>	0,33	0,35	0,32	0,33	0,23	0,23	0,22	0,23
<b>Desv. Padrão</b>	0,073	0,06	0,07	0,07	0,050	0,04	0,04	0,05

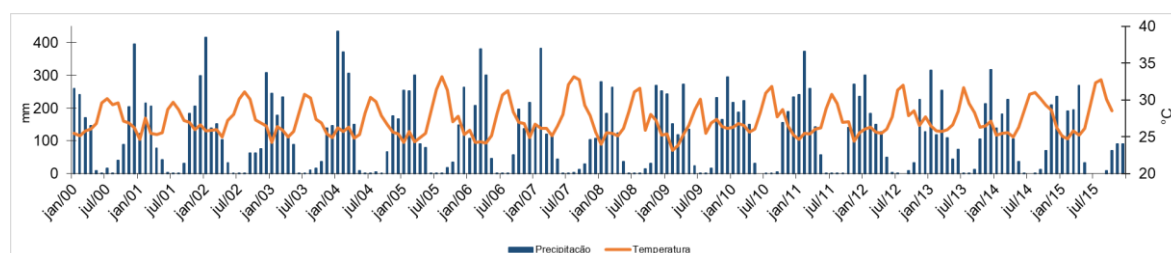


Figura 59: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Mateiros/TO.

O comportamento sazonal do NDVI e EVI nas amostras de reduzida biomassa, Figuras 55 e 56, condiz com as características da vegetação. Essas amostras representam áreas com valores médios de NDVI em torno de no máximo 0,6 (Tabela 3). A amostra 1 de reduzida biomassa apresentou ao longo da série temporal de NDVI valor mínimo de 0,41 e máximo de 0,74, indicando que encontra-se em uma área de Savana gramíneo-lenhosa com floresta de galeria (IBGE, 2007). Os valores de EVI também apresentam a mesma dinâmica (Figura 55), porém sempre com 0,2 a 0,3 a menos que o NDVI (Tabela 3) (LIESENBERG *et al.*, 2007; BAYMA e SANO, 2015).

As amostras de solo exposto evidenciaram uma sazonalidade bem expressiva para os dois índices (Figuras 57 e 58). Em comparação com as de

reduzida biomassa, apresentaram uma menor diferença entre os valores de NDVI e EVI, em torno de no máximo 0,15 de diferença (Tabela 4).

As Figuras 60 e 61 ilustram o comportamento médio mensal no período entre 2000 e 2015 da precipitação juntamente com os índices NDVI e EVI nas amostras de reduzida biomassa e solo exposto de Mateiros. Observa-se novamente a sazonalidade da vegetação em função da precipitação. Os índices apresentam oscilação nos seus valores. Durante o inverno, com a queda das precipitações e a redução da biomassa vegetal ativa, os valores de NDVI e EVI declinam, retomando seu vigor apenas com a volta do período de chuvas. Ratana *et al.* (2005) constataram em áreas de Cerrado, que os perfis sazonais dos IVs apresentaram variações de período seco e úmido bem pronunciadas com alta atividade de vegetação na estação de crescimento (novembro a abril) e decréscimo dos valores de IVs durante a fase seca (maio a setembro), respondendo à precipitação com um atraso de 1 a 2 meses de resposta.

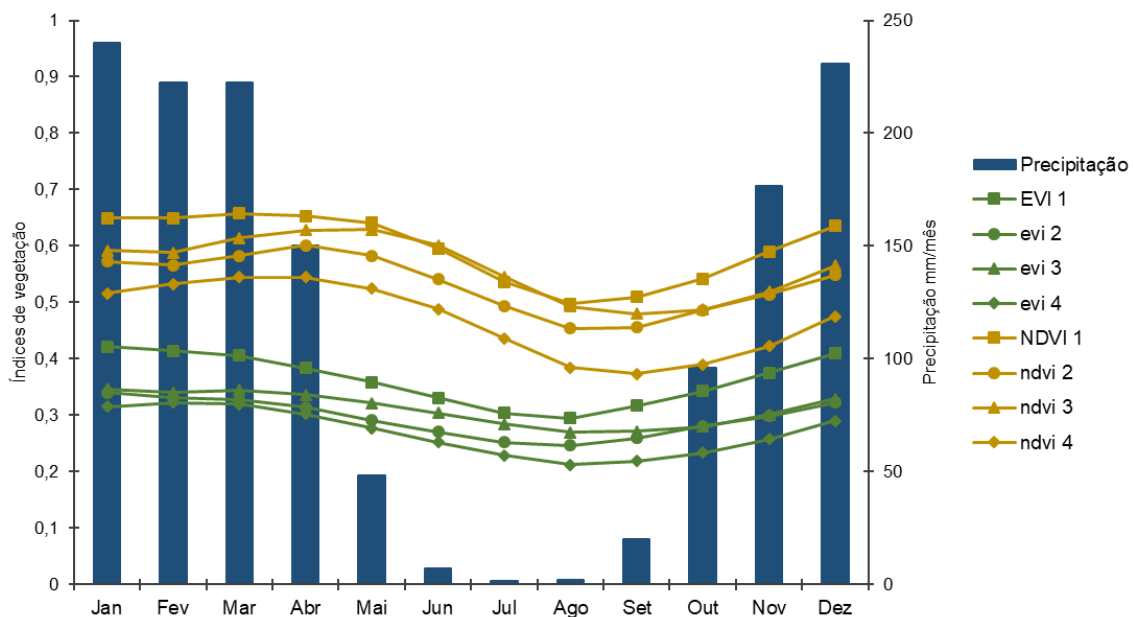


Figura 60: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Mateiros/TO no período de 2000 a 2015.



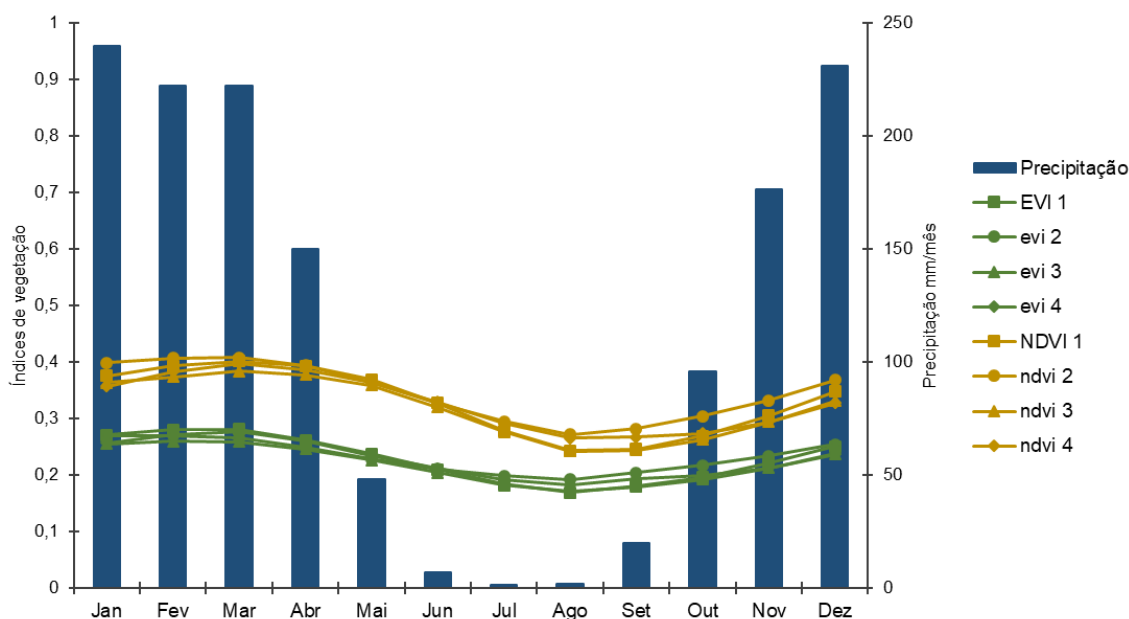


Figura 61: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Mateiros/TO no período de 2000 a 2015.

### 5.2.3 Serranópolis

A variação temporal do NDVI e EVI entre 2000 e 2015, para as amostras de reduzida biomassa e de solo exposto localizados nas áreas de solos RQo no município de Serranópolis/GO, é apresentada nas Figuras 62 a 65. As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores mínimos, máximos, a média e o desvio padrão de cada série temporal dos índices por polígono amostral.

Os valores de NDVI das amostras de reduzida biomassa variaram entre 0,24 e 0,73 com médias em torno de 0,4 a 0,5 e, os valores de EVI variaram entre 0,15 e 0,53 com médias de 0,3 (Tabela 5).

As amostras de NDVI de solo exposto apresentaram valores mínimos entre 0,2 a 0,27 e valores máximos que variaram entre 0,38 a 0,68 com médias em torno de 0,28 a 0,43. As amostras de EVI variaram entre 0,13 a 0,49 com médias de aproximadamente 0,2 (Tabela 6).

Em Serranópolis, assim como nas outras duas áreas localizadas no Cerrado brasileiro, a precipitação apresenta um padrão sazonal, com maiores valores entre outubro a abril e os menores valores entre maio a setembro (Figura 66). Goiás é caracterizado por um período chuvoso e outro seco, no

período chuvoso ocorrem 95% do total de precipitação pluvial com destaque para os meses de dezembro e janeiro, que mostram que na maior parte do estado chove em torno de 250 a 300 mm (GOIÁS, 2006).

As áreas de solos RQo do município de Serranópolis situam-se em áreas de Cerrado. Porém, grande parte da vegetação natural foi convertida em áreas de pastagens e de plantio de culturas. Essas práticas desenvolvidas sobre os frágeis solos RQo foram as responsáveis pelo processo de arenização e o surgimentos dos areais.

Uma parte considerável da vegetação natural foi mantida até o final da década de 1980, quando era baixo o nível técnico dos proprietários de terras. O melhoramento técnico, induzido pelo Estado, viabilizou a produção agrícola no Cerrado. Culturas como a soja passaram a ser produzidas nas áreas de chapadão e a pecuária intensificou-se nas áreas de solos RQo (SCOPEL *et al.*, 2012; SOUSA *et al.*, 2012; SCOPEL *et al.*, 2013).

Tabela 5: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,24	0,34	0,34	0,24	0,15	0,20	0,18	0,16
<b>Máximo</b>	0,70	0,73	0,68	0,62	0,48	0,53	0,47	0,40
<b>Média</b>	0,48	0,56	0,53	0,45	0,32	0,34	0,32	0,27
<b>Desv. Padrão</b>	0,116	0,09	0,07	0,09	0,090	0,07	0,06	0,06

Tabela 6: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Serranópolis/GO.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,27	0,26	0,21	0,20	0,16	0,16	0,13	0,13
<b>Máximo</b>	0,68	0,58	0,60	0,38	0,49	0,40	0,39	0,27
<b>Média</b>	0,43	0,41	0,33	0,28	0,28	0,26	0,22	0,19
<b>Desv. Padrão</b>	0,097	0,07	0,07	0,04	0,081	0,06	0,05	0,03

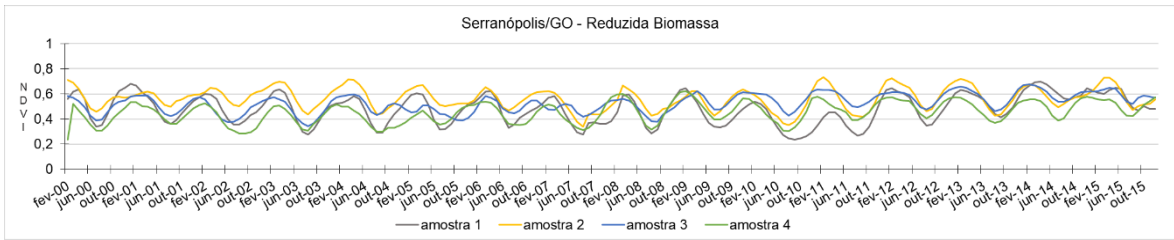


Figura 62: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.

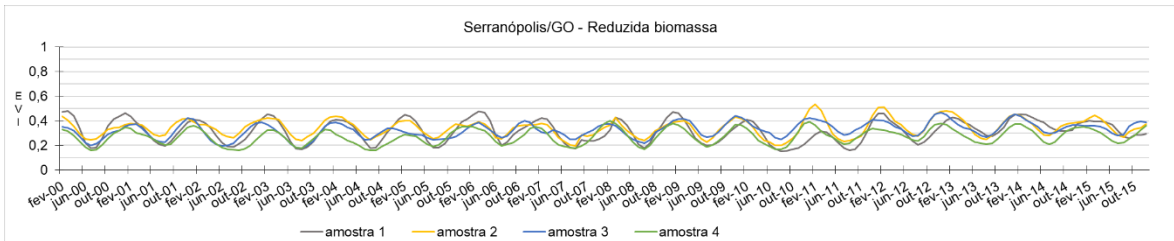


Figura 63: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Serranópolis/GO.

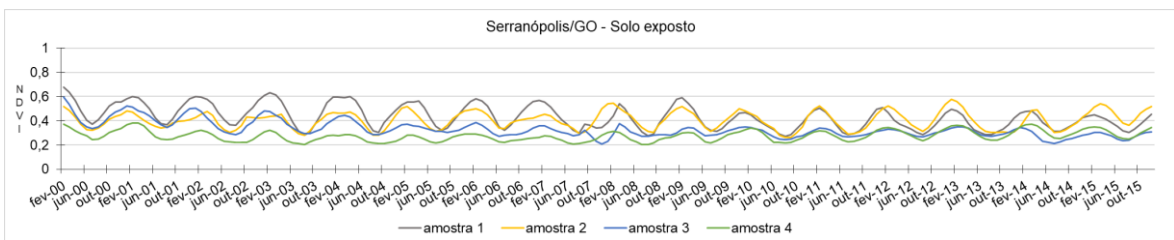


Figura 64: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Serranópolis/GO.

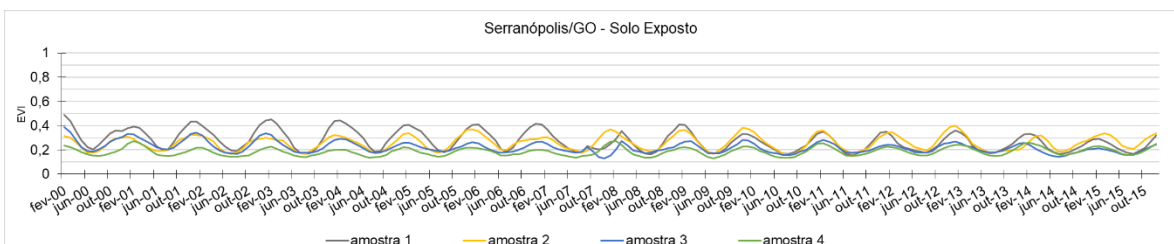


Figura 65: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Serranópolis/GO.

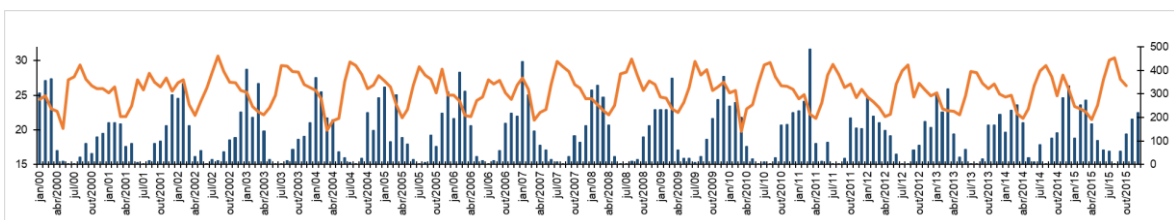


Figura 66: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Serranópolis/GO.

As amostras de reduzida biomassa e de solo exposto selecionadas para analisar a variação temporal do NDVI e EVI localizam-se em áreas de

pastagens, com exceção da amostra 3 de reduzida biomassa que se encontra em vegetação natural. As Figuras 62 a 65 evidenciam o comportamento temporal típico de áreas de pastagem, que apresentam um contraste sazonal entre o período seco e chuvoso (RATANA *et al.*, 2005). Os valores das Figuras 62 a 65 e da tabela 5, condizem com o estudo realizado no Sudoeste de Goiás. Machado (2016) constatou que as pastagens apresentaram valores de NDVI entre 0,35 e 0,60 variando de acordo com sua densidade e estágio vegetativo e nas áreas de Cerrado foram encontrados valores entre 0,5 e 0,8 dependendo da densidade do estrato da vegetação.

Em relação as amostras de solo exposto (Figuras 64 e 65), a variação temporal dos índices apresentaram-se de formas distintas entre as amostras. Tanto para o NDVI como para o EVI as amostras 1 e 2 demonstraram um contraste sazonal mais marcado, principalmente para o NDVI. Porém, esse contraste não é contínuo ao longo da série temporal. A amostra 1 em meados de 2009 apresenta uma diferença sazonal que se comporta de forma menos intensa, com uma tendência de diminuição nos valores dos índices (Figura 67).

Como exposto anteriormente, o município de Serranópolis apresenta extensas áreas de pastagem cultivadas destinadas para o manejo com o gado. Segundo Scopel *et al.* (2013), as áreas de solos RQo em Serranópolis originalmente eram ocupadas por vegetação arbustiva e/ou arbórea de Cerrado. Após o desmatamento, implantou-se pastagem de braquiária, sem qualquer adubação, com lotação de gado bovino, ao redor de 0,2 cabeças/ha. Mesmo com esta baixa lotação, com seis a sete anos de uso, a pastagem ficou reduzida a algumas poucas espécies rasteiras ou arbustivas esparsas e não consumidas pelo gado. A braquiária, com o uso, torna-se muito rara e aparecem manchas de solo descoberto e com sua coalescência, determinam manchas arenizadas maiores (SCOPEL *et al.*, 2013, p. 38). Esse processo pode explicar a baixa confiabilidade da linha de tendência (Figura 67) que resultou em um R-quadrado distante de 1.

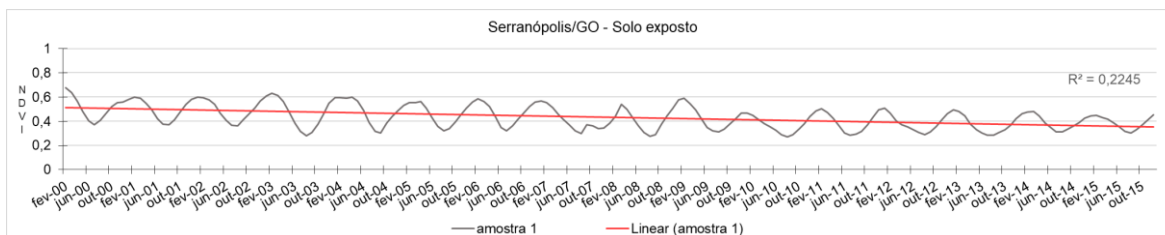


Figura 67: Linha de tendência linear da variação temporal do NDVI do período 2000 a 2015 -amostra 1 de solo exposto, Serranópolis/GO.

De acordo com a Biblioteca de Padrões da ferramenta SATVeg (2015), as pastagens cultivadas sofrem com o estresse hídrico nos períodos mais secos e, portanto, apresentam uma variação sazonal significativa dos índices de vegetação ao longo do ano. Por acumular uma biomassa vegetal bastante variável nos períodos chuvosos, dependendo da espécie cultivada, do estado de conservação e degradação, do volume e distribuição das chuvas e, sobretudo, da presença e intensidade da atividade pastoril, as pastagens cultivadas apresentam uma variação muito grande no seu comportamento espectro-temporal. Apesar disso, uma curva de pastagem, seja qual for a condição em que se encontra, deverá apresentar valores de índice de vegetação mais baixos no período de seca e valores relativamente mais altos nos períodos chuvosos, com transições gradativas (Figuras 68 e 69).

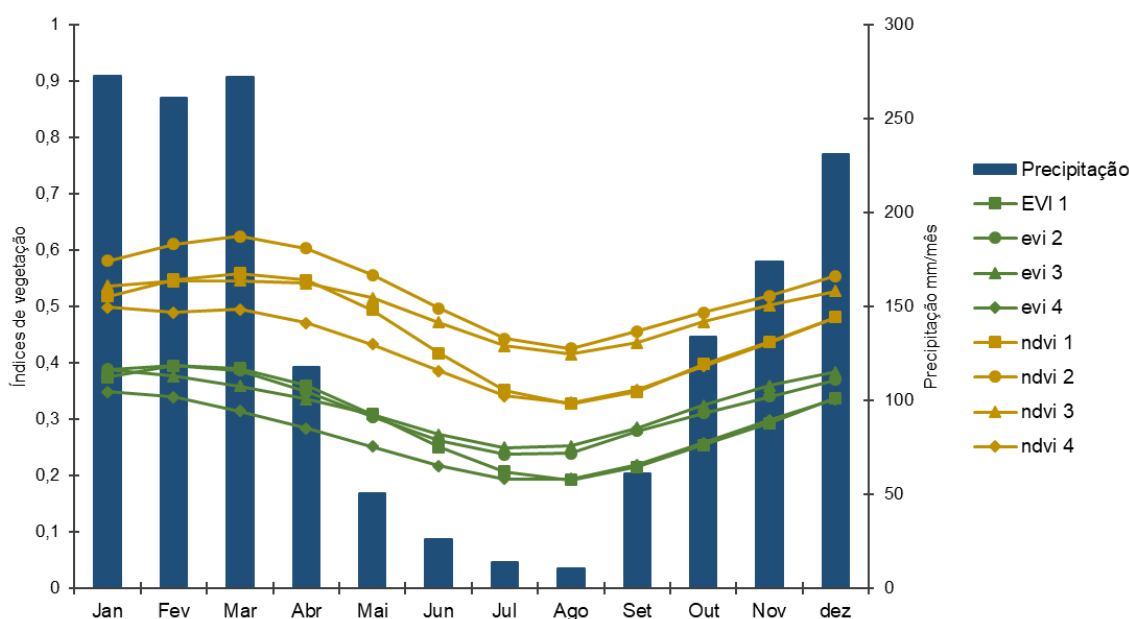


Figura 68: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Serranópolis/GO no período de 2000 a 2015.

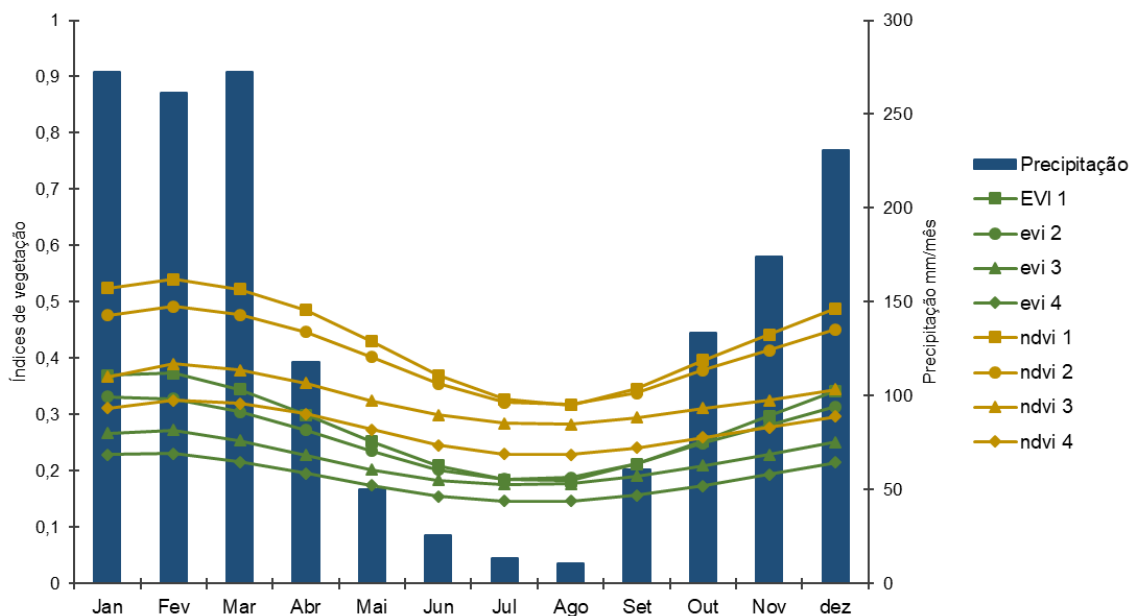


Figura 69: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de solo exposto em Serranópolis/GO no período de 2000 a 2015.

#### 5.2.4 Maçambará

O município de Maçambará /RS, situa-se no bioma Pampa. Esse bioma caracteriza-se por ser um mosaico de vegetação campestre e arbustiva – campos limpos e campos sujos (OVERBECK *et al.*, 2009). Na porção leste do município, onde ocorre os solos RQo associados à arenização, predominam os campos (SOUZA, 2015).

Os valores de NDVI das amostras de reduzida biomassa variaram entre 0,25 e 0,66 com médias em torno de 0,4 a 0,5 e, os valores de EVI variaram entre 0,12 e 0,43 com médias de 0,2 e 0,3 (Tabela 7).

As amostras de NDVI de solo exposto apresentaram valores mínimos entre 0,11 e 0,20 e valores máximos que variaram entre 0,24 e 0,29 com médias em torno de 0,2. As amostras de EVI variaram entre 0,05 e 0,19 com médias de aproximadamente 0,14 (Tabela 8).

A variação temporal do NDVI e EVI para os polígonos amostrais de reduzida biomassa apresentam certa sazonalidade (Figuras 70 e 73).

Ao observar-se a Figura 74 percebe-se que a temperatura apresenta uma sazonalidade bem marcada, com valores mais elevados nos meses de verão e

valores mais baixos nos meses de inverno, coincidindo com o comportamento do NDVI e EVI. Já as médias mensais da precipitação não apresentam uma sazonalidade definida como nas outras três áreas de estudo. Os valores dos índices de vegetação aparentemente estão mais relacionados à variação temporal da temperatura (Junges et al., (2015).

De acordo com Cordeiro et al., (2017) o perfil anual médio do NDVI dos campos apresenta um pico mínimo no inverno, quando a vegetação está em senescência, o que se reflete na redução de NDVI. Na primavera o NDVI aumenta, quando a vegetação campestre se encontra em brotação. No verão, o NDVI continua aumentando, devido ao crescimento da vegetação e como resposta ao aumento da temperatura. Moreira et al., (2019) em uma análise da vegetação na área dos Campos com Areais no RS, também constatou que no verão o NDVI e o EVI apresentaram os maiores valores, enquanto no inverno apresentou os menores. Isso mostra que a variação sazonal na fenologia da vegetação dessas áreas é fortemente influenciada pela temperatura do ar.

Apesar de não haver uma estação seca e outra chuvosa como nas outras três áreas de estudo, a precipitação em Maçambará aliada à temperatura apresenta importante contribuição para a sazonalidade da vegetação, com elevadas médias mensais e curtos períodos com concentração de chuvas (VERDUM, 1997; SOARES e VERDUM, 2011; SANCHES, 2013). A Figura 75 ilustra o comportamento médio mensal no período entre 2000 e 2015 da precipitação juntamente com os índices NDVI e EVI nas amostras de reduzida biomassa de Maçambará. Percebe-se um aumento das chuvas nos meses de setembro a de dezembro.

Soares e Verdum (2011) consideram fundamental essa dinâmica do regime pluvial na região, pois permite a manutenção da vegetação herbácea. A vegetação tende a expandir em períodos de chuvas mais intensas e retrain em períodos de chuvas menos intensas.

Tabela 7: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de reduzida biomassa, Maçambará/RS.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,29	0,36	0,25	0,28	0,17	0,20	0,12	0,15

<b>Máximo</b>	0,59	0,63	0,47	0,66	0,35	0,41	0,27	0,43
<b>Média</b>	0,45	0,48	0,39	0,44	0,27	0,30	0,22	0,26
<b>Desv. Padrão</b>	0,057	0,049	0,038	0,106	0,038	0,05	0,02	0,08

Tabela 8: Parâmetros estatísticos da série temporal de NDVI e EVI para cada amostra de solo exposto, Maçambará/RS.

	NDVI				EVI			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
<b>Mínimo</b>	0,20	0,13	0,11	0,14	0,12	0,06	0,05	0,07
<b>Máximo</b>	0,26	0,29	0,24	0,29	0,18	0,19	0,15	0,17
<b>Média</b>	0,22	0,22	0,19	0,21	0,14	0,14	0,12	0,12
<b>Desv. Padrão</b>	0,013	0,023	0,015	0,023	0,012	0,02	0,01	0,02

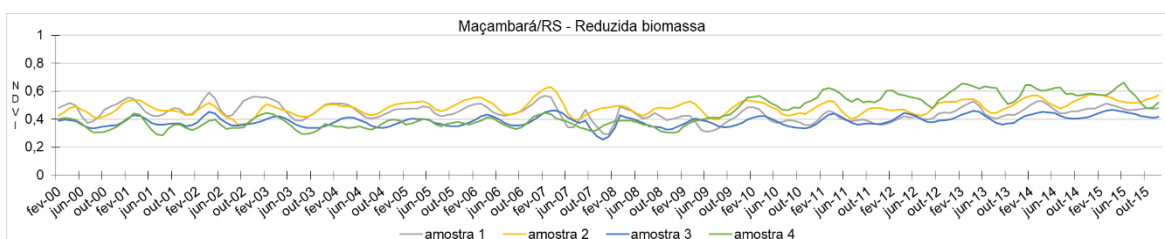


Figura 70: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Maçambará/RS.

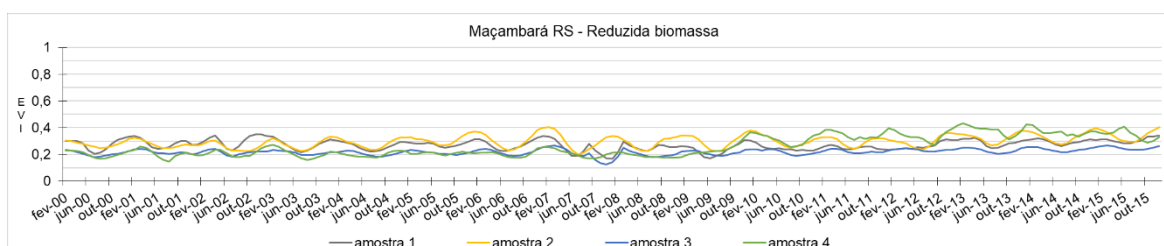


Figura 71: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de reduzida biomassa, Maçambará/RS.

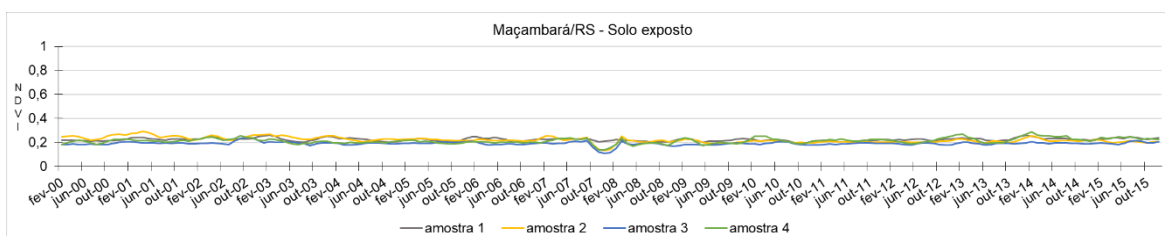


Figura 72: Espectro temporal da variação do NDVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Maçambará/RS.



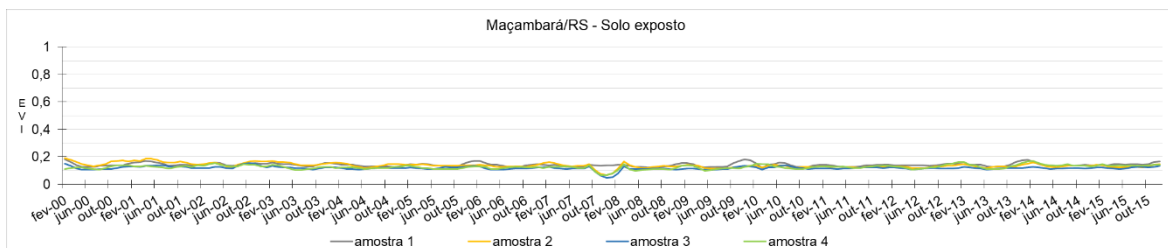


Figura 73: Espectro temporal da variação do EVI do período 2000 a 2015 – amostras de solo exposto, Maçambará/RS.

As áreas de solo RQo em Maçambará se encontram numa zona de clima predominante Subtropical III, conforme a classificação de Rossato (2011). Este tipo de clima caracteriza-se por ser úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. O volume de chuvas oscila entre 1700-1800 mm anuais distribuídos em 100-120 dias, chovendo em média de 9 a 12 dias por mês. A temperatura média anual varia entre 17-20°C com temperaturas do mês mais frio em torno de 11-14°C e no mês mais quente entre 23-26°C. Segundo Sanches *et al.* (2014) eventos de precipitação extrema tem se intensificado nos períodos de primavera, outono e inverno hidrológicos.

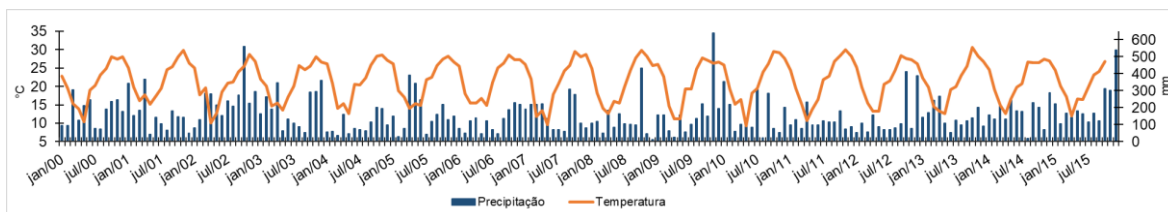


Figura 74: Variação temporal da precipitação e temperatura, entre 2000 e 2015 – Maçambará/RS.

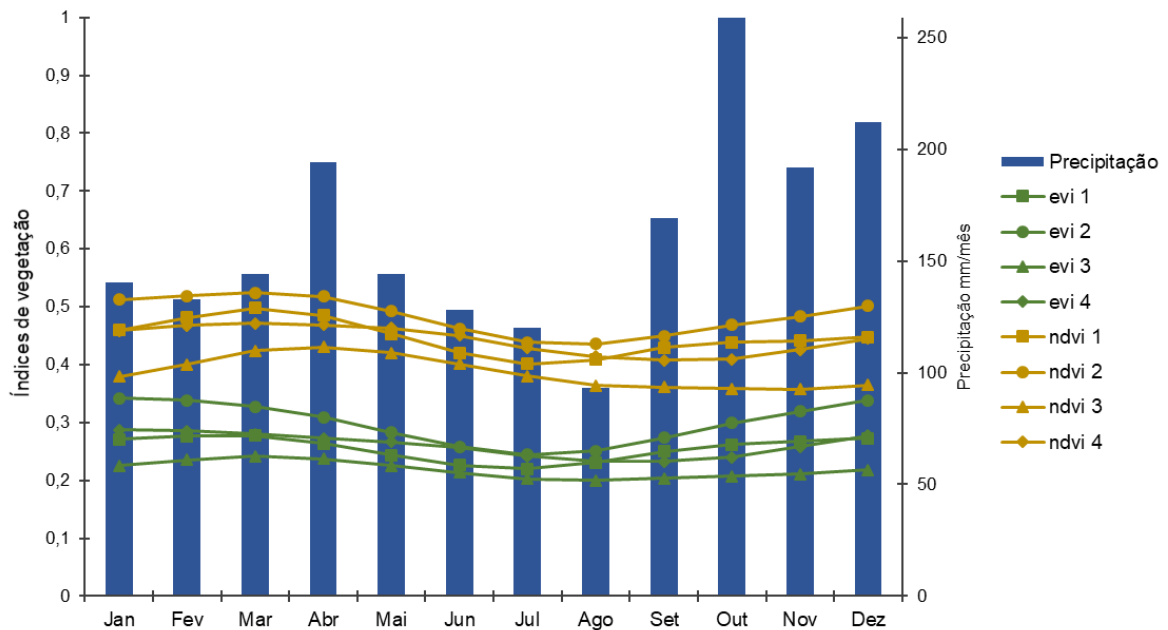


Figura 75: Média climatológica do padrão sazonal da precipitação pluvial e dos índices de vegetação NDVI e EVI nas áreas das amostras de reduzida biomassa em Maçambará no período de 2000 a 2015.

Cabe destacar o comportamento temporal da amostra 4 de reduzida biomassa, em que principalmente o NDVI apresentou um aumento nos valores a partir do final do ano de 2009 (Figura 70). O EVI apresentou o mesmo comportamento, porém de forma menos acentuada (Figura 71).

A Figura 76 evidencia a tendência de aumento dos valores do NDVI da amostra 4 de reduzida biomassa. Isso se deve provavelmente ao fato de que nesta área foi implantada a silvicultura. Esse cultivo foi introduzido na região a partir da década de 2000, decorrente de políticas públicas com investimento de empresas multinacionais de celulose, implantaram o monocultivo arbóreo principalmente de *Eucalipto sp.* (SIRANGELO, 2011; CANEPPELE, 2017; SOUZA, 2015).

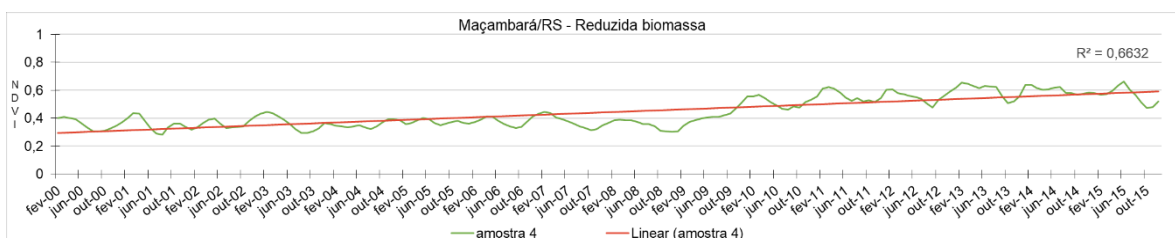


Figura 76: Linha de tendência linear da variação temporal do NDVI do período 2000 a 2015 - amostra 4 de reduzida biomassa Maçambará/RS.

A variação temporal de NDVI e EVI em áreas de solo exposto não apresentou um padrão sazonal definido (Figuras 72 e 73). Ocorrem valores bem baixos ao longo da série temporal, correspondendo principalmente a solos descobertos, com ausência de vegetação. Esses valores estão relacionados principalmente a característica dos solos RQo, de textura arenosa e cerca de 90% de areia em sua composição, altamente friáveis e baixo teor de nutrientes (SCOPEL *et al.*, 2012). Souza e Pires (2015) destacam que essas áreas também compreendem solos em que há presença de vegetação herbácea, porém rala.

### 5.3 Características das séries temporais das imagens de NDVI e EVI do sensor MODIS

Para analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal das áreas de RQo, utilizou-se uma série temporal de imagens do sensor MODIS, entre 2000 e 2015. Nessas imagens aplicou-se a metodologia proposta por Forkel *et al.*, (2013) que visa obter parâmetros que caracterizam a série temporal, esses parâmetros são: média, tendência, variabilidade interanual (IAV), sazonalidade e STV (short-term variability). A seguir são apresentadas essas características para cada área de solo RQo presentes em Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará.

#### 5.3.1 Gilbués

Para Gilbués, a Tabela 9 e a Figura 76 mostram a variação (mínimo, máximo e média) dos parâmetros média, tendência, IAV, sazonalidade e STV.

Tabela 9: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Gilbués.

		<b>Média</b>	<b>Tendência</b>	<b>IAV</b>	<b>Sazonalidade</b>	<b>STV</b>
	Mínimo	0,1844	-0,0096	0,0165	0,0072	0,0660
<b>EVI</b>	Máximo	0,5144	0,0070	0,1864	0,2699	0,3705
	Média	0,3130	0,0002	0,0585	0,1017	0,1678
<b>NDVI</b>	Mínimo	0,2745	-0,0155	0,0230	0,0393	0,0860

Máximo	0,7648	0,0082	0,3214	0,3265	0,5131
Média	0,5126	0,0003	0,0823	0,1550	0,2314

O primeiro parâmetro obtido pelo pacote *greenbrown* foi a média da série temporal. O NDVI apresentou valores de média mínima 0,274 e máxima 0,764, e o EVI apresentou valores inferiores que o NDVI, mínima 0,184 e máxima 0,514, bem como uma menor amplitude (Tabela 9).

Na imagem referente a média, Figura 77a, os valores predominantes de NDVI variam entre 0,4 e 0,6 e de EVI entre 0,2 e 0,4. No entanto, apesar dessa diferença entre os índices, o padrão espacial das médias da série temporal é semelhante, ou seja, para o NDVI e EVI os maiores valores correspondem as áreas de mata ciliar/floresta galeria da Savana arborizada, e os menores ao solo exposto ou áreas com reduzida biomassa vegetal.

Em relação a tendência, para os dois índices a predominância dos valores foi próxima a zero, os valores médios de NDVI foram 0,0003 e de EVI 0,0002 (Tabela 9). De acordo com Forkel *et al.* (2013), o valor zero de tendência ocorre devido ao cálculo estatístico desenvolvido para o algoritmo, onde a significância da tendência em cada segmento da série temporal é estimada pelo teste de tendência de Mann-Kendall aplicado sobre os valores agregados anuais do índice de vegetação. Assim, valores iguais a zero significam que a inclinação de reta da tendência não foi significativa, ou seja, o “*p-value*” foi menor que 0,05 ( $p > 0,05$ ) (FORKEL *et al.*, 2013).

As imagens de NDVI e de EVI, Figura 77b, evidenciam que a classe com valor zero predomina na área de solo RQo em Gilbués.

As áreas com pixels de tendência positiva, classe com valores que variam de zero a 0,0155 de NDVI e EVI podem indicar ganho de biomassa ao longo da série temporal ou que a vegetação está em processo de recuperação (Figura 77b). As áreas que apresentam tendência positiva correspondem às áreas em torno da hidrografia com vegetação mais abundante e consolidada.

Os poucos pixels que apresentam valores com tendência negativa indicam que pode estar ocorrendo algum processo de degradação como o desmatamento ou mudança de uso do solo ou a arenização (ANDRADE *et al.*, 2011; ARANTES, 2014; DIAS, 2017; HOTT, 2017). As áreas com tendência

negativa são as que apresentam processos erosivos também próximos a hidrografia, porém com vegetação menos consolidada (Figura 77b).

A variação interanual - IAV (*Inter-annual variability*) corresponde as variações ou anomalias que ocorrem de um ano para outro. O NDVI, Tabela 9, apresenta uma maior amplitude de valores e também valores mais elevados. As imagens (Figura 77c) mostram que a variação interanual dos índices de vegetação para a área de RQo em Gilbués apresenta valores pouco expressivos, próximos a zero. Os valores médios de NDVI e EVI foram 0,0823 e 0,0585 respectivamente (Tabela 9). Na imagem de NDVI os valores que predominam são os da classe de 0,0555 - 0,1555, e de EVI predominam duas classes, de 0,0175 - 0,0555 e 0,0555 - 0,1555.

Valores de IAV próximos ou correspondentes a zero significam que ao longo da série temporal não houve variações interanuais significativas, ou seja, não houve mudanças/anomalias de um ano para outro, frequentes e consideráveis. Quanto maiores os valores acima de zero significam a presença de anomalias interanuais que atuam no aumento dos índices. A presença de valores negativos indica que as anomalias anuais ocorreram com um comportamento que diminui os valores dos índices ao longo da série temporal (FORKEL et al., 2013).

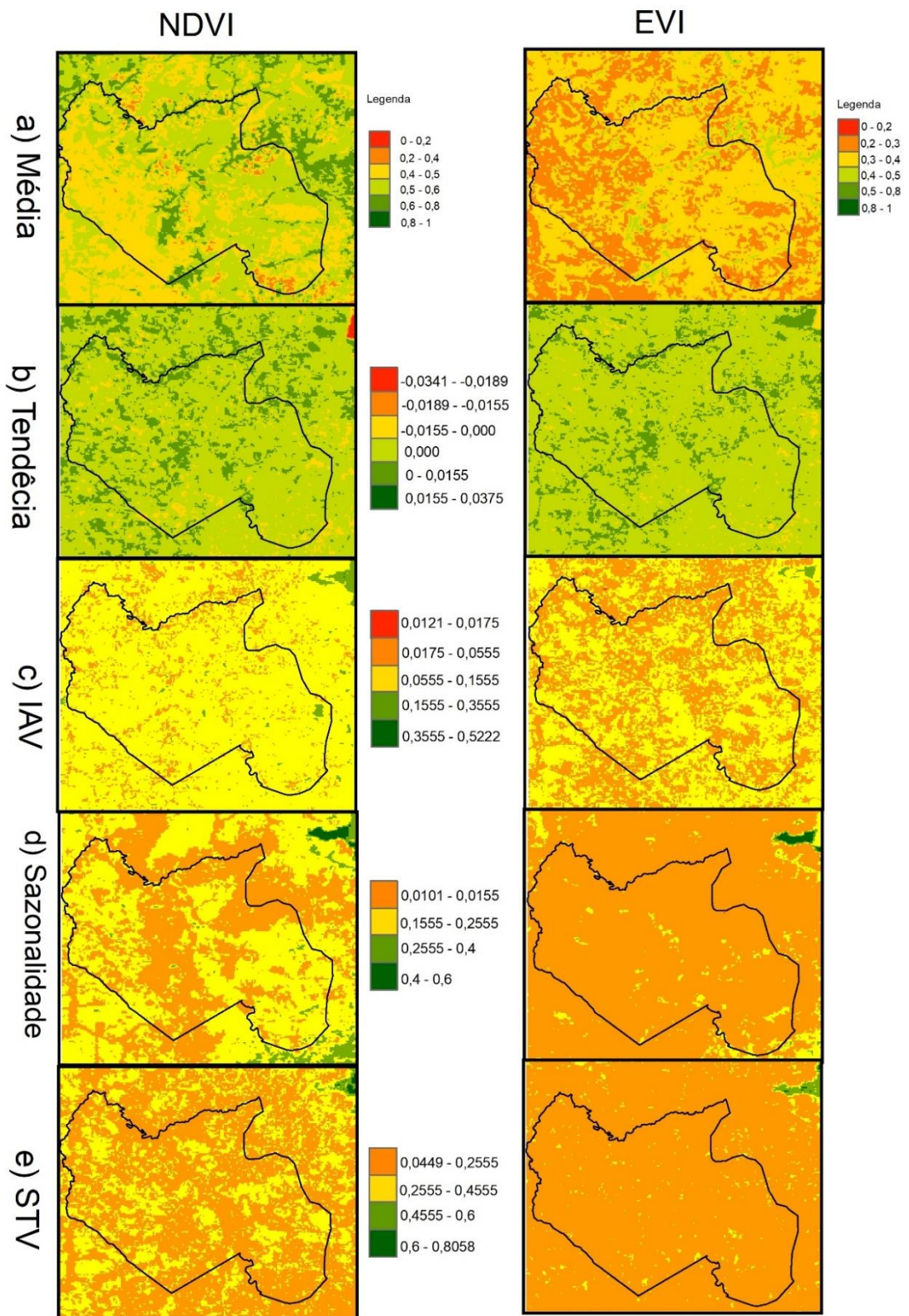


Figura 77: Distribuições espaciais das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Gilbués/PI.

De acordo com trabalhos de Silva (2014); Silva e Barros (2016) nas áreas de solos RQo, em Gilbués predomina a vegetação do tipo Cerrado Ralo.

Destacam também, que o principal tipo de uso do solo nas áreas de solo RQo refere-se às atividades agropecuárias, que se concentram em uma área a sudoeste do município, divisa com o município de Barreiras do Piauí e com o estado do Maranhão (Figura 26). A análise temporal com um intervalo de 22 anos, mostrou que o uso do solo, não sofreu grandes mudanças na área referente ao solo RQo, inclusive a vegetação teve um acréscimo de aproximadamente 5% ao longo dos 22 anos (1987 a 2009). As áreas de degradação ambiental em Gilbués, correspondentes aos areais e às áreas de solo exposto, apresentaram um incremento irrisório, segundo os autores (SILVA; BARROS, 2016).

A sazonalidade da série temporal indica a periodicidade das alterações dos valores dos índices de vegetação. Quanto maior o valor acima de zero, mais alta é a sazonalidade de determinada área, ou seja, os valores dos índices estão variando com uma periodicidade constante (FORKEL et al., 2013; DIAS, 2017). Quanto mais próximo de zero indica que não há sazonalidade.

Os valores de sazonalidade de NDVI e EVI variaram entre 0,0393 e 0,3265 e entre 0,0072 e 0,2699 respectivamente (Tabela 9). O EVI apresentou menor contraste sazonal na área, com valores baixos concentrados na classe 0,0101 – 0,0155. Os valores de NDVI ficaram distribuídos predominantemente entre 0,0101 e 0,2555 (Figura 77d). A sazonalidade evidenciada nas imagens é resultado principalmente da relação entre a vegetação do Cerrado e a dinâmica das chuvas na área de RQo em Gilbués (LIESENBERG et al., 2007; BECERRA et al., 2009; BAYMA e SANO, 2015; SOUZA et al.; 2016).

O *STV (short-term variability)* refere-se as variações/anomalias que ocorrem a curto prazo. Essas anomalias correspondem às pequenas variações que ocorrem durante o ciclo sazonal da série temporal. Assim, os valores negativos correspondem a anomalias em curto prazo com tendência a baixa do índice. E os maiores valores correspondem às anomalias de curto prazo que tendem a aumentar o índice de vegetação. Segundo Forkel et al., (2013) o STV também pode ser o resíduo/ruído final da série temporal, pois é calculado subtraindo a média, o componente de tendência, as anomalias anuais e o ciclo sazonal da série histórica original, ou seja, todas os outros parâmetros.

O STV variou entre 0,0860 e 0,5131 para o NDVI e entre 0,1678 e 0,3705

para o EVI (Tabela 9). A figura 77e evidencia que a imagem de NDVI apresentou uma maior variação de valores entre 0,0449 e 0,4555. Já o EVI concentrou valores entre 0,0449 e 0,2555.

### 5.2.2 Mateiros

A variação (mínimo, máximo, média) de cada parâmetro da série temporal da área de solos RQo em Mateiros, Tabela 10, mostra que os valores correspondentes as médias dos índices variaram entre 0,104 e 0,55 para o EVI e entre 0,147 e 0,809 para o NDVI.

No parâmetro referente a média, Figura 78a, os valores predominantes na imagem de NDVI são entre 0,2 e 0,5 e EVI entre 0,2 e 0,3. Essas áreas correspondem, segundo IBGE (2007), à vegetação Savana Parque, caracterizada principalmente por formações campestres.

Os valores mais elevados da média dos índices nas imagens, classes 0,5 a 0,8 de NDVI e 0,3 a 0,5 de EVI, são correspondentes às Savanas com floresta de galeria localizadas próximas aos cursos d'água (Figura 78a). Florestas de Galeria correspondem a vegetação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e córregos nos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água (RIBEIRO; WALTER, 2008). Esses valores podem chegar até 0,8 de NDVI e até 0,55 de EVI (Tabela 10).

Em relação a tendência, os valores variaram entre -0,013 e 0,011 de NDVI com média de 0,001 para as áreas de solo RQo, e entre -0,007 e 0,011 de EVI com uma média de 0,0003 (Tabela 10). A análise da Figura 78b mostra a predominância de valores zeros, indicando que estas áreas não apresentaram tendência, ou seja, a inclinação da reta da regressão linear foi igual a zero (ARANTES, 2014; DIAS, 2017).

Tabela 10: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Mateiros.

		<b>Média</b>	<b>Tendência</b>	<b>IAV</b>	<b>Sazonalidade</b>	<b>STV</b>
<b>EVI</b>	Mínimo	0,1042	-0,0072	0,0160	0,0101	0,0680
	Máximo	0,5507	0,0118	0,2088	0,3485	0,5843
	Média	0,2670	0,0003	0,0662	0,1139	0,1493
<b>NDVI</b>	Mínimo	0,1474	-0,0134	0,0197	0,0217	0,0674
	Máximo	0,8099	0,0112	0,3615	0,4171	0,6543



Média	0,4358	0,0010	0,0854	0,1716	0,2350
-------	--------	--------	--------	--------	--------

A propriedade IAV da série temporal de NDVI e EVI não apresentou valores expressivos nas áreas de solo RQo em Mateiros (Tabela 10 e Figura 78c). A classe predominante na imagem de NDVI e EVI foi a de valores entre 0,0555 e 0,1555, indicando que não houve expressivas mudanças ou anomalias interanuais.

De acordo com o mapeamento disponível no projeto MapBiomias, em 2000 as áreas de Cerrado no município de Mateiros correspondiam a 1.113.895 ha e em 2015 a 1.048.124 ha, apresentando uma variação de 65.771 ha em um intervalo de 15 anos. A Figura 79 apresenta o gráfico da variação anual em hectares do Cerrado<sup>6</sup> em Mateiros, destaca-se a pequena variação de um ano para o outro.

A imagem de sazonalidade da série temporal de NDVI apresentou valores predominantes da classe 0,1555 a 0,2555 e de EVI da classe 0,0101 a 0,1555 (Figura 78d). Esses valores indicam que nas áreas de solos RQo em Mateiros existe uma certa sazonalidade. Há uma periodicidade nas alterações dos valores dos índices de vegetação (FORKEL et al.; 2013; DIAS, 2017), não tão intensas como, por exemplo, as áreas a sudeste limítrofes com Mateiros (que não englobam os solos RQo), que apresentam valores de sazonalidade mais elevados, 0,4 a 0,6 de NDVI e EVI, indicando áreas com cultivo anual com um ciclo produtivo bem marcado sazonalmente.

O STV variou entre 0,0674 e 0,6543 para o NDVI e entre 0,068 e 0,5843 para o EVI (Tabela 10). A figura 78e evidencia que a imagem de NDVI apresentou uma maior variação de valores entre 0,0449 e 0,4555. Já o EVI concentrou valores entre 0,0449 e 0,2555.

<sup>6</sup> Considerou-se áreas de Cerrado segundo RADAMBRASIL, as classes de mapeamento do MapBiomias: formação campestre (campo), formação savânica e formação florestal.

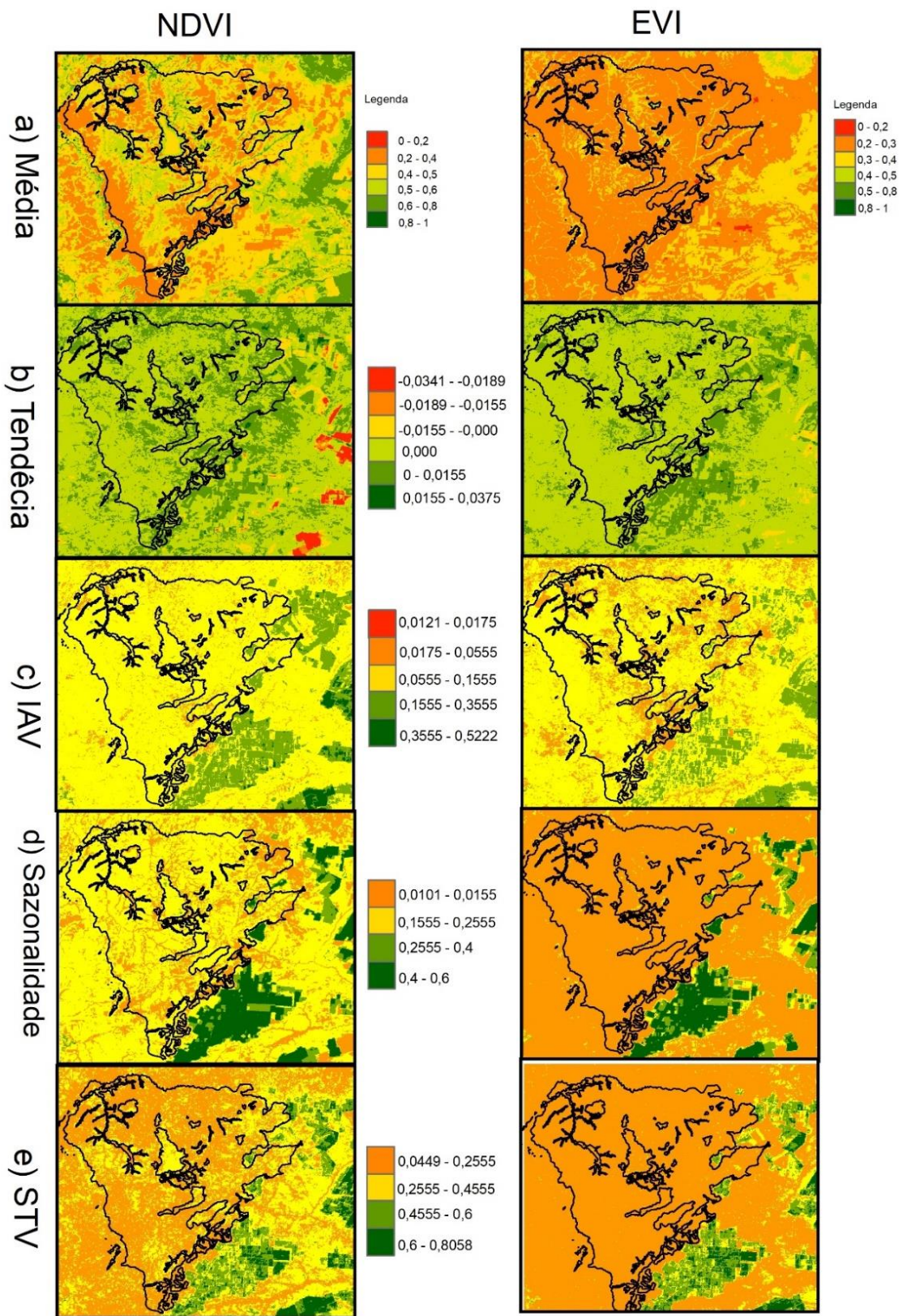


Figura 78: Distribuições espaciais das propriedades das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Mateiros/TO.

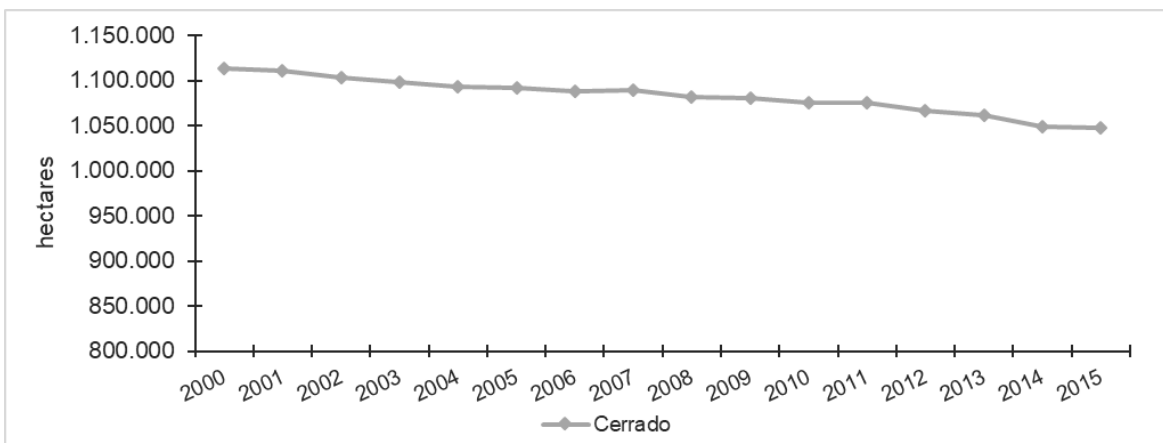


Figura 79: Gráfico da variação anual da cobertura do Cerrado no município de Mateiros/TO. Fonte dos dados: Projeto MapBiomias coleção versão 3.1.

### 5.3.3 Serranópolis

Para Serranópolis, a Tabela 11 e a Figura 80 mostram a variação (mínimo, máximo e média) dos parâmetros estatísticos média, tendência, IAV, sazonalidade e STV.

Na imagem referente a média, figura 80a, os valores estão distribuídos principalmente entre 0,4 e 0,8 de NDVI e entre 0,2 e 0,5 de EVI. O menor valor encontrado para o NDVI nas áreas de solos RQo foi 0,258 e o maior 0,821. O menor valor de EVI foi 0,175 e o maior 0,542 (Tabela 11).

Tabela 11: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Serranópolis.

		<b>Média</b>	<b>Tendência</b>	<b>IAV</b>	<b>Sazonalidade</b>	<b>STV</b>
<b>EVI</b>	Mínimo	0,1754	-0,0117	0,0180	0,0640	0,0728
	Máximo	0,5429	0,0312	0,4830	0,5916	0,8058
	Média	0,3479	0,0016	0,0721	0,1915	0,2032
<b>NDVI</b>	Mínimo	0,2585	-0,0189	0,0216	0,0480	0,0957
	Máximo	0,8213	0,0375	0,5199	0,5797	0,7858
	Média	0,5730	0,0027	0,0994	0,2157	0,2424

Scopel et al.; (2013) ao referir-se a cobertura vegetal de Serranópolis, afirmam que no município ocorrem muitas áreas com agricultura/silvicultura, com manchas mais expressivas ao norte e leste do município. A pastagem, essencialmente de braquiária, predomina, com maior expressão ao sul e manchas de solo exposto aparecem disseminadas nos RQo. Ainda sobrevivem áreas importantes de Mata/Cerradão e Cerrado em boa parte do município

(SCOPEL et al., 2013, p. 42), o que justifica os valores mais elevados das médias dos índices de vegetação (Figura 80a).

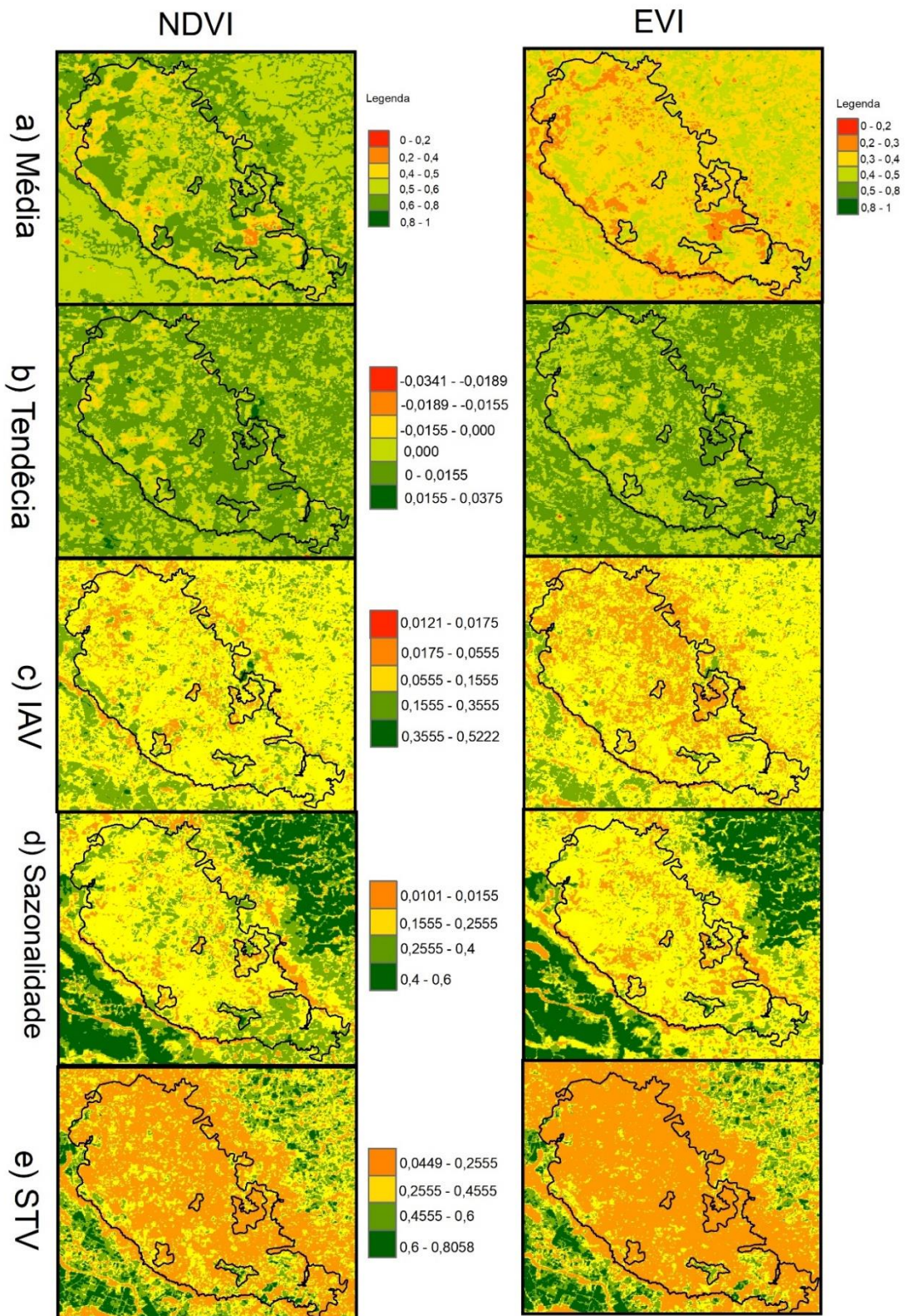


Figura 80: Distribuições espaciais dos parâmetros das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Serranópolis/GO.

Diferentemente de Gilbués e Mateiros que predominaram os valores zero de tendência, as áreas de RQo em Serranópolis apresentaram valores mais expressivos (Figura 80b). Apesar de também apresentarem valores zero nas imagens de tendência, a predominância de valores para a imagem de NDVI foi da classe entre 0 e 0,0155 e da imagem de EVI os valores predominantes ficaram distribuídos entre as classes zero e 0 – 0,0155. Os valores médios de tendência ficaram entre 0,0027 de NDVI e 0,0016 de EVI (Tabela 11).

As áreas que apresentam valores positivos de tendência referem-se predominantemente a cobertura vegetal com menor influência antrópica. A Figura 81 apresenta o cruzamento da imagem de tendência de NDVI e EVI com os remanescentes<sup>7</sup> vegetais do Cerrado.

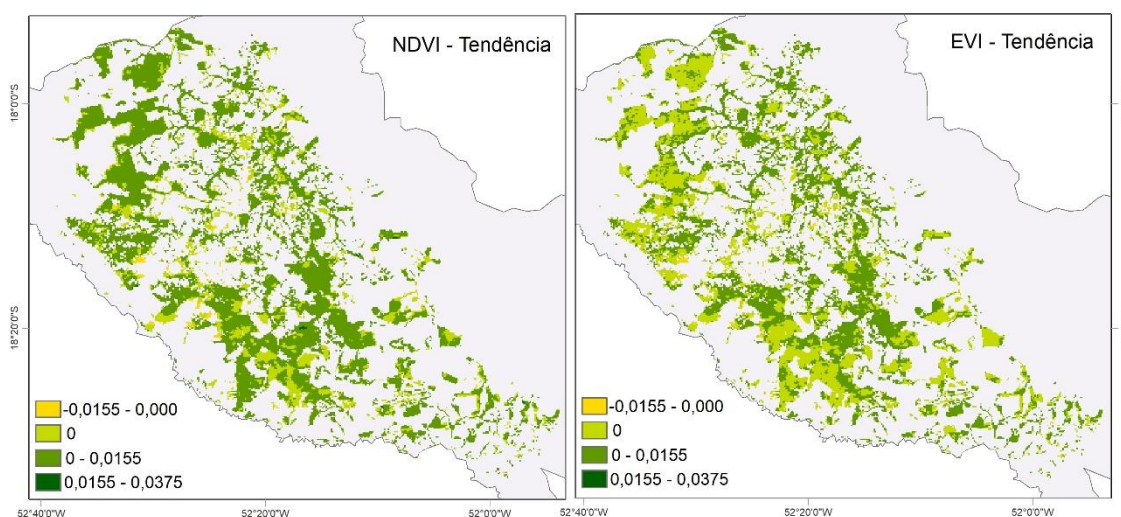


Figura 81: Tendência de NDVI e EVI dos remanescentes das formações vegetais do Cerrado nas áreas de RQo em Serranópolis.

A maior parte dos remanescentes apresenta uma tendência de NDVI positiva, predominando a classe 0 – 0,0155, indicando que nessas áreas a vegetação permaneceu estável ou apresentou um leve aumento ao longo da

<sup>7</sup> Dados disponíveis no portal do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) da UFG. Foram gerados a partir do mapeamento das áreas de vegetação remanescentes do cerrado, a partir da compilação de dados de Uso do Solo do TerraClass Cerrado 2013 (MMA), com a retirada das áreas de pastagens, a partir do mapeamento produzido pelo próprio laboratório (LAPIG) em 2015 e das áreas de agricultura, a partir do Mapeamento da Agricultura da Agrosatélite 2014.

série temporal. Para o EVI a classe predominante foi zero, indicando que esse índice não detectou uma tendência de aumento dos remanescentes. Cabe salientar a ocorrência de pequenos pontos de tendência negativa, classe entre -0,0155 e 0, evidenciando que essas áreas apresentaram uma tendência de diminuição da cobertura vegetal ao longo da série.

Essas áreas de remanescentes de Cerrado, de acordo com o mapeamento PROBIO (2002), referem-se as formações remanescentes de Cerrado Típico e/ou Cerrado Denso. O Cerrado Típico é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo-arbustivo, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de três a seis metros. E o Cerrado Denso é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo, com cobertura de 50% a 70% e altura média de cinco a oito metros, representa a forma mais densa e alta de Cerrado Sentido Restrito (RIBEIRO; WALTER, 2008).

As áreas que apresentam valores de tendência negativa, classe de -0,0189 a zero, tanto de NDVI como para EVI, predominantemente referem-se a áreas de pastagens que podem estar em processo de arenização, como mostra a Figura 81. As áreas circuladas à esquerda na imagem referem-se aos valores negativos de tendência de NDVI, que variam entre -0,0189 e 0, que indicam que ao longo da série temporal essas áreas estão perdendo biomassa ou passando por algum processo de degradação. As duas imagens da direita representam as áreas correspondentes da imagem da esquerda, aparentemente com processos de arenização, onde se pode visualizar os solos RQo com baixa cobertura vegetal.

Segundo Antunes (2006), em Serranópolis os areais correspondem a extensas áreas cobertas por depósitos arenosos esbranquiçados, Figura 82. De acordo com Machado (2016), a utilização inadequada dos solos RQo em Serranópolis, tanto para a pecuária como para o agronegócio, com atividades agropastoris, atuam potencializando a arenização.

Em relação ao IAV os valores médios de NDVI e EVI foram 0,0994 e 0,0721 respectivamente, variando entre 0,0216 e 0,5199 para o NDVI e entre 0,0180 e 0,4830 para o EVI (Tabela 11). Os valores predominantes nas imagens (Figura 80c), foram os da classe entre 0,0555 e 0,1555 de NDVI. Para o EVI os valores ficaram distribuídos principalmente entre 0,0175 e 0,1555. As

pequenas manchas que apresentam valores mais elevados a partir de 0,1555 geralmente correspondem as áreas de silvicultura e algumas de pastagens e agricultura.

Os valores de sazonalidade variaram entre 0,0480 e 0,5797 de NDVI e entre 0,0640 e 0,5916 de EVI (Tabela 11). Nas imagens a classe predominante para os dois índices foi a de valores entre 0,1555 e 0,2555 (Figura 80d). O NDVI apresentou valores mais elevados que o EVI.

Os valores mais elevados significam uma maior sazonalidade, indicando que há uma periodicidade nas alterações dos valores dos índices de vegetação.

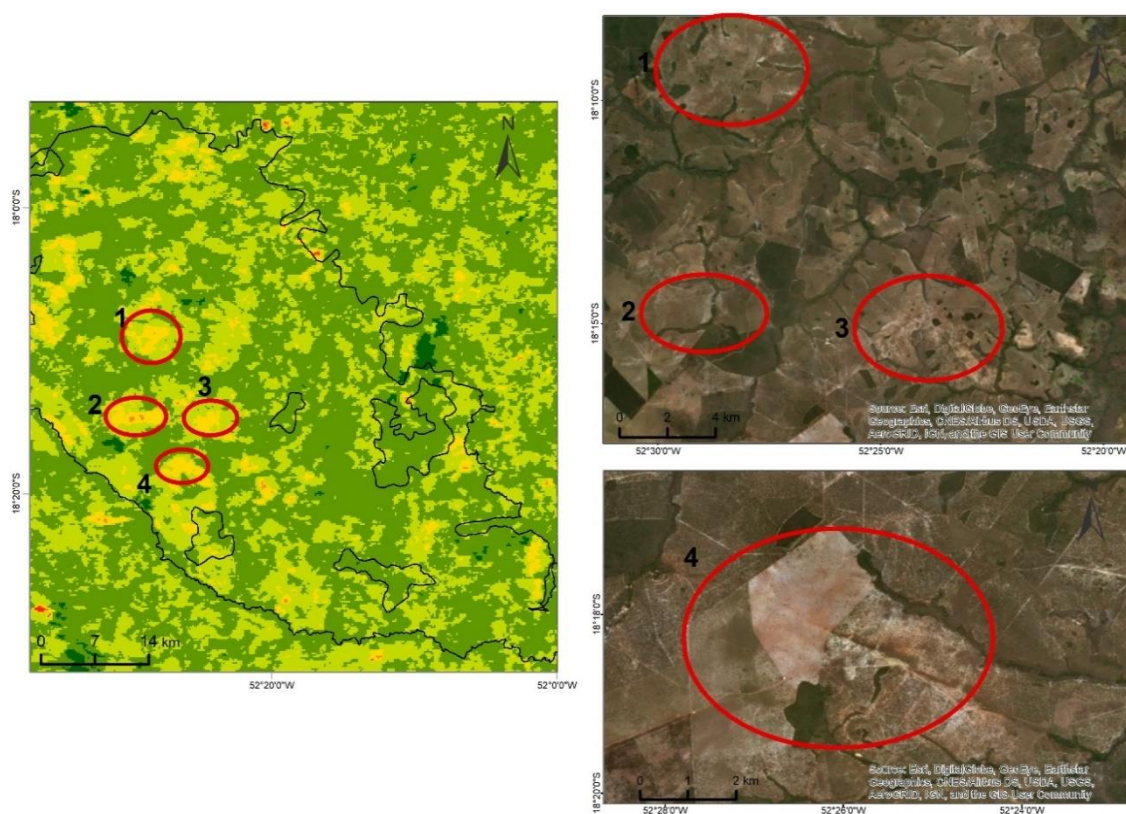


Figura 82: Áreas de tendência negativa de NDVI em RQo – Serranópolis.

A Figura 83, da tendência do NDVI dos remanescentes vegetais de Cerrado e de áreas de pastagens e agricultura nos RQo em Serranópolis, corresponde a sobreposição da imagem NDVI de sazonalidade com os remanescentes do Cerrado e com as áreas de pastagem e agricultura do mapa do uso do solo (Figura 36). Evidencia que os valores mais elevados da sazonalidade dos RQo em Serranópolis concentram-se nas áreas de pastagens e de agricultura. Esses tipos de uso do solo apresentam uma

variação sazonal significativa dos índices de vegetação ao longo do ano. A sazonalidade das pastagens está ligada principalmente com a dinâmica das chuvas que influencia seu verdor como evidenciado na Figura 84, que apresenta imagens do período seco e chuvoso em Serranópolis.

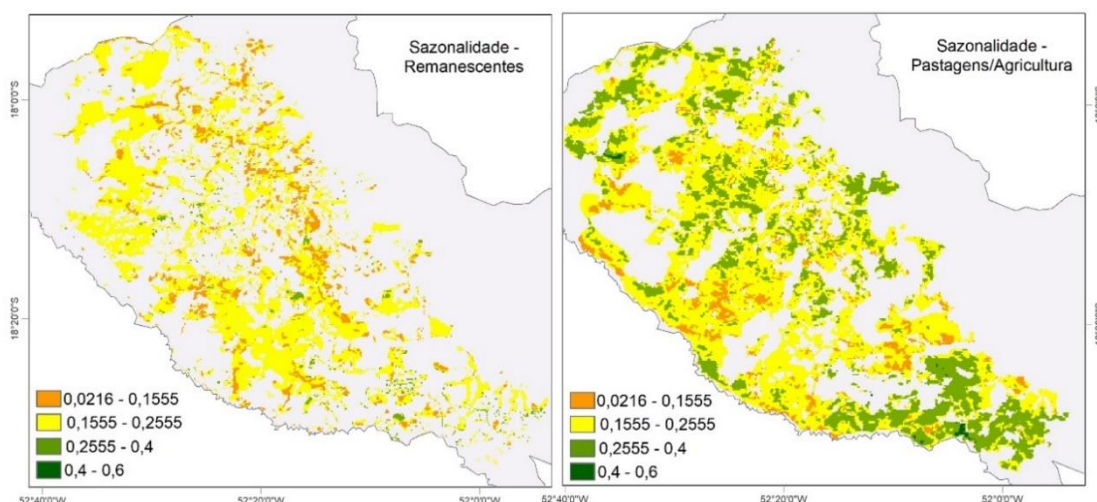


Figura 83: Tendência do NDVI dos remanescentes vegetais de Cerrado e de áreas de pastagens e agricultura nos RQo em Serranópolis.

As áreas de agricultura – localizadas ao sul da área - tem seu comportamento sazonal ligado às características do plantio, colheita e crescimento das culturas (Figura 83). Porém, cabe destacar que os valores máximos dos índices, em torno de 0,6, estão concentrados nas áreas vizinhas, que não são de RQo e referem-se a agricultura anual (Figura 80d).

Os valores mais baixos da sazonalidade concentram-se nas áreas de remanescentes de Cerrado. Segundo Ratana et al., (2005), as áreas de pastagem apresentam maiores contrastes sazonais do que as áreas de preservadas de Cerrado.



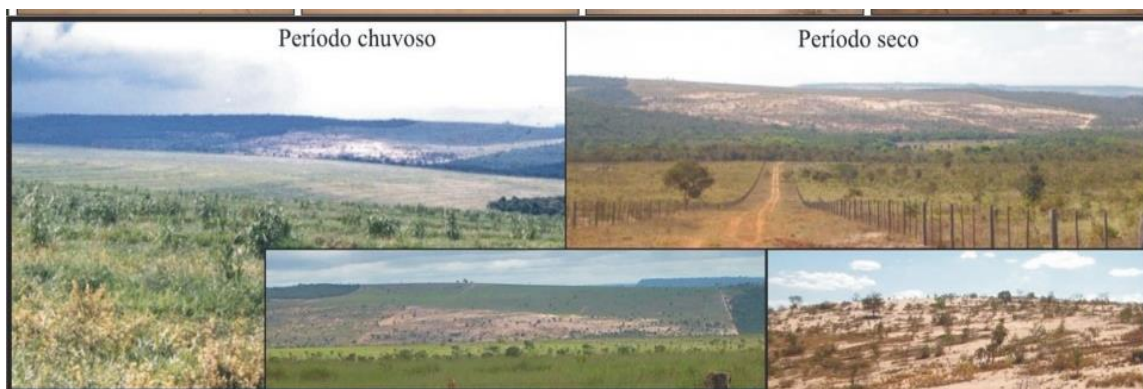


Figura 84: Áreas de solo RQo em Serranópolis.  
Fonte:Sousa et al. (2012).

O STV variou entre 0,0957 e 0,7858 para o NDVI e entre 0,0728 e 0,8058 para o EVI (Tabela 10). A figura 80e evidencia que a imagem de NDVI apresentou uma maior variação de valores entre 0,0449 e 0,4555. Já o EVI concentrou valores entre 0,0449 e 0,2555.

#### 5.3.4. Maçambará

Como não há um mapeamento de solos em uma escala adequada para o município de Maçambará que evidencie a abrangência dos RQo, considerou para a caracterização dos parâmetros da série temporal toda a porção leste, onde ocorre a maior presença de areais.

Na variação (mínimo, máximo, média) para cada parâmetro da série temporal da área em Maçambará, Tabela 12, os valores correspondentes as médias dos índices variaram entre 0,1995 e 0,8695 para o NDVI e entre 0,1221 e 0,5529 para o EVI, o NDVI apresentando assim uma maior amplitude entre os valores de média.

Tabela 12: Variação dos parâmetros da série temporal de NDVI e EVI, Maçambará.

		<b>Média</b>	<b>Tendência</b>	<b>IAV</b>	<b>Sazonalidade</b>	<b>STV</b>
<b>EVI</b>	Mínimo	0,1221	-0,0125	0,0142	0,0065	0,0450
	Máximo	0,5529	0,0269	0,3489	0,5000	0,7441
	Média	0,3623	0,0008	0,0902	0,1595	0,2890
<b>NDVI</b>	Mínimo	0,1995	-0,0140	0,0175	0,0100	0,0449
	Máximo	0,8695	0,0356	0,3709	0,4785	0,7435
	Média	0,5987	0,0010	0,0997	0,1490	0,2949

A maior amplitude dos valores de NDVI evidencia-se na Figura 85a, pois no parâmetro referente a média constata-se que os valores dominantes na imagem de NDVI são entre 0,5 e 0,8 e de EVI entre 0,3 e 0,4. Além de apresentar uma maior variação de valores, o NDVI também apresenta valores mais elevados do que o EVI na área de RQo em Maçambará.

Os valores mais elevados da média dos índices, 0,6-0,8 NDVI e 0,5-0,8 EVI, Figura 85a, distribuem-se entre as áreas de agricultura, pastagem e campo (Figura 43 – mapa do uso do solo). Os valores mais baixos, 0,2 a 0,4 de NDVI e 0 a 0,3 de EVI, referem-se as áreas que ocorrem os processos de arenização, englobando os areais. Essas áreas estão localizadas ao norte com uma mancha significativa com valores mais baixos para os dois índices e caracterizam-se pela predominância de areais com baixa cobertura vegetal, como pode-se observar nas Figuras 86 e 87.

Em relação a tendência, os valores variaram entre -0,0140 e 0,0356 de NDVI e entre -0,0125 e 0,0269 de EVI (Tabela 12). A figura 85b evidencia a predominância de valores zeros, indicando que a maior parte das áreas de RQo não apresentaram tendência. Os valores médios da tendência corroboram essa constatação, pois estão muito próximos a zero, especificamente 0,001 de NDVI e 0,0008 de EVI (Tabela 12).

Os valores mais elevados de tendência encontrados nas imagens correspondentes a classe 0,0155 a 0,0375 de NDVI e EVI, significam que houve um acréscimo de vegetação nessas áreas ao longo da série temporal. Esse acréscimo refere-se à implantação da silvicultura nestas áreas.

Em relação ao IAV o NDVI apresentou valores entre 0,0175 e 0,3709 e o EVI valores entre 0,0142 e 0,3489. Apesar dos índices apresentarem valores máximos expressivos, eles referem-se a pequenas porções da área, pois as médias foram 0,0997 e 0,0902 de NDVI e EVI respectivamente (Tabela 12).

A classe predominante de NDVI e EVI nas imagens de IAV (Figura 85c) foi 0,0555 e 0,1555. As áreas com valores entre 0,0121 e 0,0555 indicam baixa variabilidade interanual dos índices e correspondem principalmente à vegetação natural e florestal e aos areais ao norte da área, indicando que estas áreas permaneceram estáveis e que ao longo da série temporal não houve variações/anomalias interanuais significativas (Figura 85c).

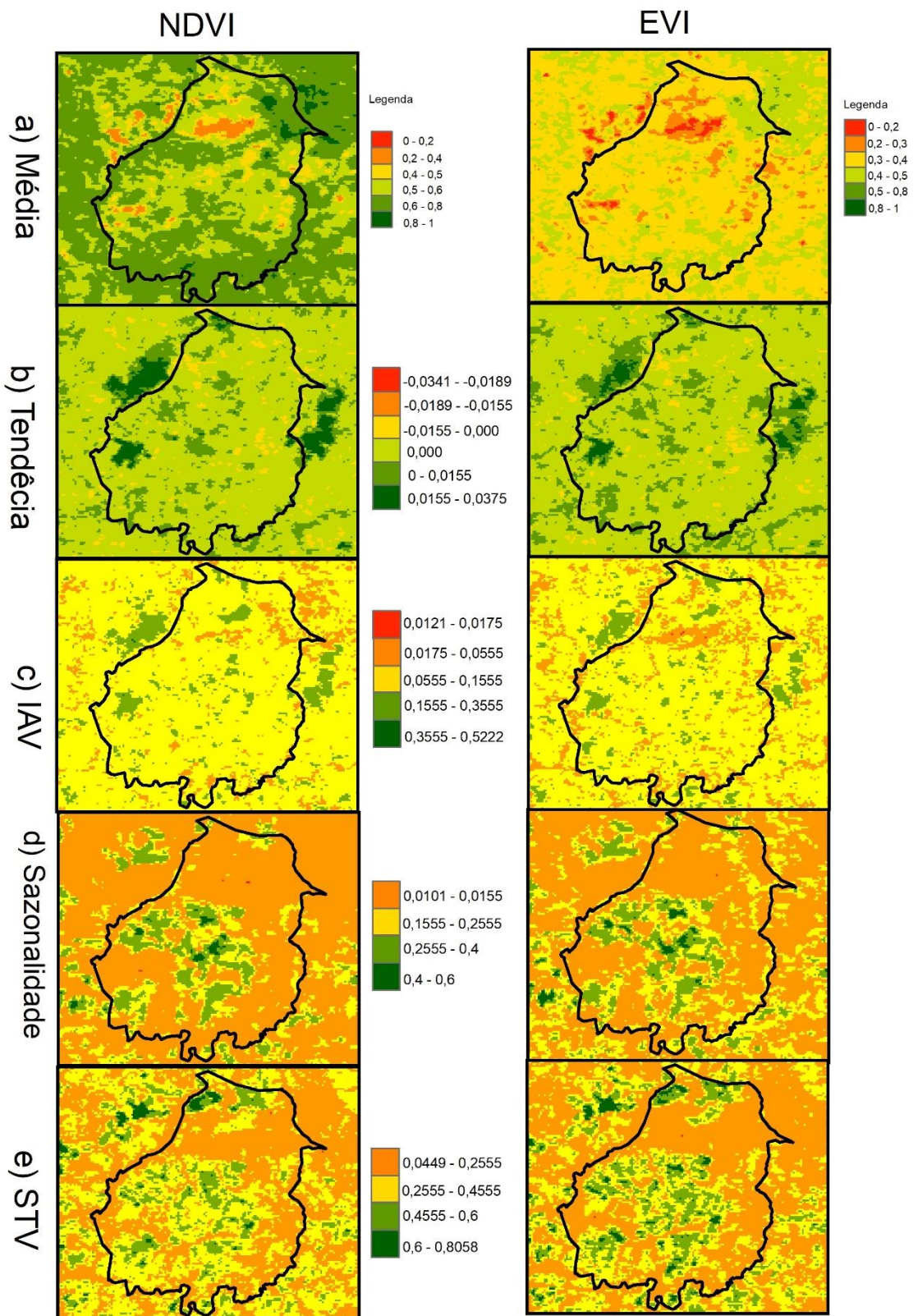


Figura 85: Distribuições espaciais dos parâmetros das séries temporais de NDVI e EVI em áreas de RQo em Maçambará.

Os valores mais elevados localizados ao norte da área, correspondentes a classe entre 0,1555 e 0,3555, referem-se às pastagens e a cultura temporária. De acordo com Dias (2017), as pastagens podem apresentar variações de um ano para o outro, considerando que este é um tipo de uso do solo que varia em função do regime climático gerando alterações em seu vigor. Outra área com valores entre 0,1555 e 0,3555 de NDVI e EVI, localizada ao sudoeste corresponde a silvicultura, que teve sua implantação no início dos anos 2000 tendo o crescimento do *Eucalypto sp.* ao longo de toda a série temporal.

A sazonalidade apresentou valores elevados na porção central da área que variam entre 0,2555 e 0,6 para os dois índices (Figura 85d), indicando que nessas áreas há uma periodicidade nas alterações dos valores dos índices de vegetação, ou seja, uma maior sazonalidade. Referem-se principalmente a agricultura temporária que tem um ciclo de plantio e colheita que interfere diretamente nos valores de NDVI e EVI e também às pastagens.

O STV variou entre 0,0449 e 0,7435 para o NDVI e entre 0,0450 e 0,7441 para o EVI (Tabela 12). A figura 85e evidencia que os valores distribuem-se entre 0,0449 e 0,6 para os dois índices.



Figura 86: Areal em Maçambará – bacia do Arroio Puitã.  
Fonte: Souza e Pires (2017).



Figura 87: Areal em Maçambará – bacia do Arroio Puitã.  
Fonte: Souza e Pires (2017).

Na análise da variação espaço-temporal de NDVI e EVI nas áreas de RQo por meio das características da série temporal: média, tendência, variabilidade interanual (IAV), sazonalidade e STV, verificou-se que cada parâmetro se comportou de acordo com as características do processo de arenização relacionado com o uso do solo e a cobertura vegetal em cada área de RQo.

Os valores das médias de NDVI e EVI da série temporal evidenciaram o tipo de cobertura vegetal predominante de cada área e se ocorre a predominância de grandes areais ou áreas sujeitas a arenização. Cabe salientar que devido à resolução espacial das imagens MODIS, processos erosivos de menor ocorrência não são mapeáveis nas imagens.

A tendência dos índices de vegetação ao longo da série apresentou a predominância de valores zeros em quase todas as áreas, exceto em Serranópolis. Esse parâmetro foi capaz de evidenciar espacialmente quais foram as áreas que ao longo dos anos apresentaram perdas ou ganhos na cobertura vegetal. As áreas de tendência negativas corresponderam aos processos de manejo e uso do solo, que muitas vezes agravam a arenização como é o caso de Serranópolis e Maçambará. Os valores de tendência positiva geralmente se referiram à vegetação natural das áreas e a silvicultura em Maçambará.

O IAV não apresentou valores expressivos de NDVI e EVI para as áreas de RQo em Gilbués e Mateiros. De acordo com as análises realizadas levando em conta a cobertura vegetal e o uso do solo, essas áreas não apresentam significativas variações interanuais e conseqüentemente não apresentam expressivas atuações antrópicas que intensificam os processos de arenização nos RQo. Porém, é necessário desenvolver mais estudos, principalmente mapeando esses processos. Em Serranópolis e Maçambará o IAV apresentou valores um pouco mais expressivos de NDVI e EVI, referentes principalmente às pastagens e áreas de silvicultura.

O parâmetro sazonalidade da série temporal expressou principalmente a relação da cobertura vegetal com a dinâmica climática em cada área. Em Gilbués e Mateiros com predominância de vegetação natural de Cerrado apresentaram valores menos expressivos do que Serranópolis e Maçambará com áreas de Cerrado convertidas em pastagem e presença de atividade agrícola, respectivamente.

O STV que representa as variações a curto prazo ou ruídos da série temporal, não apresentou valores expressivos em todas as áreas.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

O mapeamento dos areais realizado na tese de Suertegaray (1987) propiciou um entendimento da gênese, e foi a primeira espacialização em escala regional da ocorrência do processo de arenização no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul.

Esse processo de arenização, verificado inicialmente na década de 1980, também pode ocorrer em outras regiões do Brasil, de acordo com estudos desenvolvidos nos últimos anos, como é o caso de Gilbués/PI, Mateiros/TO, Serranópolis/GO e Maçambará/RS.

O ponto convergente dessas áreas é o tipo de solo. Todas apresentam Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) nas áreas de ocorrência da arenização. A cobertura vegetal associada a esses solos também é um importante fator de análise nesse processo.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento trouxe uma série de novas abordagens para o entendimento e a espacialização da dinâmica relativa aos processos de arenização e ao monitoramento temporal da cobertura vegetal.

Diante disso, objetivou-se analisar a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de RQo nesses quatro municípios, buscando verificar a ocorrência de um comportamento sazonal relacionado aos elementos climáticos, e assim comparar as áreas de estudo entre si.

A análise dos resultados permitiu estabelecer características dos fatores analisados que se relacionam com a variação espaço-temporal de NDVI e EVI da cobertura vegetal em áreas de solos RQo, associados a ocorrência de arenização em Gilbués, Mateiros, Serranópolis e Maçambará (Quadro 4).

Assim, visando comparar as quatro áreas, têm-se como características semelhantes e distintas o seguinte: as condições de clima Subtropical úmido, sem diferença significativa no nível de precipitação entre as estações, em Maçambará e Tropical para as outras áreas, que apresentam uma estação mais seca no inverno, onde o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm. Em relação as temperaturas a área que se diferencia das demais é Maçambará, as

outras tem padrões semelhantes.

Quadro 4: Comparativo dos fatores que se relacionam com a variação espaço-temporal de NDVI e EVI em áreas de solos RQo.

	<b>Áreas de solos RQo</b>			
	<b>Gilbués</b>	<b>Mateiros</b>	<b>Serranópolis</b>	<b>Maçambará</b>
<b>Precipitação</b>	Média anual aprox. 1100 mm  Sazonal  Estação a seca e outra chuvosa	Média anual aprox. 1400 mm  Sazonal  Estação seca e outra chuvosa	Média anual aprox. 1600 mm  Sazonal  Estação seca e outra chuvosa	Média anual aprox. 1900 mm  Sem sazonalidade ao longo do ano (ausência de estação seca e chuvosa)  Distribuídas ao longo dos meses
<b>Temperatura</b>	Média anual 27°C  pequena variação mensal durante o ano	Média anual 27°C  pequena variação mensal durante o ano	Média anual 25°C  pequena diminuição (4-5°C) da temperatura de maio a julho	Média anual 20°C  variação sazonal bem definida, no inverno 14°C e no verão 26°C.
<b>Vegetação</b>	Savana do bioma Cerrado	Savana do bioma Cerrado	Savana do bioma Cerrado	Campestres do bioma Pampa
<b>Uso do solo</b>	Vegetação natural sem expressivas intervenções antrópicas	Vegetação natural sem expressivas intervenções antrópicas	Áreas antropizadas expressivas, cobertura de pastagens e agricultura	Áreas antropizadas expressivas, cobertura de pastagens e agricultura
<b>Origem do processo de arenização/ areais</b>	Natural (sem estudos que evidenciam)	Natural (sem estudos que evidenciam)	Antrópico = práticas de uso e manejo do solo (estudos confirmam)	Natural e antrópico. (estudos confirmam)



As diferenças climáticas resultam em dinâmicas diferenciadas no que se refere ao comportamento sazonal da cobertura vegetal e que podem ser expressos pelos índices NDVI e EVI. As áreas de RQo em Gilbués, Mateiros e Serranópolis apresentam formações vegetais de Cerrado, fortemente influenciadas pela dinâmica climática, principalmente pela sazonalidade dos índices pluviométricos. Em Maçambará a sazonalidade da vegetação não é tão acentuada, predominando a influência da temperatura combinada às chuvas nas formações campestres do Pampa.

Cabe salientar, que a vegetação das áreas que estão no Cerrado e a que está no Pampa, apesar de pertencerem a biomas distintos possuem dinâmicas paleoclimáticas características de ambientes áridos. Maçambará apresenta como cobertura dominante os campos, relictos de períodos mais secos onde no período pleistoceno eram parcialmente invadidos por formações xerófilas, com cactáceas, assim, compartilhando das mesmas características das outras três áreas de estudo no mesmo período (AB´SABER 1977a).

Outro importante fator que se relaciona com a variação espaço-temporal de NDVI e EVI é o uso e cobertura do solo nas áreas de RQo. Gilbués e Mateiros apresentam características semelhantes, áreas sem grandes intervenções antrópicas. Diferentemente de Serranópolis e Maçambará que apresentam dinâmicas antrópicas expressivas.

Gilbués, é caracterizado como um núcleo de desertificação, entretanto, segundo alguns estudos, apresenta características geoambientais de arenização, com alto grau de degradação/erosão do solo. Destaca-se, entretanto, que esses processos de arenização não ocorrem em áreas de RQo. De acordo com o mapeamento dos solos, é no Argissolo Vermelho (PVe) que ocorre a maior parte dos processos de degradação que se manifestam com características de arenização. Nas áreas de ocorrência de RQo (porção centro-oeste do município), ainda são escassos os estudos que mapearam os areais e os seus processos relacionados.

A metodologia utilizada buscou primeiramente verificar um comportamento sazonal da cobertura vegetal em Gilbués, através da análise dos espectros temporais de NDVI e EVI, para isso definiu-se quatro amostras

em áreas de reduzida biomassa e quatro em áreas de solo exposto sobre os RQo. A variação dos índices indicou um comportamento sazonal típico de vegetação do Cerrado marcado pela dinâmica climática da região. Os valores de NDVI e EVI foram mais elevados para as amostras de reduzida biomassa, as quais também apresentaram um contraste sazonal mais marcante ao longo da série temporal do que as amostras de solo exposto.

A análise utilizando a metodologia proposta por Forkel *et al.* (2013) demonstrou que os valores de NDVI e EVI na área de RQo em Gilbués não apresentaram expressivas variações interanuais e de sazonalidade, bem como, os valores não apresentaram tendência ao longo da série temporal. Isso corrobora com as análises de que o processo de arenização nas áreas de RQo em Gilbués é natural, devido a características do solo, sem grande interferência antrópica ao longo dos anos analisados. É aconselhável, entretanto, realizar mais estudos, principalmente com imagens de satélite de alta resolução espacial, que permita evidenciar os processos erosivos que ocorrem em áreas menores.

Mateiros concentra na maior parte de sua área territorial o solo RQo, que se constitui em grandes extensões de areais e dunas emblemáticas da paisagem regional. Sua área enquadra-se em grande parte em unidades de conservação, como o Parque Estadual do Jalapão. A vegetação savânica do Cerrado presente sobre os solos RQo não expressa alterações antrópicas intensas, constatado nos dados de uso do solo. Devido ao caráter arenoso, frágil e pouco fértil do solo, não se encontram áreas destinadas à agricultura sobre os RQo. Não há registros de estudos que mapearam processos de arenização.

O comportamento sazonal da cobertura vegetal em Mateiros analisado por meio dos espectros temporais de NDVI e EVI se apresentou condizente com as formações do Cerrado, evidenciando o contraste sazonal marcado pela variação pluviométrica. Em relação aos resultados referentes as características da série temporal, percebe-se que, semelhantemente a Gilbués, Mateiros não apresentou valores expressivos de NDVI e EVI de IAV, sazonalidade e tendência, o que pode indicar que o processo de arenização sobre os solos RQo são de origem natural.

Serranópolis, município historicamente pastoril, apresenta nas áreas de RQo intensos processos de arenização relacionados ao uso e manejo do solo para implementar pastagens e mais recentemente lavoura de cana de açúcar e soja. A retirada da vegetação original do Cerrado para e implantação de atividades agrícolas resulta em extensas áreas de areais, devido a fragilidade dos solos.

O processo de arenização observado sobre os RQo em Serranópolis são essencialmente provocados pelas práticas antrópicas. A variação do NDVI e EVI da cobertura vegetal a partir de espectros temporais demonstrou um comportamento sazonal de áreas convertidas em pastagem.

Na análise da tendência, os valores positivos de NDVI e EVI referem-se aos remanescentes das formações do Cerrado, indicando que a vegetação permaneceu estável ou apresentou um aumento ao longo da série temporal. Os valores de tendência negativa indicam as áreas que estão perdendo biomassa ou passando por algum processo de degradação, como as áreas que apresentam o processo de arenização. O IAV e a sazonalidade também apresentaram valores expressivos, indicando a presença de atividades antrópicas que alteram a resposta dos valores de NDVI e EVI da cobertura vegetal sobre os RQo em Serranópolis.

Em Maçambará a ocorrência da arenização está associada à dinâmicas naturais, associadas ao clima úmido e semiúmido. A elevada precipitação concentrada, favorece os processos de escoamento, potencializando a formação de ravinas e voçorocas, feições resultantes do escoamento concentrado, associadas às características arenosas dos solos RQo. Porém, o processo de arenização em Maçambará pode ser intensificado pelas práticas de uso do solo nas áreas que apresentam aptidão natural. Atividades agropastoris e monoculturas arbóreas acentuam a pressão sobre os frágeis solos arenosos que apresentam vegetação herbácea dos Pampas.

O comportamento temporal da cobertura vegetal em Maçambará, através da análise dos espectros temporais de NDVI e EVI, apresentou um leve contraste sazonal nas quatro amostras de reduzida biomassa influenciado pelas temperaturas e dinâmicas associadas aos campos do Pampa. Uma das amostras apresentou um comportamento influenciado pela implementação da

silvicultura. As amostras de solo exposto evidenciaram valores baixos dos índices e a inexistência de um contraste sazonal.

A partir dos resultados constata-se que a metodologia empregada se apresentou de forma satisfatória para atingir os objetivos propostos. Os dados temporais de NDVI e EVI do sensor MODIS disponibilizados por meio da ferramenta web SATVeg auxiliaram de forma eficaz na construção dos espectros temporais e na análise sazonal da cobertura vegetal. A análise por meio do pacote *greenbrown* do software R, permitiu analisar satisfatoriamente a variação espaço-temporal de NDVI e EVI nas áreas de RQo por meio das características das séries temporais: - média, tendência, variabilidade interanual (IAV), sazonalidade e STV (short-term variability).

A hipótese da tese buscou avaliar a existência de um comportamento temporal similar da vegetação entre as quatro áreas de estudo, devido sua característica em comum, o processo de arenização em solos RQo. Diante dos resultados do comportamento dos espectros temporais dos índices de NDVI e EVI, pode-se dizer que, de maneira geral, as amostras tanto de reduzida biomassa como as de solo exposto nas quatro áreas de RQo, apresentaram um comportamento temporal similar. Porém, não se pode confirmar que as similaridades no comportamento temporal justificam-se pelo processo em comum, a arenização em solos RQo, mas sim aparentemente justificam-se pela dinâmica climática e pelo tipo de uso e cobertura do solo tanto natural como antrópica de cada uma das quatro áreas.

O comportamento temporal similar entre as amostras, refere-se aos valores de NDVI e EVI que se se apresentaram mais elevados nos meses de novembro a março e mais baixos nos meses de abril e outubro, evidenciando um contraste sazonal ao longo dos anos analisados, com exceção de Maçambará, que apresentou uma leve sazonalidade para as amostras de reduzida biomassa e praticamente nenhum contraste sazonal para as de solo exposto.

As características das séries temporais (média, tendência, IAV, sazonalidade e STV) corroboraram também para esta constatação, pois a variação espaço-temporal de cada parâmetro associou-se com a presença ou não de intensas atividades antrópicas.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. Espaços Ocupados pela Expansão dos Climas Secos na América do Sul, por ocasião dos Períodos Glaciais Quaternários. **Paleoclimas** nº 3, São Paulo: USP/IG, 1977a. 19p.

ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J.F.; GARÇON, E. A. M.; SILVA, G. B. S. Da; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; VICENTE, L. E.; BOLFE, É. L. VICTORIA, D. De C. **Monitoramento de processos de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Campinas: EMBRAPA - Monitoramento por Satélite, 16 p. 2011.

ANTUNES, E.C. **Recuperação de áreas degradadas por meio de recomposição vegetal em solos arenosos no sudoeste goiano**. Tese de doutorado (Doutorado em Ciências Ambientais) Universidade Federal de Goiás, 134 p., 2006.

ARAI, E. *et al.* Avaliação da série temporal de dados de temperatura da superfície derivadas do sensor MODIS. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18.** (SBSR), 2017, Santos. Anais ... São José dos Campos: INPE, 2017.

ARANTES, T. B. **Análise de séries temporais compostas por imagens sintetizadas a partir da fusão de dados MODIS – TM.** 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

ASSAD, E.D. (ed.) 1994. **Chuva nos cerrados. Análise e espacialização.** Embrapa/SPI. Brasília. 423p.

BAYMA, A.P.; SANO, E.E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.21, n.4, p.797-813, 2015.

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

BUENO, R.F.; BLITZKOW, D.; JUNIOR, E.S.F.; NETTO, N.P.; BARBOSA, A.C.B. Aplicação da Transformada de Fourier e em Ondaleta às séries

temporais de diferenças de altitude, determinadas por GPS, acoplado a Shaker na base USP. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 4, p. 557-570, 2008.

CANEPPELE, J. C. G. **Espacialização da arenização a partir da ecodinâmica e da cartografia ambiental**. 2017. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M.; GUIMARAES, R. F. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, 24(3): 319– 332. 2006.

CASTRO, L. H. R.; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos Cerrados brasileiros. In: ASSAD, E. D. **Chuvos nos Cerrados: Análise e espacialização**. Brasília, Embrapa-CPAC/Embrapa-SPI, 423 p, 1994.

CLARK, D. B.; PALMER, M. V.; CLARK, D.A. **Edaphic factors and the landscapescale distributions of tropical rain forest trees**. *Ecology*, v. 80, n. 8, 1999. p. 2662-2675.

CORDEIRO, A.P.A.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C.; MELO, R.W.; SHIMABUKURO, Y.E.; FIOR, C.S. Regiões homogêneas de vegetação utilizando variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v.27, n.3, p.883-896, 2017.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; ALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. INPE-11237-RPQ/760. São José dos Campos: Inpe. 2004.

CREPANI, E.; MEDEIROS J.S.; PALMEIRA, A.F.; SILVA, E. F. **Relatório do Banco de Dados Geográficos de parte do Núcleo de Desertificação de Gilbués (Municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí)**. São José dos Campos: INPE, 254 p. 2008.

CREPANI, E. Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoriamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. Artigos, p. 5185-5192. 25-30 abril 2009, INPE, p. 5185-5192. 2009.

CRISTO, S. S. V. **Abordagem geográfica e análise do patrimônio geomorfológico em unidades de conservação da natureza**: aplicação na

estação ecológica Serra Geral do Tocantins e área de entorno - estados do Tocantins e Bahia. 2013. 245p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

DIAS, I. M. **Relação entre índices de vegetação e precipitação pluvial no estado de Sergipe**. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. **Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte**. Acta Sci. Biol. Sci, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina do Texto, 2007.

FLORINSKY, I.V.; KURYAKOVA, G.A. **Influence of topography on some vegetation cover properties**. Catena 27, 1996. p. 123-141.

FORKEL, M.; CARVALHAIS, N.; VERBESSELT, J.; MAHECHA, M. D.; NEIGH, C. S. R.; REICHSTEIN, M. Trend change detection in NDVI time series: effects of inter-annual variability and methodology. **Remote Sensing**, New York, v. 5, n. 5, p. 2113-2144, 2013.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F.T.; YUZO, F.; ROSA, R. R. Visualização Instantânea de Séries Temporais EVI2-MODIS na América do Sul. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. XV Anais, INPE, p.6866-6866, 2011.

FREITAS, R.M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A.F.; SATO, F.Y.; SHIMABUKURO, Y.E.; ROSA, R.R.; ANDERSON, L.O.; RUDORFF, B.F.T. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, 2:57-64. 2011. no prelo. (<http://epacis.org/jcis.php>).

GINCIENE, B.R.; BITENCOURT, M.D. **Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. Série Geologia e Mineração n. 3. Goiânia: Superintendência de Geologia e Mineração, 133p. 2006.

GUASSELLI, L.A. O mapeamento de areas a partir de sensoriamento remoto. In: Suertegaray, D. M. A.; Silva, L. A. P. da; Guasselli, L.A. (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Editora ComPasso lugar–cultura, 2012. p. 97- 123.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.; TREVISAN, R. Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, 2010. PROJETO IB/CECOL/TNC, PRODUTO 4. ISBN 978-85-63843-16-6.

HOTT, M. C. **Análise espaço-temporal do desenvolvimento das pastagens na Zona da Mata de Minas Gerais com o uso de imagens NDVI do sensor MODIS/TERRA**. 179p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras/MG, Lavras, 2017.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**. v. 83, n. 1-2, número especial, p. 195-213. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Vegetação do Estado de Tocantins**. Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Manuais técnicos em geociências, Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Clima do Brasil**. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf)> Acesso em 23 de julho de 2019.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphânio (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

JUNGES, AH; BREMM, C.; FONTANA, DB; OLIVEIRA, CAO; SCHAPARINI, LP; CARVALHO, PCF 2016. Perfis temporais de índices de vegetação para caracterizar a intensidade de pastejo em pastagens naturais no bioma Pampa. **Scientia Agricola** 73: 332-337.



JUSTICE, C. O. *et al.* The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1247, 1998.

KUPLICH, T.M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D.C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG v.17, n.10, p.1116–1123, 2013.

LAMBIN, E.F.; LINDERMAN, M. Time series of remote sensing data for land change science. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 44, n.7, p. 1926–1928, July 2006.

LIMA, E.A.M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**. Recife, DNPM/CPRM, 16 v. 1978

LINN, R. M. **Avaliação de modelos de mistura spectral MESMA e SMA aplicados aos dados hiperespectrais Hyperion/EO-1 adquiridos na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F.J.; GALVÃO, L.S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Revista Árvore** v. 31, n. 2, p. 295-305, 2007.

LOPES, L. S. O.; SANTOS, R. W. P.; FILHO, M. A. M. Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções. **Revista Geografia (Londrina)**. V. 20, n. 2, p. 53-66, 2011.

MACHADO, L.M. **Áreas de arenização e areais no sudoeste de Goiás: O uso do sensoriamento remoto para identificação e mapeamento**. 108f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Campus Jataí, Universidade Federal de Goiás, 2016.

MOREIRA, A. *et al.* Seasonal dynamics of vegetation indices as a criterion for grouping grassland typologies. **Sci. agric.** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 24-32.

MOREIRA, A.; KUPLICH, T. M.; FONSECA, E. L. **A variação fenológica de**

**tipologias campestres do bioma Pampa pela abordagem ondaleta.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** Viçosa: Editora da UFV, 2011.

MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondaletas: da análise de Fourier à análise de Ondaletas.** São Paulo: USP, 1999. 272p.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C. **Análise de séries temporais.** 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 564 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

OLIVEIRA, M.G.; et al. **Áreas suscetíveis a dinâmica da arenização: bacia hidrográfica do rio Ibicuí RS/Brasil.** In: XVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo. Montevideo. Anais, 2008.

OVERBECK, G.E.; BOLDRINI, I.I.; CARMO, M.R.B. DO; GARCIA, E.N.; MORO, R.S.; PINTO, C.E.; TREVISAN, R.; ZANNIN, A. Fisionomia dos Campos. In: Pillar, V.P.; Lange, O. (Org.). **Os Campos do Sul.** 2015. cap. 3, p. 31-39.

OVERBACK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R. & FORNECK, E. D. 2009. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: Pillar, V. P.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S. & Jacques, A. V. A. eds. **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília, MMA. p.26-41.

PEIXINHO, D., M.; SCOPEL, I.; SOUSA, M., S. **O homem e a terra: o uso e a ocupação de Neossolos Quartzarênicos (RQo) em Serranópolis-GO, Brasil.** In.: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2009.

PONZONI, F.J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** São José dos Campos: INPE. 2002.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. IN: MENESES, P.R.;

NETTO, J.S.M. (org). **Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília. Embrapa Cerrados, 2001.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 3.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em [20 de julho 2019] através do link: [<http://mapbiomas.org/>].

RATANA, P.; HUETE, A.; FERREIRA, L.G. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1 - 22, 2005.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, p. 151–212, 2008.

ROSEMBACK, R. **Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS-TERRA**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE. São José dos Campos, 2007

\_\_\_\_\_; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**. Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

SALES, MARTA C. L. Degradação Ambiental em Gilbués, Piauí. **Revista Mercator**. Fortaleza, 02, 04, 115-124. 2003

SANCHES, F.; VERDUM, R.; FISCH, G. Tendência de longo prazo das chuvas diárias no sudoeste do Rio Grande do Sul: Os eventos extremos e a arenização. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.6, p.1100-1109, 2014.

SANTANA, H. M. P *et al.* Relação entre atributos físicos e químicos dos solos e a produtividade de capim dourado na região do Jalapão, TO. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1172-1180, 2015.

SANTANA, H. M. P. **Levantamento da produtividade e produção de capim dourado (*Syngonanthus nitens*) e sua relação com variáveis morfopedológicas nos campos limpos úmidos na região do Jalapão, Tocantins**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) Universidade de Brasília, 183p. 2013.

SCOPEL, I.; SOUSA, M.S.; PEIXINHO, D.M.; MARTINS, A.P. Levantamento de

áreas sob arenização e relações com o uso da terra no sudoeste de Goiás e no sudoeste do Rio Grande do Sul - Brasil. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 5, n. 15, p. 24-47, 2013.

SCOPEL, I.; SUERTEGARAY, D. M. A; SOUZA, M. S.; PEIXINHO, D. M.; FERREIRA, D. M. Neossolos Quartzarênicos Órticos das áreas de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: características físicas e morfológicas. In: Suertegaray, D. M. A.; Silva, L. A. P. da; Guasselli, L.A (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Editora ComPasso lugar-cultura, 2012. p.503-542.

SILVA, I. A. S.; BARROS, J. R. Degradação ambiental, cobertura e uso das terras: uma análise geográfica do município de Gilbués-PI. **Revista Equador (UFPI)**, v.5, n.2, p. 190 – 204, 2016.

SILVA, I. A. S. **Clima e Arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos**. 183 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

SILVA, I. A. S. **O Núcleo de degradação Ambiental de Gilbués-Piauí: análise climática e indicadores Geoambientais**. Goiânia, UFG. Monografia – curso de Geografia. 80 p. 2011.

SILVA, L. A. P. Paisagem com areais: ecossistema testemunho, uma janela temporal. In: Suertegaray, D. M. A.; Silva, L. A. P. da; Guasselli, L.A. (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Editora ComPasso lugar-cultura, 2012. p. 307-351.

SILVEIRA, V.C.P. et al. Qualidade da pastagem nativa obtida por diferentes métodos de amostragem e em diferentes solos na APA do Ibirapuitã, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005. p.582-588.

SIRANGELO, F. R. **Análise da atividade de silvicultura em relação aos areais, com base nas restrições estabelecidas no Zoneamento Ambiental para a UPN PC3, no sudoeste do RS**. 53p. Trabalho de conclusão de curso (Monografia em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

SOARES, V.G.; VERDUM, R. Dinâmica erosivas/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais no cerro da Esquina, São Francisco de Assis - RS, Brasil. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 13, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ABEQUA. 2011.

SOUSA, M. S.; SCOPEL, I.; PEIXINHO, D. M.; MARTINS, A. P. O processo de arenização no sudoeste de Goiás. IN: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. DA; GUASSELLI, L.A. (Org.). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Editora ComPasso lugar–cultura, p. 563-597, 2012.

SOUZA, A. C. de. **Análise dos areais da bacia hidrográfica do Arroio Puitã, oeste do Rs, através do mapeamento multitemporal no período de 1984 a 2014**. 141p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOUZA, A. C. de; PIRES, C. A. da F. Dinâmica da arenização na bacia hidrográfica do Arroio Puitã, oeste do RS, através do mapeamento multitemporal no período de 1984 a 2014. **Revista Brasileira de Geomorfologia** (Online), São Paulo, v.18, n.1, p.185-196, 2017.

SOUZA, G. M. de; GURGEL, H. da C.; CIAMP, P. M. Análise sazonal da vegetação do Cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 502 - 520, 2016.

SUERTEGARAY, D. M. A. Arenização e solos. In.: DIAS, M. B. G; NUNES, J. O. R. **Trilhando pelos solos: construções de um percurso**. Porto Alegre. Editora ComPasso lugar–cultura, 2017. p. 55 - 79

SUERTEGARAY, D. M. A.; OLIVEIRA, M. G. Uma análise comparativa do processo de arenização no Brasil: sudoeste do Rio Grande do Sul e sudoeste de Goiás. **Revista Investigaciones Geograficas**. Chile, 47: 19-34 (2014).

SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P.; GUASSELLI, L.A. (Org). **Arenização natureza socializada**. Porto Alegre: Editora ComPasso lugar–cultura e Imprensa Livre, 2012. p. 597.

SUERTEGARAY, D.M.A. Arais e a Arenização no contexto geográfico. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 41-72

SUERTEGARAY, D.M.A. Arenização: análise morfogenética. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 127-172.

SUERTEGARAY, D.M.A. Erosão nos campos sulinos: arenização no sudoeste do Rio grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.12,

n.3, p.61-74, 2011.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. **Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Coordenação e Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do RS, 1.ed. Porto Alegre, 2001. 84p.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Deserto Grande do Sul: controvérsia**. 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1998. 74p.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí-RS**. 1987. 243p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 1987.

TORRENCE, C.; COMPO, G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

UFRGS-IB-Centro de Ecologia. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa: Ano-base 2009**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2016.

VERDUM, R. Descoberta permanente: das areias aos areais. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 73-83.

VERDUM, R. 1997. **Approche géographique des déserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana – État do Rio Grande do Sul - Brésil**. Tese de Doutorado. Université de Toulouse II - Le Mirail. U.T.H. França, 211p.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; et al. **Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla**, Sourthen Mexico. *Biotropica*, v. 34, n. 4, 2002. p. 534-546.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Identificação do processo de desertificação no Nordeste Brasileiro**. SEMA/SUDENE, Departamento de Desenvolvimento Local e Divisão de Saneamento Geral. Recife. Pernambuco, 1978.

WAGNER, A. P.; WEBER L.; HASENACK H.; KLERING E.; FONTANA, D. C. **Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011.

ZANZARINI, F.V.; PISSARA, T.C.T.; BRANDÃO, F.J.C.; TEIXEIRA, D.D.B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608- 614, 2013.