

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Eliane Munhoz de Munhoz

**AVALIAÇÃO DA SILVICULTURA A PARTIR DE SENSORES
ORBITAIS E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS
AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL/RS**

Santa Maria, RS,

2021

Eliane Munhoz de Munhoz

**AVALIAÇÃO DA SILVICULTURA A PARTIR DE SENSORES ORBITAIS E SUAS
RELAÇÕES COM AS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE
SÃO GABRIEL/RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho
Co-orientadora: Profa. Dra. Aline Biasoli Trentin

Santa Maria, RS,

2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Munhoz, Eliane Munhoz de
AVALIAÇÃO DA SILVICULTURA A PARTIR DE SENSORES
ORBITAIS E SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS
AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL/RS / Eliane
Munhoz de Munhoz - 2021.
85 p.; 30 cm

Orientadora: Waterloo Pereira Filho
Coorientadora: Aline Trentin
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, RS, 2021

1. Silvicultura 2. Imagens de sensores 3. Índice
de vegetação I. Pereira Filho, Waterloo II.
Trentin, Aline III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados
fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de
Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável
Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ELIANE MUNHOZ DE MUNHOZ, para os devidos fins e sob as
penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão
de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações
necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão
devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou
parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de
qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade
da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação
pela Universidade, entre outras consequências legais.

Eliane Munhoz de Munhoz

**AVALIAÇÃO DA SILVICULTURA A PARTIR DE SENSORES ORBITAIS E SUAS
RELAÇÕES COM AS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE
SÃO GABRIEL/RS**

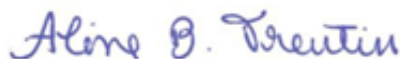
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração Análise Ambiental e Dinâmica Espacial da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito para a obtenção do grau de **Mestre em Geografia**.

Aprovado em 23 de março de 2021:



Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)

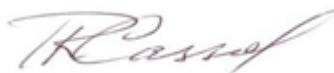


Aline Biasoli Trentin, Dra. (UNIPAMPA)

(Co-orientadora)



Felipe Correa dos Santos, Dr. (RIACHUELO)



Roberto Cassol, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS,

2021

AGRADECIMENTOS

No primeiro momento quero agradecer a Deus e aos meus anjos de luz que me acompanham nessa caminhada aqui na Terra, agradeço imensamente pelo dom da vida, a saúde e a persistência.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela possibilidade de estudar em uma instituição gratuita e de qualidade, além de todo crescimento profissional e acadêmico adquirido neste período.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGGEO) pelo suporte, principalmente, a secretária do curso “Liliane” sempre atenciosa e comprometida com seu trabalho.

Deixo aqui meu agradecimento aos meus orientadores os professores Dr. Waterloo Pereira Filho, por me acolher como sua orientanda num momento difícil de minha vida, pelo incentivo, confiança e paciência. A minha co-orientadora Dra. Aline Biasoli Trentin que é muito importante nessa pesquisa, me auxiliando sempre que necessário, com serenidade e dedicação.

Aos professores que compõe a banca examinadora Dr. Roberto Cassol e Dr. Felipe Correa dos Santos por aceitarem o convite de participar da banca de defesa, tenho certeza que suas contribuições vão ser de grande valia para lapidar esta pesquisa.

Aos colegas de laboratório (LABGEOTEC), em especial aqueles que estiveram mais próximos a Gisieli, Marcos, Rafael e o Jander pelas risadas, pelos conselhos e ajuda em todos os momentos que se fizeram necessários.

A minha família, meus pais Rosa e Francisco, as minhas irmãs Elaine e Enéia, meus cunhados Renato e Everton e o meu amado sobrinho Wilian.

Ao meu namorado Gustavo Mezzomo pelo companheirismo, paciência, incentivo e carinho nessa caminhada.

Aos amigos que fiz no primeiro ano do mestrado e quero levar pra sempre Victor Veríssimo, Erica Natacha, Daniela Fagner, pelo apoio e incentivo.

Em especial, ao meu grande amigo Luiz LaSsóva Vargas (*in memorian*), que foi extremamente importante na minha caminhada, que acreditou em mim quando nem eu mesma mais acreditava, que estendeu a mão e mostrou a mim o quanto à luz da vida é bela.

Esse momento tão esperado por nos está chegando e tão perto desse momento partiste, mas tenho a certeza que está cuidando e olhando por mim junto a Deus.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente torceram por mim ao longo dessa trajetória.

Muito Obrigada!!!

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; senão fosse por elas, eu não teria saído do lugar... “As facilidades nos impedem de caminhar”.

(Chico Xavier)

RESUMO

AValiação da silvicultura a partir de sensores orbitais e suas relações com as características ambientais no município de São Gabriel/RS

AUTORA: Eliane Munhóz de Munhóz

ORIENTADOR: Waterloo Pereira Filho

CO-ORIENTADORA: Aline Biasoli Trentin

O setor florestal tem avançado vigorosamente nos últimos anos, com amplo número de indústrias e produtos, principalmente a produção de madeira para diversos usos, produção de celulose, fabricação de papel e produção de energia. No Rio Grande do Sul, a região da “metade sul” tem crescido o número de plantios florestais, devido à instalação de empresas de celulose no estado. Diante desse contexto, profissionais das áreas ambientais alertam sobre os impactos que essa atividade pode causar nos biomas do RS. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a expansão da silvicultura com a utilização de série temporal Landsat para os anos “1998, 2008 e 2019” e de índices espectrais derivados do sensor MODIS, a fim de relacionar estas informações com as características de conformidade dispostas no zoneamento da silvicultura no município de São Gabriel. Para isso, a metodologia compreendeu a aquisição das imagens de sensores orbitais (Landsat TM e OLI) referentes a 1998, 2008 e 2019 para a espacialização dos dados e obtenção dos mapas de uso. Além disso, adquiriram-se dados sobre a silvicultura da FEPAM e dados econômicos do IBGE, e realizou-se a comparação dos mapas de uso e cobertura da terra com os indicadores econômicos para a comparação das áreas de silvicultura com o zoneamento ambiental da silvicultura. Ademais, efetuou-se a aquisição dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS na plataforma SATVeg para obter a série temporal entre os anos de 2001 a 2019. Os resultados encontrados para os mapas de uso e cobertura da terra mostraram que houve um aumento da silvicultura para todos os anos mapeados com 2,27% em 1998, apresentou 3,03% para 2008 e 5,34% de área plantada em 2019. Estes dados indicam que em área cultivada por silvicultura houve uma taxa de crescimento de 136% para o período estudado, o que mostra a expansão desta atividade rural. Para análise das conformidades nas áreas de silvicultura foram realizados os cálculos das áreas para cada unidade de paisagem. Assim, observou-se que os limites de ocupação para os anos de 1998 e 2008 estão dentro do valor estabelecido para cada unidade de paisagem. Para o ano de 2019, a área de ocupação passou do limite máximo. Com relação aos índices de vegetação os perfis temporais demonstraram aptidão dos produtos MODIS para compreender o desenvolvimento das culturas. Os índices de vegetação apresentaram comportamentos característicos de campo/pastagem, agricultura e a partir 2013 plantios de silvicultura, cada índice com suas especificidades. Em síntese, os dados oriundos de sensores orbitais e os dados econômicos mostram ser consistentes no estudo realizado, portanto consistem em um conjunto de ferramentas que possibilitam o diagnóstico e o planejamento de forma mais próxima da realidade.

Palavras-chave: Silvicultura. Imagens de sensores. Índice de vegetação.

ABSTRACT

EVALUATION OF FORESTRY FROM ORBITAL SENSORS AND THEIR RELATIONS WITH ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS IN SÃO GABRIEL / RS

AUTHORA: Eliane Munhoz de Munhoz

ADVISOR: Waterloo Pereira Filho

CO-ADVISORA: Aline Biasoli Trentin

The forestry sector has advanced vigorously in the last years, with a large number of industries and products, mainly the production of wood for various uses, cellulose production, papermaking and energy production. In Rio Grande do Sul, the “Southern half” region has grown the number of forest plantations, due to the installation of pulp companies in the state. In this way, professional in the environmental areas warn about the impacts that this activity can cause in the biomes of RS. Thus, the aims are to analyze the expansion of silviculture using the Landsat time series for the years “1998, 2008 and 2019” and spectral index derived from the MODIS sensor, in order to relate this information with the characteristics of compliance provisions in the zoning of silviculture in the municipality of São Gabriel. For this, the methodology comprised the acquisition of images from orbital sensors (Landsat TM and OLI) referring to 1998, 2008 and 2019 for the spatialization of data and obtaining the usage maps. In addition, data on silviculture from FEPAM and economic data from IBGE were acquired, and land use and land cover maps were compared with economic indicators associated with with environmental zoning of silviculture. In addition, the NDVI and EVI vegetation indexes of the MODIS sensor were acquired on the SATVeg platform to obtain the time series between the years 2001 to 2019. The results found for the land use and land cover maps showed that there was an increase of forestry for all years mapped with 2.27% in 1998, presented 3.03% for 2008 and 5.34% in 2019. These data indicate that in area cultivated by forestry there was a growth rate of 136% for the period studied, which shows the expansion of this rural activity. For the analysis of the conformities in the silviculture the areas calculations were made for each natural landscape unid. Thus, it was observed that the occupation limits for the years 1998 and 2008 are within the value established for each natural landscape unid. For the year 2019, the occupation area passed the maximum limit. Regarding vegetation indexes, the time profiles showed the aptitude of MODIS products to understand the development of crops. The EVI and NDVI presented characteristic behaviors of field/pasture, agriculture and from 2013 forestry plantations, each index with its specificities. In summary, the data from orbital sensors and the economic data show to be consistent in the study, therefore they consist of a set of tools that enable diagnosis and planning more closely to reality.

Keywords: Forestry. Sensor images. Vegetation index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva da madeira.....	19
Figura 2 - Evolução do PIB e o crescimento da economia.....	21
Figura 3 - Resposta espectral da vegetação verde e seca, nas regiões do visível, infravermelho próximo e médio.....	28
Figura 4 - Etapas de um sistema de PDI.....	29
Figura 5 - Mapa dos Biomas do Estado do Rio Grande do Sul.....	39
Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo.....	41
Figura 7 - Tipos de vegetação dentro do Bioma Pampa.....	42
Figura 8 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na metodologia.....	46
Figura 9 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 1998.....	53
Figura 10 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 2008.....	55
Figura 11 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 2019.....	58
Figura 12 – Representação da composição das bandas Landsat OLI (R6G5B4) referente ao ano de 2019.....	59
Figura 13 - Evolução em porcentagem da área plantada nas culturas de eucaliptos, pinus e acácia.....	62
Figura 14 – Dados sobre o crescimento da área plantada da espécie eucalipto, pinus e outras espécies nos plantios de silvicultura no ano de 2017 para RS e SG.....	63
Figura 15 - Dados sobre a pecuária de 2010 e 2017 para RS e SG.....	64
Figura 16 - Dados sobre lavouras de arroz e soja de 1998, 2008, 2010, 2017 e 2019 para RS.....	65
Figura 17 - Dados sobre lavouras de arroz e soja de 1998, 2008, 2010, 2017 e 2019 para SG.....	65
Figura 18 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 1998.....	67
Figura 19 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 2008.....	68
Figura 20 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 2019.....	69
Figura 21 – Coleta de pontos na plataforma SATVeg.....	72
Figura 22 - Série temporal de EVI de silvicultura no período de 2001 a 2019.....	74
Figura 23 - Série temporal de NDVI de silvicultura no período de 2001 a 2019.....	75

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Espécies mais cultivadas em áreas de silvicultura no Brasil.	24
Tabela 2 - Dados cartográficos e produtos orbitais.....	45
Tabela 3 - Datas das imagens Landsat 5 e 8, sensor TM e OLI.	47
Tabela 4 - Áreas de cada classe para o ano de 1998.	54
Tabela 5 - Áreas de cada classe para o ano de 2008.	56
Tabela 6 - Áreas de cada classe para o ano de 2019.	59
Tabela 7 - Agrupamento qualitativo do coeficiente kappa.....	60
Tabela 8 - Precisão da classificação por meio da Exatidão Global e o Índice Kappa.	60
Tabela 9 - Municípios com as maiores áreas de silvicultura plantadas do Rio Grande do Sul.	62
Tabela 10 - Parâmetro sobre a silvicultura em cada unidade de paisagem estabelecido pelo ZAS e as áreas da silvicultura em cada unidade de paisagem com seu percentual.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Cronologia de lançamentos e fim de operação dos Satélites Landsat.	31
Quadro 2 - Especificações do sensor MODIS.	33
Quadro 3 - Produtos MODIS e potenciais de uso.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFRI	Índice de Vegetação Livre de Aerosol
AGEFLOR	Associação Gaúcha de Empresas Florestais
APP	Área de Preservação Permanente
ASTER	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
CAST	Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia
CBERS	<i>China Brazil Earth Resources Satellite</i>
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CEDEFLO	Conselho de Desenvolvimento Florestal do Mercosul
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
ETM +	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EOS	<i>Earth Observing System</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FISET	Fundo de Investimento Setoriais
FUNDEFLO	Fundo Estadual de Desenvolvimento Florestal
GES	<i>Goddard Earth Sciences</i>
GLOVIS	Global Visualization Viewer
IAF	Índice de Área Foliar
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IBA	Instituto Brasileiro de Árvores
IDMI	Índice de Umidade por Diferença Normalizada
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRMSS	<i>Infrared Multispectral Scanner System</i>
IV	Índice de Vegetação
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MAXVER	<i>Máxima Verossimilhança</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NOAA	Administração Nacional Atmosférica e Oceânica
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDI	Processamento Digital de Imagens
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
PIB	Produto Interno Bruto
RADARSAT	Satélite Radar
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
REM	Radiação Eletromagnética
RL	Reserva Legal
RS	Rio Grande do Sul
SATVeg	Sistema de Análise Temporal da Vegetação
SAVI	<i>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo</i>

SEMA	Secretária Estadual do Meio Ambiente
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPOT	<i>Satellite Pour Observation de La Terre</i>
SR	<i>Razão Simples</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TVI	<i>Índice de Vegetação Triangular</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UPN	Unidade de Paisagem Natural
WFI	<i>Wide Field Imager</i>
ZAS	Zoneamento Ambiental da Silvicultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DO SETOR FLORESTAL E DA SILVICULTURA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL.....	19
2.2 A EVOLUÇÃO DA SILVICULTURA E A LEGISLAÇÃO	21
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO.....	25
2.3.1 Comportamento espectral da vegetação	27
2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	28
2.5 SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	30
2.5.1 LANDSAT.....	31
2.5.2 Sensor MODIS.....	32
2.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	35
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
3.1 RIO GRANDE DO SUL	38
3.2 BIOMAS DO RIO GRANDE DO SUL.....	39
3.2.1 Bioma Mata Atlântica	40
3.2.2 Bioma Pampa.....	40
3.2.3 Município de São Gabriel.....	41
4 METODOLOGIA	44
4.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT	47
4.2 COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM OS INDICADORES ECONÔMICOS	48
4.3 COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE SILVICULTURA COM O ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA	49
4.4 SÉRIE TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SILVICULTURA	51
5.2 RELAÇÃO DOS MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM INDICADORES ECONÔMICOS	61
5.3 ANÁLISE DA CONFORMIDADE DAS ÁREAS DE SILVICULTURA COM AS UNIDADES DE PAISAGEM ESTABELECIDAS NO ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA.....	66
5.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	71
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

1. INTRODUÇÃO

A silvicultura é uma prática do setor florestal, que tem sido desenvolvida no decorrer do tempo e gerado modificações nos aspectos econômicos, sociais, ecológicos e ambientais. Como consequência desse processo, verifica-se um aumento nas pesquisas relacionadas ao tema “silvicultura”, que tem por finalidade estudar as povoações florestais para aprimorar as demandas do mercado e aproveitar o uso racional das florestas.

Desta forma, a silvicultura pode se distinguir em clássica ou moderna. A clássica abrange as florestas naturais, busca o equilíbrio do ecossistema e a moderna é proveniente de plantações florestais mantidas de forma artificial, ambas tem em comum a produção de madeira (BARROS, 2019).

As atividades do setor florestal têm avançado vigorosamente nos últimos anos, com amplo número de indústrias e produtos. Além disso, tem expandido e diversificado os subsetores da cadeia produtiva que provém da madeira extraída dos plantios florestais como a produção de madeira para diversos usos, marcenarias e carpintarias, produção de celulose para fabricação de papel, produção de energia (TEIXEIRA, 2016; VALVERDE *et al.*, 2019).

A taxa de crescimento da área florestal plantada apresenta um acréscimo no país. De acordo com o levantamento de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) 2017, o Brasil tem 9,85 milhões de hectares de florestas plantadas, o eucalipto representa 75,2 % e o pinus 20,6% da produção (IBGE, 2018).

No estado do Rio Grande do Sul (RS) o grande impulso dos plantios florestais surgiu com a implantação do Código Florestal Brasileiro¹, que incentivou o plantio arbóreo e obrigatoriedade na reposição das áreas degradadas. Desde então, o governo implementou leis e instituições para fins de incentivo à produção de base florestal, mas também, a fiscalização e controle para o cumprimento da legislação ambiental.

Diante disso, no ano seguinte a primeira criação do Código Florestal (1965) entrou em vigor a Lei Federal de 5.106, de 1966, tal Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, que dispõe sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais.

¹ O Código Florestal Brasileiro foi criado pela Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, após algumas décadas o código passou a ser regulado pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 ficando conhecido como o Novo Código Florestal. E ainda, no mesmo ano alterou para Lei nº 12.727, independente das alterações são estabelecidos limites de uso da propriedade, que deve respeitar a vegetação existente na terra.

E posteriormente, no mesmo ano foi criado o Instituto Fiscal para Reflorestamento (FISSET)² e o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), ambos com o objetivo de viabilizar a produção em larga escala e conduzir a política florestal brasileira (BARCELOS, 2010).

Diante deste cenário, a região sul do estado do Rio Grande do Sul também chamada de “metade sul”, tem alterado suas paisagens com o aumento de plantios florestais. Fato que gera preocupação entre os profissionais das áreas ambientais como geógrafos, ecólogos, ambientalistas e organizações não governamentais sobre os impactos que essa atividade pode causar nos biomas do RS, principalmente, o Bioma Pampa, o qual possui características próprias do seu habitat. Portanto, é importante compreender os impactos e transformações nas características fitogeográficas e geomorfológicas da região (PEREIRA, 2010).

De acordo com Silva (2012) as florestas plantadas sobre as fisionomias campestres do Bioma Pampa ocasionam a destruição de habitats naturais que possuem alta diversidade, e a substituição dessa paisagem acarreta no enfraquecimento do bioma, sendo que algumas espécies são nativas desta região.

Sob o mesmo ponto de vista, Santos e Trevisan (2012) salientam alguns resultados dos principais impactos ambientais, a transformação das áreas nativas em lavouras arbóreas, principalmente impactos na água e solo e sobre a biodiversidade.

Nesta perspectiva, para conservação dos recursos naturais e preservação do meio ambiente é necessário estabelecer instrumentos normativos e medidas que buscam diminuir os danos causados a natureza. Assim, destaca-se o licenciamento ambiental como um instrumento de prevenção e fiscalização conduzido pela Política Nacional do Meio Ambiente que licencia de acordo com a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos, ou seja, todas as atividades que causam impactos e degradação ambiental (FIRJAN, 2004).

Frente a isso, é considerável realizar estudos visando às transformações do uso e cobertura do solo. Santos *et al.* (2012), apresenta uma série de trabalhos sobre geotecnologias aplicadas aos recursos florestais que possibilitam observar como ocorre o processo de aquisição, processamento, interpretação de dados e informações referenciadas para fins de observação e planejamento das variáveis ambientais, amparada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), Sensoriamento Remoto e Geoestatística.

² O FISSET foi extinto em 1987, devido à fraude por desvio de verbas para os plantios florestais. De acordo com levantamentos do governo federal, mais de 7 milhões de hectares haviam sido “plantadas” o que foi constatado em fiscalizações que existia apenas ¼ de árvores plantadas.

É importante salientar que o avanço das tecnologias de geoprocessamento possibilitou a ampliação no uso de dados de sensoriamento remoto, visto que, as informações adquiridas dos sensores remotos tornam-se mais robustas ao serem processadas em ferramentas de análise espacial (NOVO, 2010).

Ademais, a resolução dos sensores remotos, principalmente a resolução temporal neste caso, permite obter registros múltiplos de diferentes períodos para a mesma região de interesse, o que possibilita analisar minuciosamente as transformações desenvolvidas ao longo do tempo (JENSEN, 2011).

Desta forma, uma das possibilidades de analisar a temporalidade dos dados florestais são os índices de vegetação oriundos de imagens de satélite, que permitem analisar as características espectrais da vegetação, ou seja, o vigor vegetativo da planta (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). O índice *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI está relacionado com a pigmentação das folhas e as características da vegetação (ROUSE *et al.*, 1973; GOODEUNOUGH *et al.*, 2006; MENESES *et al.*, 2012; GALVÃO *et al.*, 2018).

Nesse contexto, os dados de sensoriamento remoto quando comparados com as informações tabeladas obtidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como os dados de pecuária, silvicultura, extrativismo e demais informações relacionadas, tornam-se um vasto campo de dados para serem analisadas.

Portanto, é pertinente desenvolver estudos para identificar e monitorar áreas que possuem uma notória importância ambiental. Diante do exposto, o presente trabalho tem como problema a expansão da silvicultura, que apresenta conseqüentemente impactos gerados pelo aumento dos plantios florestais no município de São Gabriel no Rio Grande do Sul. A proposta deste estudo visa avaliar e espacializar os dados provenientes de satélites, com o uso de série temporal para fins de análises das mudanças e cobertura da terra, especificamente a silvicultura, com ferramentas de geoprocessamento.

Os resultados desta pesquisa podem servir como subsídio nas tomadas de decisões de empresas, órgãos públicos e ambientais e demais profissionais interessados em realizar pesquisas sobre o tema. E também, pode-se servir como suporte para as diretrizes do plano de manejo e zoneamento ambiental da silvicultura.

Nesta pesquisa o objetivo principal consiste em analisar a expansão da silvicultura com a utilização de série temporal Landsat para os anos “1998, 2008 e 2019” e de índices espectrais derivados do sensor MODIS, a fim de correlacionar estas informações com as características de conformidade dispostas no zoneamento da silvicultura no município de São Gabriel.

Diante disso, os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Avaliar a espacialização da silvicultura no município de São Gabriel a partir de dados oriundos do satélite Landsat para os anos de 1998, 2008, 2019.
- Identificar as diferenças e a consistência entre os mapas de uso do solo e cobertura da terra, comparando-os com os indicadores econômicos.
- Verificar a conformidade (limite de ocupação) das áreas de silvicultura em relação às características das unidades de paisagem determinadas pelo zoneamento ambiental da silvicultura.
- Analisar o desenvolvimento dos plantios arbóreos por meio de uma série temporal do satélite Terra (Modis) para o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) de acordo com as unidades de paisagem.

2. REVISÃO DA LITERATURA

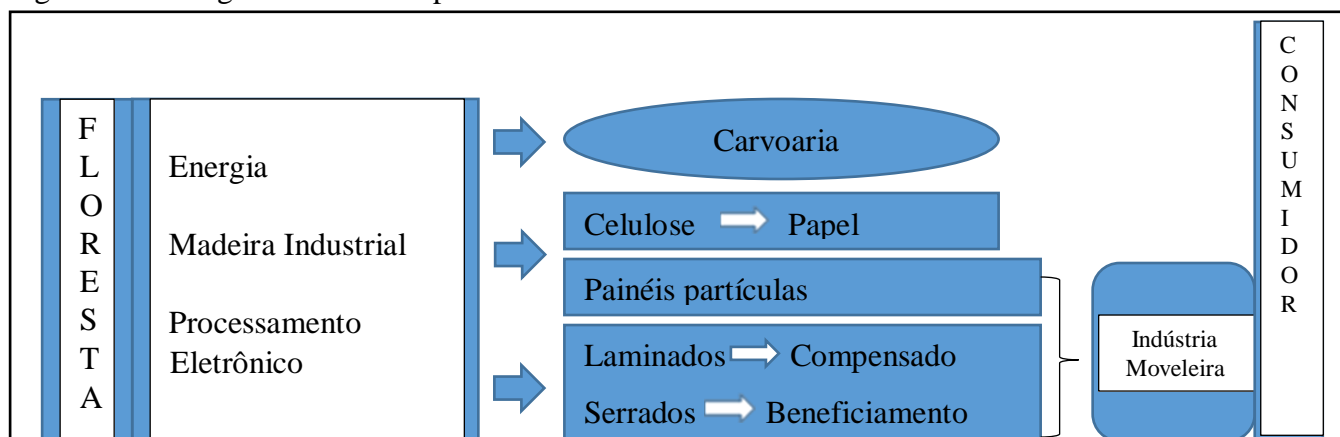
Nesta seção, são abordados os principais conceitos que norteiam a pesquisa. Diante disso, a revisão da literatura do presente trabalho abordou as seguintes questões: Aspectos econômicos do setor florestal e da silvicultura no Brasil e no Rio Grande do Sul, a evolução da silvicultura na legislação, sensoriamento remoto e resposta espectral dos alvos com ênfase na vegetação.

2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DO SETOR FLORESTAL E DA SILVICULTURA NO BRASIL E NO RIO GRANDE DO SUL

O setor da base florestal tem expandido significativamente nos últimos anos no país, fato que ocasionou um aumento no número de produtos e indústrias nesse setor. A cadeia produtiva é constituída de três segmentos (Figura 1): a madeira industrial que é composta de celulose e papel e painéis de madeira reconstituída, o processamento da madeira que são gerados os serrados e compensados e a madeira para geração de energia que é lenha, carvão vegetal (VALVERDE *et al.*, 2019).

Cabe ressaltar que há diversos produtos derivados da madeira, que inclui a elaboração de alimentos, bebidas, plantas medicinais e extratos, além da produção de farelos e forragem para pastagens. No entanto, a produção de celulose e papel é o pujante para o crescimento desse setor no mercado internacional (VALVERDE *et al.*, 2019).

Figura 1 - Fluxograma da cadeia produtiva da madeira.



Fonte: Adaptado de (POLZL *et al.*, 2003).

O setor florestal adotou durante algum tempo uma forma mais severa para o desenvolvimento rural, ou seja, não buscava mitigar os impactos ambientais. Quando começou a preocupação com as questões ambientais esse padrão foi deixado de lado e passaram adotar um novo modelo para o setor. Esse modelo buscou analisar e estipular formas mais sustentáveis aos recursos naturais, e conseqüentemente, permitir um progresso ambiental, social e econômico para o país (TEIXEIRA, 2016).

Em vista disso, a criação da política de incentivos fiscais para o reflorestamento pelo governo nos anos 60, fez com que as empresas do setor florestal investissem o capital em regiões propícias para o plantio. Todavia, no Brasil entre os anos de 1990 e 2000, ocorreu um alto índice de desmatamento, que ocasionou uma perda de 22 milhões de hectares. Na região da Amazônia Legal que consiste em planejar e promover o desenvolvimento social e econômico dos estados da região amazônica teve uma redução de 44,9 milhões entre 1975 a 1999 períodos, em que o desmatamento se intensificou (INPE, 2000).

Conforme o IBA (2017), a área plantada de reflorestamento corresponde a 7,84 milhões de hectares, sendo responsável por 91% de toda a madeira reservada para fins industriais e 6,2% do PIB industrial para o país. Com isso, torna-se um segmento de alto potencial para a construção da economia verde.

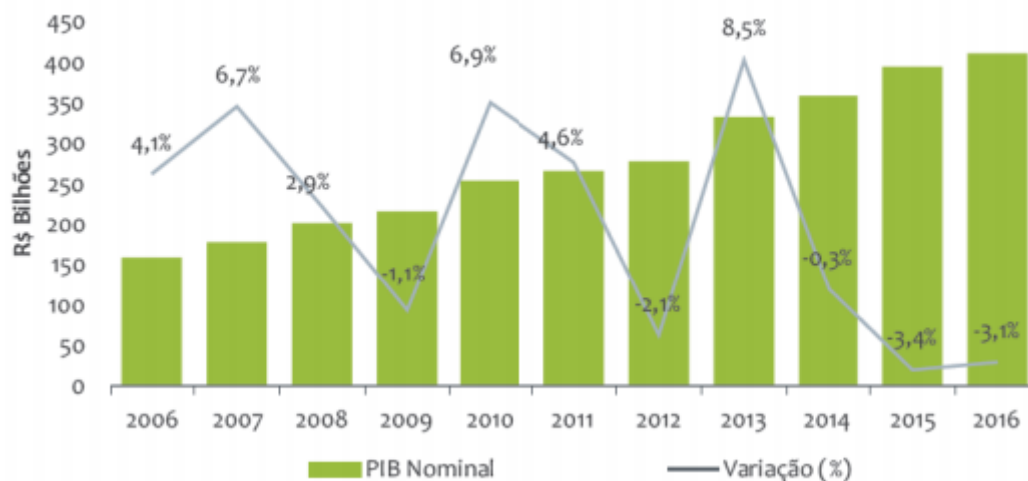
A crise econômica e a instabilidade política que afetou o país no ano de 2016 também causaram impactos no setor florestal. O Produto Interno Bruto (PIB) sofreu uma queda drástica na história, ambas de 3,5% para os anos de 2015 e 2016, conseqüentemente, resultado das ocorrências políticas dos dois últimos anos. Já em 2017 houve um crescimento de 1% em relação ao ano anterior, fechando um PIB de R\$ 6,6 trilhões em 2017 (LIS; AMARAL 2017; IBGE, 2018).

Segundo o IBGE (2018), os resultados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS) apontam crescimento econômico no setor de silvicultura pelo segundo ano consecutivo, os produtos de origem desta atividade atingiram R\$ 14,8 bilhões para o ano de 2017. O Brasil apresenta altos índices de biomassa florestal oriundas de áreas plantadas, destaca-se no mercado internacional de papel e celulose, tendo em vista que grande parte da produção é exportada para fora do país.

No Rio Grande do Sul as espécies plantadas para a indústria são *Eucalyptus*, *Acácia* e *Pinus*, a partir delas que as cadeias produtivas elaboram diversos produtos. Essas florestas plantadas no estado apresentam 780,9 mil hectares que corresponde 2,7% dos 28,2 milhões de hectares de todo RS (AGEFLOR, 2017).

Segundo dados da AGEFLOR (2017), verificou-se um crescimento na economia e aumento do PIB no Rio Grande do Sul, atingiu 410,276 bilhões de reais de PIB para o ano de 2016 (Figura 2).

Figura 2 - Evolução do PIB e o crescimento da economia.



Fonte: AGEFLOR (2017).

Nesta perspectiva, os dados da indústria de base florestal no Rio Grande do Sul apontam que as indústrias da cadeia florestal para o estado representam 2,3 mil empresas que trabalham com produtos derivados de madeira. Atuando principalmente nas cidades de Bento Gonçalves e Lagoa Vermelha, também conhecida como polos moveleiros. No entorno da região metropolitana de Porto Alegre, encontram-se as indústrias voltadas para produção de painéis de madeira e celulose (AGEFLOR, 2016).

Para o ano de 2019, segundo os dados do estudo “Conjuntura e comércio externo do setor de móveis no Brasil” a produção industrial moveleira cresceu 3,5% referente ao primeiro semestre de 2019 no Rio Grande do Sul, no comparativo ao mesmo período de 2018. Ainda de acordo com o mesmo estudo, o setor registrou maior crescimento no RS do que no país, a retração foi de -1,2% no primeiro semestre do ano.

2.2 A EVOLUÇÃO DA SILVICULTURA E A LEGISLAÇÃO

As primeiras espécies plantadas de eucaliptos no mundo surgiram no início do séc. XVIII em países da Europa, Ásia e África. Em meados do séc. XIX começou a surgir plantações em países da América do Sul. No Brasil, as primeiras mudas de eucaliptos

surgiram em 1903, destinadas à produção de madeiras para construção de rodovias, neste período a região Sul do país era predominantemente dominada pela pecuária (PEREIRA, 2010).

De acordo com Sampaio e Boeckel (2000) a silvicultura no Brasil passou por três fases no período de implementação. A primeira fase foi à introdução da cultura de eucalipto, a fim de minimizar os problemas de combustível, madeiras e postes, além de ser de grande importância para as construções.

A segunda fase é caracterizada pela ampliação da silvicultura no período de 1966 a 1988 com apoio dos incentivos fiscais do governo para gerar mais empregos no setor. Para última fase teve destaque a renovação das empresas em relação ao plantio florestal, com a finalidade de incentivar a exploração das pequenas e médias propriedades (SAMPAIO; BOECKEL, 2000).

Além disso, as inserções das leis de incentivo florestal como a criação do Código Florestal sob a lei 4.771 de 15 de setembro de 1965 e a lei 5.106 de 1966 que serviram para ampliar o processo de reflorestamento.

A criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) por meio da Lei 289, de 28 de janeiro de 1967 teve a finalidade de cumprir a política florestal, na qual estabelecia uma comissão de política cuja função é apresentar diretrizes sobre a política florestal brasileira; conduzir os mecanismos para execução e controle das políticas florestais e de proteção dos recursos naturais; e sistematizar as políticas do IBDF com os programas do governo.

A política florestal sofreu muitas alterações, dentre elas está à lei nº 1.134, de 16 de novembro de 1970 cujo propósito era ampliar consideravelmente os recursos aplicados no setor (BRASIL, 1970). E também, a lei 1.376 de 12 de dezembro 1974 que criou o fundo de Investimento Setorial (FISSET), que compreendia a área de reflorestamento, turismo e pesca.

A partir da década de 80, a população começou a manifestar preocupação com questões ambientais. Por consequência, nesse período houve a criação da Política Nacional de Meio Ambiente, lei nº 6.938 de 31, de agosto de 1981. Com base nessa lei foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), desenvolvido para representar, estudar e propor decisões quanto às políticas governamentais para exploração e preservação dos recursos naturais.

Neste sentido, no ano de 2008 foi criado o decreto nº 6.514, no qual dispõe sobre as infrações e sanções administrativas como, por exemplo, a averbação de área de Reserva

Legal, prevê o Código Florestal Brasileiro, podendo ocasionar em multas, advertências e outras providências (BRASIL, 2008).

No ano de 2012 foi instituído o “Novo Código Florestal” que gerou vários debates sobre o assunto e quando aprovado foi vetado vários artigos. A lei estabelece normas para a preservação da vegetação, Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), exploração de recursos florestais, controle e prevenção de incêndios e controle de produtos gerados a partir de matéria florestal (BRASIL, 2012).

Com o intuito de desenvolver o setor no ano de 2014 foi criada a Política Agrícola para Florestas Plantadas pelo Decreto nº 8.375 de 11 de dezembro, que estabeleceu “os princípios e os objetivos da Política Agrícola para Florestas Plantadas relativamente às atividades de produção, processamento e comercialização dos produtos, subprodutos, derivados, serviços e insumos relativos às florestas plantadas”. Tal política não se aplica a APP (área de preservação permanente) e RL (reserva legal) (BRASIL, 2014).

Gonçalves (2014) aponta que a implementação da política agrícola com as florestas plantadas permitiu ao setor benefícios como o acesso ao crédito rural aos produtores. O crédito rural é um benefício para o produtor rural investir no campo, auxilia e estimula a produtividade de plantios e busca qualidade e inovação. Além disso, apoia o reflorestamento, recuperação e Uso Sustentável das Florestas (CFI, 2015).

Sobretudo, essas leis foram fundamentais para que ocorresse um grande incentivo na silvicultura no Brasil (BARCELOS, 2010). Conforme o Anuário Brasileiro da Silvicultura no ano de 2016, o Brasil supera os 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas. Anualmente, ocorre um acréscimo no número de plantios florestais, principalmente a espécie de eucalipto, que representa 5,56 milhões de hectares do território em florestas plantadas, correspondente a 71,9% das florestas brasileiras.

Neste cenário, percebe-se um crescente aumento na produção da espécie de eucalipto passando de 3.862.546 hectares em 2006 para 5.558.653 hectares em 2014 (Tabela 1). Enquanto, em plantios de pinus houve um decréscimo de 1.886.286 hectares em 2006 para 1.588.997 hectares em 2014, e outras espécies que aumentaram a partir do ano 2010, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Espécies mais cultivadas em áreas de silvicultura no Brasil.

Ano	Eucalipto	Pinus	Outros
2006	3.862.546	1.886.286	-
2007	4.078.168	1.874.656	-
2008	4.456.069	1.832.320	-
2009	4.658.924	1.794.720	-
2010	4.900.949	1.756.359	462.390
2011	5.049.714	1.641.892	489.282
2012	5.304.164	1.562.782	521.131
2013	5.473.176	1.570.146	557.653
2014	5.558.653	1.588.997	588.521
Total 7,7 milhões de hectares			

Fonte: Adaptado do Anuário Brasileiro da Silvicultura (2016).

Acrescentando-se que, segundo o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (2019) as áreas plantadas no Brasil atingiram 7,83 milhões de hectares em 2018, mantendo-se estável em relação ao ano anterior. Desta maneira, as áreas de plantios de eucalipto apoderam-se de 5,7 milhões de hectares, em contrapartida, os cultivos de pinus representam 1,6 milhões de hectares. Assim, verifica-se avanço significativo nas áreas plantadas de florestas, que torna seu potencial internacional maior, elencando-se o Brasil um dos países que mais exporta celulose no mundo.

Ademais, outro motivo que impulsionou a crescente demanda da base florestal na região Sul do país foram às boas condições climáticas, propícias para reflorestamento e os baixos custos de produção. Desta forma, a região ganhou destaque em produtividade, atendendo a demanda do mercado (BRDE, 2003).

Suertegaray e Silva (2009) apontam que os aspectos econômicos do Rio Grande do Sul para o ano de 2005 viabilizaram o avanço da silvicultura no estado, situação que ocasiona uma mudança política e econômica na metade sul, modificando a atividade pastoril em produção de madeira e celulose por grandes empresas investidoras de capital internacional.

Diante disso, surge a preocupação ecológica sob a conservação das espécies nativas do Bioma Pampa. Sendo necessária uma proposta para construção de instrumento de gestão, chamado Zoneamento Ambiental (SUERTEGARAY; SILVA, 2009). Com base na resolução nº 084/2004 a atividade de silvicultura passou a integrar no sistema de licenciamento e estabelecer os potenciais poluidores do empreendimento.

Desta forma, a resolução nº 187 de 2008, aprova o zoneamento ambiental da silvicultura (ZAS), implementado como um instrumento de gestão para avaliar as áreas ambientais fragilizadas com a expansão da silvicultura. E também, estabelece diretrizes para desenvolver a produção dentro dos limites estipulados com base nas diretrizes de uso da Unidade de Paisagem Natural (UPN).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O termo “sensoriamento remoto” comporta tecnologias e princípios complexos a serem estudados em distintos campos de conhecimento. Tornaram-se primordiais na aquisição de dados e informações, fornecem dados repetitivos e consistentes da superfície terrestre para diversas finalidades bem como aplicações em áreas urbanas, agrícolas, geológicas, ecológicas, florestais, cartográficas, oceanográficas, hidrológicas, limnológicas, fins militares e outras (NOVO, 2010).

Segundo Meneses e Neto (2001) o sensoriamento remoto é uma das tecnologias que tem contribuído e incentivado o avanço de estudos sobre como a vegetação realiza o processo de radiação eletromagnética. Essa tecnologia permite mapear grandes áreas da superfície terrestre, a fim de, monitorar, fiscalizar e identificar alterações no uso e cobertura da terra.

Para Novo (2010) o desenvolvimento de novas tecnologias e sensores mais avançados com mais sensibilidade, transmissão de dados, estações de recepção, novos métodos radiométricos, resoluções (espaciais, temporais, espectrais e radiométrica) exigem aos usuários compreender os processos físicos, químicos e biológicos que envolvem a interação entre a energia e a matéria.

Meneses e Almeida (2012) apontam o sensoriamento remoto como uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre, sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto. As análises ambientais realizadas da superfície por meio do sensoriamento remoto dependem fundamentalmente da interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) com o alvo e os fatores que influenciam no momento de aquisição dos dados.

Em vista disso, é importante salientar que a energia obtida é representada pelo espectro eletromagnético formado por diferentes comprimentos de ondas em cada região espectral. Dentre as faixas mais utilizadas para estudos ambientais estão às regiões do visível (0,38 e 0,72 μm) e infravermelho próximo e médio (0,72 e 3,0 μm) (FLORENZANO, 2002).

De acordo com Jensen (2011) é necessário compreender o processo, no qual a energia eletromagnética se propaga no espaço e como interage com a matéria. Uma vez gerada, a

radiação eletromagnética ela é propagada por meio da atmosfera terrestre, em velocidade da luz. Entretanto, ao percorrer a atmosfera ela pode sofrer interferências do meio de propagação, e haverá alterações na velocidade da radiação, mas também, no seu comprimento de onda, intensidade e sua distribuição espacial.

O processo realizado para distinguir o comportamento espectral dos alvos em uma imagem é chamado de radiométrica espectral, definida como a medida quantitativa da intensidade de radiação. No sensoriamento remoto, existem medidas radiométricas fundamentais a serem compreendidas são elas: a irradiância, radiância, absortância, reflectância e a transmitância (NOVO, 2010).

A irradiância é a quantidade de fluxo radiante incidente sobre uma superfície. A radiância é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada em direção própria, à medida de radiância é considerada a mais precisa dentre as medidas radiométricas (JENSEN, 2011).

Conforme Jensen (2011), o momento que o fluxo radiante interage com a superfície da terrestre é primordial, tendo em vista que, quando sua energia incide sobre um alvo ela pode interagir das seguintes formas: reflectância, absortância e transmitância. A reflectância é razão entre o fluxo radiante refletido por uma superfície e o fluxo radiante incidente. A absortância é a razão entre o fluxo de energia absorvido e a energia incidente em uma dada superfície. A transmitância é a razão entre o fluxo radiante transmitido e o fluxo incidente em superfície.

A radiação eletromagnética propaga-se no meio atmosférico, no entanto, a radiação ao encontrar partículas de diferentes densidades altera seu fluxo para todas as direções, esse processo é denominado espalhamento atmosférico (FLORENZANO, 2002).

Os sensores detectam a radiação eletromagnética emitida pelos objetos na superfície terrestre e transformam essa informação em imagens de satélites que são utilizadas para estudar as mudanças do planeta em diferentes escalas de tempo e espaço (SOUZA, 2010).

Nesse contexto, um exemplo da importância do sensoriamento remoto nos estudos ambientais é o trabalho de Lossou (2019) sobre o monitoramento de mudanças na cobertura do solo nas florestas tropicais altas, usando técnicas de sensoriamento remoto multitemporal e análise espacial demonstra como podem ser utilizados os dados provenientes de sensores remotos. Desta forma, verifica-se o quão importante esta ferramenta para analisar e comparar dados espaciais. E assim, obter precisão e concordância nos resultados para tomadas de decisões sobre diversas informações.

2.3.1 Comportamento espectral da vegetação

A resposta espectral é o estudo para identificar a reflectância espectral dos alvos ou objetos da superfície, tal como água, solo, vegetação e minerais. É o processo de interação entre a radiação eletromagnética com as substâncias da dimensão terrestre.

A percepção sobre a resposta espectral é relevante não somente para extrair informações dos objetos de interesse, mas também, é importante na construção de novos sensores, devido aos fatores que interferem diretamente em princípios de geometria de coleta de dados, altura do imageamento, resolução, frequência (NOVO, 2010).

Desta maneira, as assinaturas espectrais se caracterizam pela intensidade que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda, pode ser absorvida, refletida ou transmitida. De modo geral, a energia absorvida pelo alvo é transformada em calor ou em outro tipo de energia. A energia radiante é refletida na superfície quando atinge o objeto e espalha pelo ambiente. Enquanto, a energia radiante é transmitida através da superfície, no caso de objetos transparentes (STEFFEN, 2019).

Neste sentido, salienta-se que a quantidade de clorofila nas folhas representa o processo de fotossíntese, resultante da capacidade das plantas em armazenar energia pela incidência de luz. Esse processo fotossintético começa quando os cloroplastos (corpos existentes nas folhas) produzem a substância chamada de clorofila. Assim, a interação entre a vegetação e a luz estimula a resposta espectral da vegetação (JENSEN, 2011).

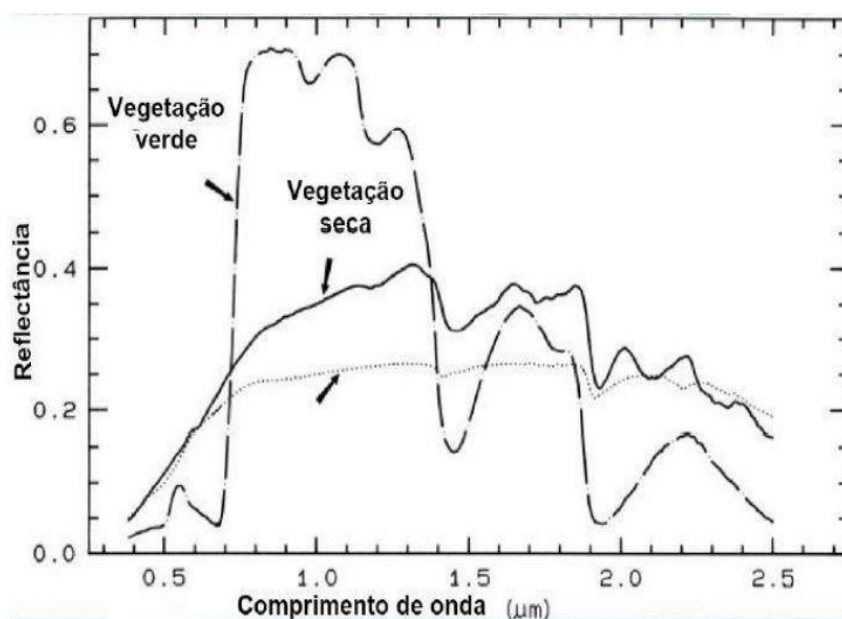
O comportamento espectral dos alvos varia de acordo com o comprimento de onda e a reflectância nas diferentes regiões visível, infravermelho próximo e médio. A absorção pela clorofila ocorre na região do visível (0,4 μ m a 0,72 μ m) com uma baixa reflectância em função dos pigmentos da folha (PONZONI *et al.*, 2012).

No infravermelho próximo a absorção é baixa e a reflectância é elevada, em decorrência da interação da energia incidente nas folhas das plantas, todavia, a reflectância pode variar conforme a estrutura interna da folha, maior espalhamento nos tecidos internos causa maior reflectância. Acresce que, no infravermelho médio a absorção se dá pela quantidade de água absorvida pelas folhas (NOVO, 2010).

Diante disso, há uma distinção entre a resposta espectral da vegetação em estados diferentes. Por exemplo, a vegetação verde e sadia apresenta uma resposta clivosa entre a região do vermelho e infravermelho próximo, enquanto a vegetação com estresse indica uma mudança de direção em menores comprimentos de onda (Figura 3). Na prática, a resposta

espectral da folha, entretanto, as medidas de comportamento espectral variam de acordo com a forma e estrutura do dossel (NOVO, 2010).

Figura 3 - Resposta espectral da vegetação verde e seca, nas regiões do visível, infravermelho próximo e médio.

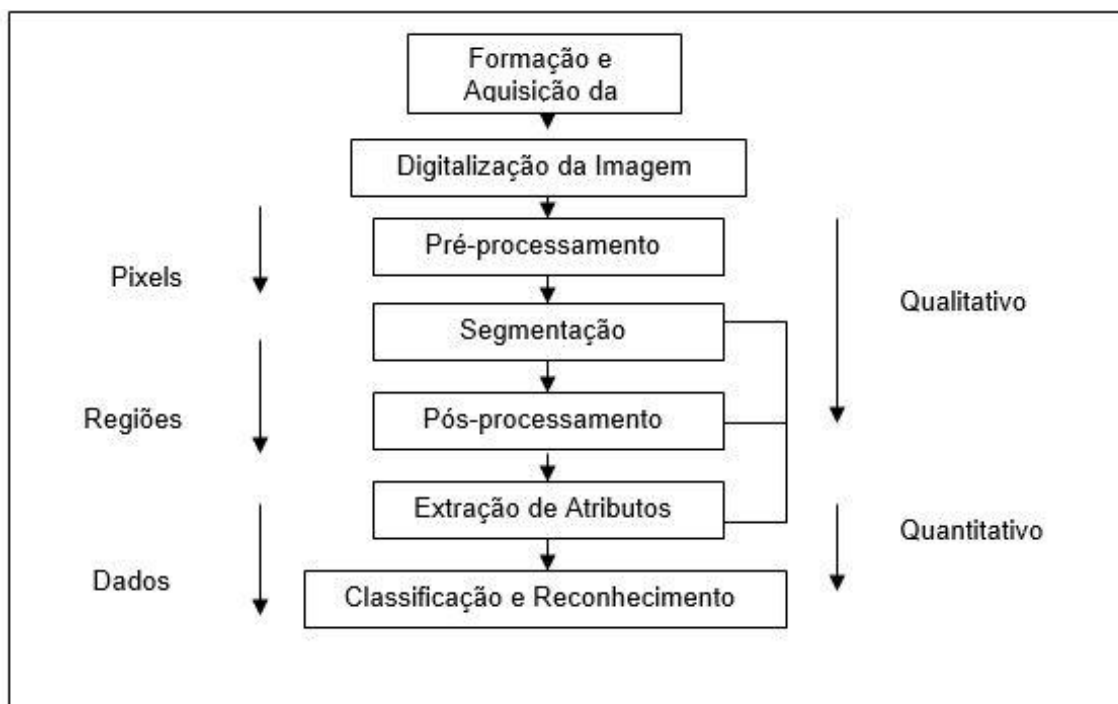


Fonte: NOVO (2010).

2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O Processamento Digital de Imagens (PDI) é formado por um conjunto de processos interconectados entre si. As etapas são constituídas (Figura 4) basicamente pela formação e aquisição da imagem, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos, classificação e reconhecimento (ESQUEF; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2003).

Figura 4 - Etapas de um sistema de PDI.



Fonte: Adaptado de Esquef (2003).

Inicialmente, o elemento primário deste procedimento é a aquisição das imagens através de um equipamento sensível ao espectro eletromagnético. Uma vez adquirida a imagem é realizado o pré-processamento, no qual são técnicas para melhorar a qualidade da imagem bem como os ruídos introduzidos pelos sensores e a correção de distorções geométricas causadas pelo sensor (QUEIROZ e GOMES, 2001).

A segmentação é composta pela obtenção das regiões de interesse para posterior processamento e análise. Portanto, é imprescindível atenção neste processo, qualquer erro ou distorção nesta etapa refletem nas demais e conseqüentemente, altera os resultados e a eficiência de todo o processamento das informações (ESQUEF; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2003).

O pós-processamento fase decorrente a segmentação é etapa para corrigir os principais defeitos e imperfeições. Geralmente, os efeitos são corrigidos por técnicas de morfologia matemática com aplicação de filtros que realizam análise quantitativa dos pixels da imagem (ESQUEF; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2003).

A etapa seguinte ao pós-processamento, a extração de atributos serve para discriminar os objetos com valores espectrais semelhantes. Assim, é necessário realizar a extração e seleção de atributos para obter bons resultados na fase de classificação, em virtude de que, é

gerado um conjunto de atributos que será utilizado no treinamento e classificação (OLIVEIRA, *et al.*, 2009).

Conforme Queiroz e Gomes (2001) a classificação tem como objetivo identificar, analisar e inferir a compatibilidade das características espectrais e representações dos objetos adquiridas em fases que antecede a classificação. Segundo Korting (2006) a classificação é a técnica de extração de informação em imagens de sensores remotos para detecção de objetos homogêneos.

2.5 SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO

Atualmente, os sensores remotos têm sido bastante utilizados para aquisição de informações na superfície da Terra, conhecidos como “sistema de sensoriamento remoto” são instrumentos para a coleta de dados. Dentre os principais satélites do Brasil e suas aplicações estão representados pelo Landsat, o programa EOS que é constituído de satélites como o MODIS, ASTER e o CBERS.

O CBERS (*China Brazil Earth Resources Satellite*) programa criado de uma parceria entre o Brasil por meio do INPE (*Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais*) e a China através da CAST (*Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia*). Suas principais características estão a resolução espacial de 20 m, *resolução* temporal de 26 dias, faixa de imageamento de 113 km, com três sensores a bordo: CCD (*charge-coupled device*, dispositivo de cargas acopladas), o imageador por varredura mecânica IRMSS (*infrared multispectral scanner system*, sistema varredor multiespectral de infravermelho), e a câmera WFI (*wide field imager*, imageador de grande campo de visada) (INPE, 2018)

O programa EOS (*Earth Observing System, Sistema de Observação da Terra*) que permite a comunidade científica observar a Terra por mais de uma década. É um programa que abrange diversos países, satélites e sensores, os mais conhecidos são o MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, Espectrorradiômetro de Imageamento de Moderada Resolução*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Radiômetro Espacial Avançado de Emissão Termal e Reflexão*) (EMBRAPA, 2019). Adiante, verifica-se uma abordagem sobre os satélites LANDSAT e MODIS utilizados para este estudo.

2.5.1 LANDSAT

O programa LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) é o mais antigo entre os satélites que faz o recobrimento de imagens da superfície terrestre. A série iniciou seus lançamentos na década de 60, com o propósito de observação dos recursos naturais. A partir disso, foram lançados os satélites da série Landsat composta por 8 satélites.

Os primeiros satélites Landsat 1, 2 e 3 compartilharam dos mesmos tipos de sensores: RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner Subsystem*). Os Landsat 4 e 5 os sensores foram MSS e TM (*Thematic Mapper*), o Landsat 5, lançado em 1984 com o sensor TM e resolução de 30m tornou-se um dos satélites da série que ficou mais tempo em atividade, realizou o recobrimento de toda superfície da Terra, embora tenha encerrado sua atividade no ano de 2011, até os dias atuais, os dados são utilizados em séries temporais.

Apesar do sucesso nos lançamentos, o satélite 6 falhou na operação e o Landsat 7 lançado com algumas restrições utilizava o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). O último satélite lançado até o momento é o Landsat 8 com especificações diferentes dos demais (INPE, 2019).

O Landsat - 8 lançado em 2013 distinto dos anteriores, em virtude de conter os sensores OLI (*Operational Land Imager*) com 9 bandas espectrais, resolução espacial de 30m, incluindo uma pancromática de 15m e TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*) sua resolução espacial é de 100m reamostrada para 30 m. Além disso, todos os sensores da série são multiespectrais e o sensor Landsat 8 as imagens são ortorretificadas (NOVO, 2010; JENSEN, 2011; INPE, 2019). No quadro 3 pode-se observar algumas características desses satélites.

Quadro 1 - Cronologia de lançamentos e fim de operação dos Satélites Landsat.

Satélite	LANDSAT 5	LANDSAT 8
Lançamento	01/03/1984	11/02/2013
Situação	INATIVO 22/11/2011	ATIVO
Órbita	Polar, heliossíncrona	Circular
Altitude	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°
Tempo de duração da Órbita	99 min	99 min
Horário de Passagem	9:45 AM	1:40 PM
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Tempo de vida projetado	3 anos	5 anos
Instrumentos sensores	MMS e TM	OLI e TIRS

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2013).

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e o USGS (*United States Geological Survey*) darão continuidade ao programa e pretendem realizar o lançamento do Landsat 9 em setembro de 2021. Atualmente, o planeta está sofrendo expressivas alterações de sua cobertura vegetal em função atividades antrópicas. Em decorrência, desses acontecimentos é necessário monitorar, controlar e mapear a superfície terrestre. Desta forma, o lançamento de um novo satélite para a missão, permite novas possibilidades de observações da Terra com melhores sensores e resoluções para obter as imagens orbitais (NASA, 2017).

Portanto, o sensoriamento remoto é uma ferramenta de vasto potencial para monitorar os recursos naturais e tem auxiliado em muitos estudos e pesquisas para diversas aplicações. Seja no ramo da geologia, recursos hídricos, uso e cobertura da terra, monitoramento de desastres, aplicações urbanas e planejamento territorial. Tal ferramenta apoiada aos Sistemas de Informações Geográficas é um instrumento precioso para obter resultados sobre os problemas ambientais.

2.5.2 Sensor MODIS

O sensoriamento remoto é uma tecnologia largamente utilizada atualmente para levantamentos da superfície terrestre em escala global e periódica, auxiliando efetivamente o monitoramento das mudanças das feições terrestres (MENESES *et al.*, 2012).

As mudanças globais surgem e também a preocupação de obter estudos da vegetação em grandes escalas para compreender os processos que modificam as propriedades biofísicas e espaço-temporal, as imagens de sensores com resoluções baixas e médias como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) permitem avaliar a dimensão dos efeitos e impactos que ocasionam em perdas ambientais na vegetação (JUSTICE *et al.*, 1998; HUETE *et al.*, 2002; JACQUIN *et al.*, 2010).

O sensor MODIS foi desenvolvido pela *Goddard Earth Sciences* (GES) lançado a bordo do satélite Terra, em dezembro de 1999 e a bordo do satélite Aqua em maio de 2002. Os satélites americanos pertencem ao Programa EOS (*Earth Observing System*) e são bastante utilizados para o mapeamento e o monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra. A resolução espacial varia entre de 250 m (banda 1-2), 500 m (bandas 3-7) e 1000 m (banda 8-36). Sua resolução temporal permite obter dados da superfície da terra em 1 ou 2 dias com 36 bandas espectrais com uma variação de comprimento de ondas entre 0,4 a 14,4

μm (MOREIRA, 2003). O MODIS também disponibiliza os índices de vegetação NDVI e EVI, com resolução temporal de 16 dias e com resolução espacial de 250 m (HUETE *et al.*, 2002).

Liesenberg *et al.* (2007) aponta que a alta qualidade na resolução temporal do sensor MODIS é um fator relevante para estudos fenológicos e discriminação espectral que permite analisar os ciclos sazonais da vegetação de forma mais detalhada, principalmente nos biomas com alta sazonalidade.

Cabe ressaltar que, o sensor dispõe de produtos com correção dos efeitos atmosféricos tais como nuvens, aerossóis e dados georreferenciados. Além disso, apresenta alta qualidade geométrica das imagens e dados no formato *readito-use*, isto é, com todas as correções realizadas (SOARES *et al.*, 2007; FERREIRA *et al.*, 2007; CARVALHO JÚNIOR. *et al.*, 2008).

As principais informações relativas os satélites das plataformas TERRA e AQUA estão sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2 - Especificações do sensor MODIS.

Parâmetros	Especificações
Órbita	705 km, sol síncrona, polar; cruzamento equatorial às 10:30 A.M descendente (TERRA); cruzamento equatorial à 1:30 P.M ascendente (AQUA).
Resolução Espectral	0,4 – 14,4 μm
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas), a nadir
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, < 3 μm ; 1% Absoluto, > 3 μm ; 2% de reflectância.
Cobertura de repetição	Diária, para latitudes > 30° e a cada dois dias, para latitudes < 30°.
Quantização	12 bits

Fonte: Adaptado de Anderson *et al.* (2003).

O sensor MODIS atua em várias faixas do espectro eletromagnético, as ondas variam entre 0,4 a 14,4 μm , em 36 bandas. As primeiras 1 a 7, que atuam entre 0,405 μm e 2,155 μm permitem realizar estudos de observação do planeta Terra, nuvens, aerossóis, oceanos e vapor d'água atmosférico, as outras bandas operam na região do termal e apenas a banda 26 atua na faixa do infravermelho próximo. A seguir no quadro 3, verifica-se as bandas (MOD) específicas para estudos relacionados a vegetação.

Quadro 3 - Produtos MODIS e potenciais de uso.

Produto	Descrição
MOD09	Reflectância de superfície
MOD11	Temperatura de superfície e emissividade
MOD12	Cobertura da terra/ mudança da cobertura da Terra
MOD13	Grades de índice de vegetação – máximo NDVI e MVI integrado
MOD14	Anomalias termais, fogo e queima de biomassa
MOD15	Índice de área foliar e fração de radiação fotossinteticamente ativa
MOD16	Evapotranspiração
MOD17	Fotossíntese líquida e produtividade primária
MOD43	BRDF - Função de distribuição de reflectância bidirecional/ albedo
MOD4	Mudança de cobertura vegetal

Fonte: Latorre *et al.* (2007).

Neste contexto, o foco em estudos direcionados com o MODIS para vegetação encontra-se o MOD 13, no qual apresenta os produtos relativos aos índices de vegetação NDVI e EVI. Enquanto o NDVI é sensível à clorofila, o EVI é mais sensível às variações de resposta estrutural dos alvos, incluindo o índice de área foliar (LAI), a fisionomia da planta e arquitetura do dossel (HUETE *et al.*, 2002)

Percebe-se, portanto, que esses produtos contribuem para confrontar dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, e desta forma, monitorar a atividade fotossintética da vegetação, dando aporte para identificar variações biofísicas e fisiológicas (LATORRE *et al.*, 2003).

À vista disso, os principais objetivos é gerar índices de vegetação em imageamento sem nuvens; maximizar a cobertura temporal na resolução espacial mais fina possível; padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo; assegurar a qualidade e consistência dos dados; descrever e reconstruir dados de variações fenológicas e discriminar com precisão as variações interanuais da vegetação.

2.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação (IVs) surgiram com propósito de observar as características espectrais da vegetação, principalmente na região do visível e do infravermelho próximo. Esses índices permitem demonstrar a resposta espectral para distintos alvos correlacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, tal como a biomassa e índice de área foliar, reduzindo os impactos sobre a iluminação na imagem, declividade da superfície e geometria de aquisição que intervêm nos valores de reflectância obtidos da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Existem muitos índices de vegetação conforme é destacado por Jensen (2011, p. 386), que descreve alguns deles como: Razão Simples (SR), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Umidade por Diferença Normalizada (IDMI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera (ARVI), Índice de Vegetação Realçado (EVI), Novo Índice de Vegetação (NVI), Índice de Vegetação Livre de Aerossol (AFRI), Índice de Vegetação Triangular (TVI).

Os dados obtidos a partir do sensoriamento remoto têm sido fundamentais para discriminar o comportamento de alvos. Desta forma, a aplicação dos índices sobre uma imagem, o usuário pode-se ter diversas informações por meio da combinação de bandas para realçar a região de interesse (GALVÃO *et al.*, 2018).

Um dos índices mais utilizados é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e está relacionado o quão verde são as folhas (pigmentação) e as características da vegetação (ROUSE *et al.*, 1973; GOODEUNOUGH *et al.*, 2006; MENESES *et al.*, 2012; GALVÃO *et al.*, 2018).

O NDVI é expresso pela fórmula:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

Onde:

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

ρ_{NIR} : Reflectância da Banda do infravermelho próximo

ρ_{RED} : Reflectância da Banda do vermelho

O NDVI é significativo para monitorar a mudança da vegetação e realizar comparações em diferentes perfis sazonais e interanuais. No caso do perfil temporal é possível observar atividades sazonais e fenológicas, acompanhar o período de crescimento da planta, período mais verde da folha, as mudanças fisiológicas das folhas e o processo metabólico de envelhecimento da planta. E ainda, consegue reduzir os níveis de ruídos das imagens de datas e bandas distintas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010; JENSEN, 2011).

Por outro lado, Wang *et al.*, (2005) aponta como desvantagem a correlação entre NDVI *versus* IAF, uma vez que quando se obtém altos valores de IAF, pode existir uma alta saturação no NDVI.

O *Enhanced Vegetation Index* (EVI - Índice de Vegetação Melhorado) possibilita a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação. E também, identifica as regiões mais sensíveis a grandes quantidades de densidade de biomassa proporcionando melhores resultados quanto à interferência do solo e a atmosfera sobre a resposta espectral do dossel (HUETE *et al.*, 1997; JUSTICE *et al.*, 1998).

O “*MODIS Land Discipline Group*” desenvolveu o Índice de Vegetação Realçado (EVI) para uso com dados do sensor MODIS (JENSEN, 2011). E é calculado da seguinte forma:

$$EVI = G \frac{\rho * NIR - \rho * RED}{\rho * NIR + C1\rho * RED + C2\rho * BLUE + L} (1 + L)$$

Onde:

EVI: *Enhanced Vegetation Index*

ρ NIR: Reflectância da Banda do infravermelho próximo

ρ RED: Reflectância da Banda do vermelho

C: coeficientes para correção da banda vermelha

L: Fator de ajuste para o substrato do dossel

G: é o fator de ganho

O EVI foi adaptado com base no NDVI, sendo modificados para conter um fator ajustado ao solo (L), os coeficientes (C), *que* representa a correção da banda do vermelho ao espalhamento e o (G) é um fator de ganho ajustado com valor de 2,5. Em regiões que se destaca por grandes estoques de biomassa, o uso do algoritmo permite reduzir as interferências atmosféricas (JENSEN, 2011).

Nesta abordagem, pode citar os seguintes estudos elaborados que utilizam os índices de vegetação. Por exemplo, Rosendo (2005) que aplicou o índice de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari - MG - utilizando dados do sensor MODIS.

Alvares *et al.*, (2013) realizou a caracterização da dinâmica dos índices de vegetação NDVI e EVI em plantações de Pinus do Brasil. Cabe ressaltar ainda, Huete (2002), em seu trabalho intitulado “*Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*”, o estudo apresenta uma análise inicial do desempenho do MODIS NDVI e EVI sob as perspectivas radiométrica e biofísica, utilizando uma combinação de abordagens intensivas em locais e regionalmente extensas para demonstrar o desempenho e a validade dos dois índices.

Além disto, o estudo de Velasco *et al.*, (2007) aplicação do índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation index*) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 RIO GRANDE DO SUL

O Rio Grande do Sul localiza-se no sul do País, faz limite ao norte com Santa Catarina, a Leste com o Oceano Atlântico, ao sul com o Uruguai e ao oeste com a Argentina. De acordo com dados do IBGE (2010) a população é 10.693.929 habitantes com uma área de 281.707,151 Km².

Quanto à rede de drenagem pode ser dividida em três regiões hidrográficas que compreendem a Bacia do Rio Uruguai, a Bacia do Guaíba e a Região Hidrográfica do litoral. Destacam-se vários rios como o Uruguai, Ijuí, Jacuí, Caí, Taquari, Ibicuí, Pelotas, Camaquã e Sinos. Além disso, a Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim, Rio das Antas, Rio Santa Maria, Rio Piratini, Represa Passo Real e Lagoa Mangureira (SEMA, 2019).

Segundo Rossato (2011), o clima do RS é subtropical sendo dividido em quatro tipos climáticos:

- Subtropical I - pouco úmido com inverno frio e verão fresco (a) e pouco úmido com inverno frio e verão quente (b);
- Subtropical II – medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas;
- Subtropical III – úmido com variação longitudinal das temperaturas médias;
- Subtropical IV – muito úmido com inverno fresco e verão quente (a) e muito úmido com inverno frio e verão fresco (b).

Conforme Streck *et al.* (2002) aponta que o estado apresenta uma variedade nos tipos de solos³ devido as formações geológicas e climáticas. Eles são classificados em Alissolos, Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plinossolos e Vertissolos.

A vegetação do RS é classificada em florestal ou não florestal. A florestal é aquela considerada ombrófila ou estacional arbóreo ocasionado pelo clima da região. As demais são classificadas em não florestal que não conseguem desenvolver devido ao clima, também conhecidas como vegetação xeromorfa, xerofítica e formações pioneiras.

Segundo Cordeiro e Hasenack (2009) formação vegetal compreende as seguintes regiões fitogeográficas: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Estépica, Estepe, área de

³ Estudos de solos do Rio Grande do Sul (Streck et al., 2002) do Departamento de Solos da UFRGS.

Formações Pioneiras, Área de Tensão Ecológica Savana Estépica – Floresta Estacional, Área de Tensão Ecológica Floresta Estacional – Estepe, Área de Tensão Ecológica Floresta Estacional – Formação Pioneira, Área de Tensão Ecológica Floresta Estacional – Formação Pioneiras – Estepe e Área de Tensão Ecológica Estepe – Savana Estépica – Floresta Estacional.

3.2 BIOMAS DO RIO GRANDE DO SUL

De acordo com IBGE (2019) bioma é definido como um conjunto de vida vegetal e animal que se caracteriza por apresentar formas semelhantes em determinada região sejam condições vegetativas, geológicas e climáticas, isto é, que enfrentaram os mesmos processos de formação de fauna e flora. No estado do Rio Grande do Sul, em função da diversidade de clima, solos, relevo e tipologia de vegetação podem encontrar dois biomas: a Mata Atlântica e o Pampa (Figura 5).

Figura 5 - Mapa dos Biomas do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE e MMA (2004).

3.2.1 Bioma Mata Atlântica

De acordo com a Secretária de Planejamento, Orçamento e Gestão (2019), o Bioma Mata Atlântica é formado de vegetação florestal e abrange 37% de extensão na metade norte do RS. Todavia, resistem apenas 7,5% de áreas remanescentes com alto grau de fragmentação em relação a cobertura vegetal de origem.

O Bioma Mata Atlântica é constituído de formações florestais nativas (Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual), e também os ecossistemas (manguezais, vegetações de restingas, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste). Os ecossistemas têm como função regular e abastecer as águas, regular o equilíbrio climático, controlar a fertilidade e proteger o solo, e proteger as encostas (MMA, 2019).

3.2.2 Bioma Pampa

No Brasil, o Bioma Pampa localiza-se na metade sul do estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa 63% do território gaúcho, ou seja, uma área correspondente a 176,5 mil km². As paisagens naturais Bioma Pampa são formadas pelos campos nativos, um pouco de matas ciliares, matas de encostas, matas de pau-ferro, árvores, butiazais, banhados e aforados rochosos (MMA, 2019).

Ademais, caracteriza-se pela sua diversidade de fauna e flora, algumas são exclusivas do bioma pampa (OVERBECK *et al.*, 2007). Além da região Sul, o bioma compreende parte do território da Argentina e Uruguai (BOLDRINI, 2009). De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas - IBF (2019) é a porção de campos naturais mais preservados do Brasil, também são chamados de campos sulinos ou campos do Sul. Com a inserção da silvicultura tem gerado preocupação de órgãos ambientais e da população preocupada em conservar o meio ambiente, sobre os impactos ambientais que podem ocorrer no ecossistema.

Segundo Santos e Trevisan (2012) são vários os tipos de impactos por consequência dos vastos plantios de silvicultura, dentre eles destacam-se impactos causados sobre a água e o solo como a redução de disponibilidade de água, a salinização e acidificação do solo e da água, impactos sobre a biodiversidade e o corte dos plantios com a liberação de carbono.

Com relação ao clima no Bioma Pampa as paisagens sofrem com as influências climáticas caracterizadas por períodos com frentes frias no inverno, consequentemente

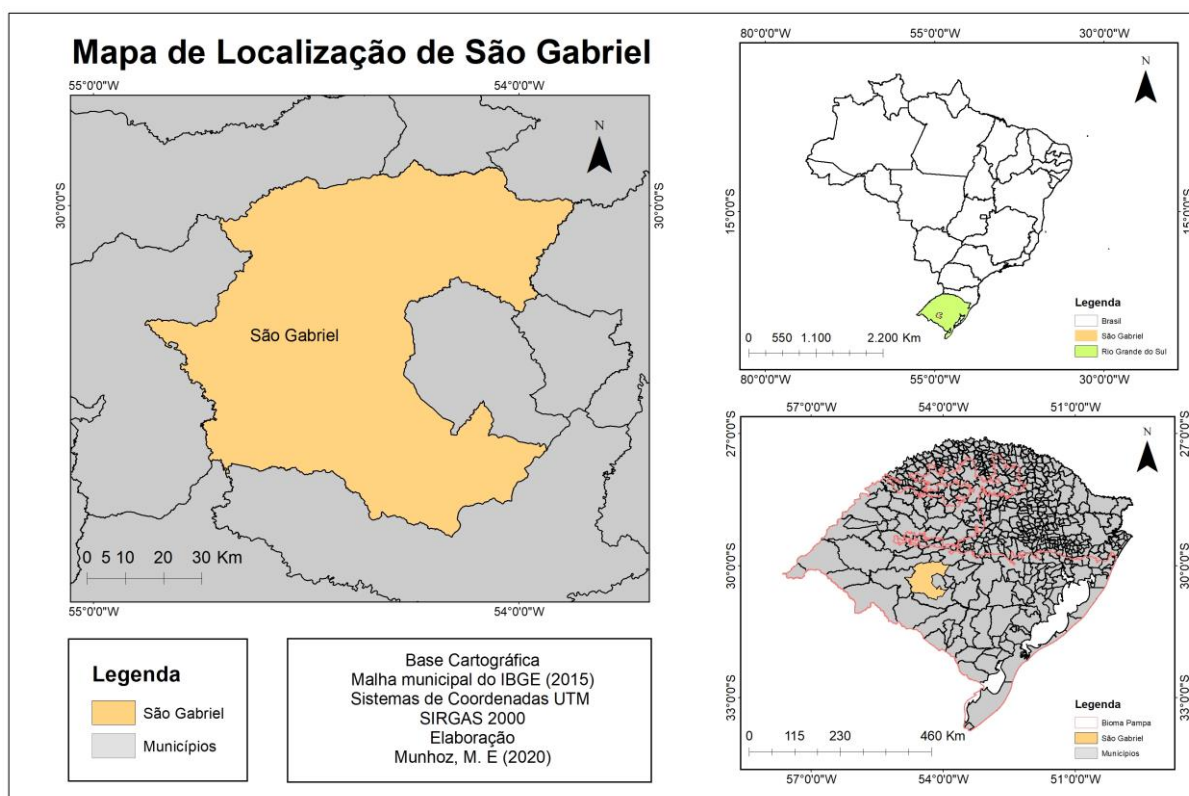
ventos da Patagônia argentina que chegam à região da Campanha, fato que causa forte queda na temperatura (SUERTEGARAY; SILVA, 2009).

Na geomorfologia da região as áreas do Planalto Central têm contato com o arenito Botucatu, costuma-se ocorrer solos podzólicos que contém uma coloração vermelho-escuro, principalmente a sudoeste de Quaraí e a sul e sudeste de Alegrete. O solo possui características de baixa fertilidade e bem suscetível a erosões (IBF, 2019).

3.2.3 Município de São Gabriel

A área de estudo é o município de São Gabriel, localizada no estado do Rio Grande no Sul (Figura 4), compreende uma população de 60.425 de habitantes e uma área de 5.051,854 km² (IBGE, 2010). O município encontra-se na metade sul do estado, inserido dentro do Bioma Pampa.

Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo.



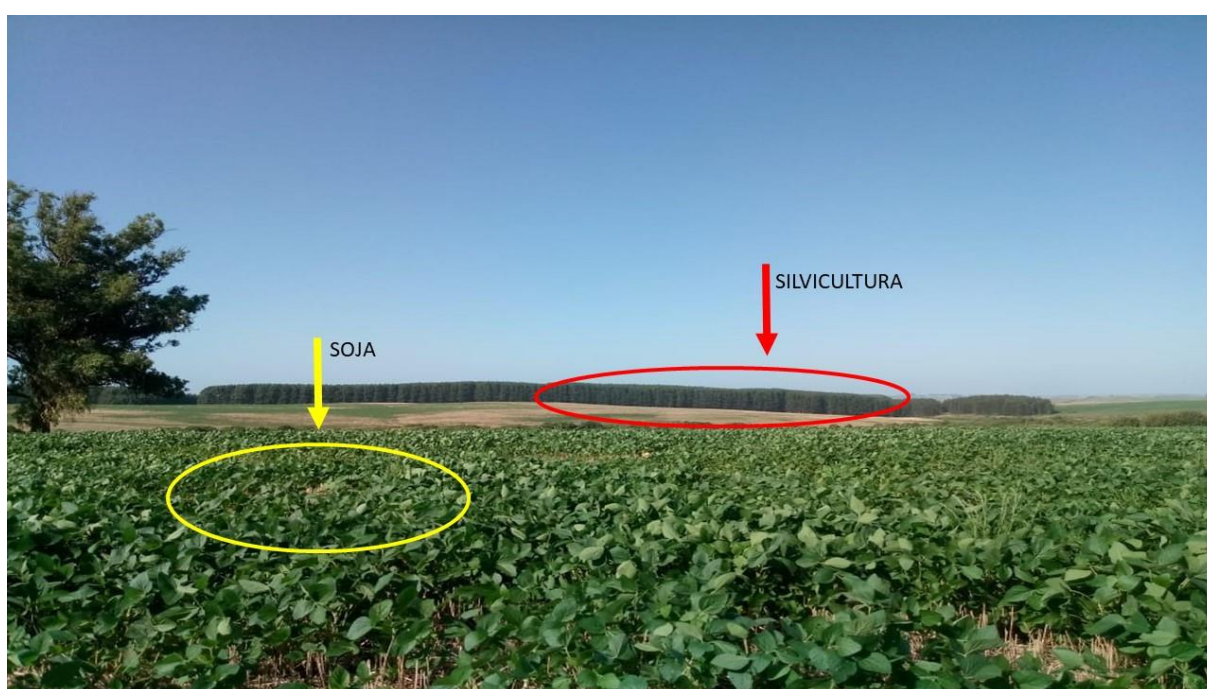
Fonte: Autora (2019).

A base econômica predominante no município de São Gabriel é fortemente ligada ao setor agropecuário. Atualmente, a pecuária tem como prioridade criar gados em campos nativos, para produzir carne de qualidade, origem essa que se formou devido às muitas charqueadas que existiam antigamente na região sul do estado. A economia por parte da

agricultura tem influência nas culturas de arroz e soja, outro aspecto que ganhou destaque foi à implantação da silvicultura no município, na qual trouxe a geração de empregos e movimentou a economia local (SEADE, 2000).

Entretanto, a introdução das culturas de arroz, soja e silvicultura são responsáveis pela descaracterização das paisagens originais, a expansão principalmente dos plantios de eucalipto tem modificado a fisionomia original da pampa (BOLDRINI, 2009). Na Figura 7, percebe-se um contraste na vegetação entre as plantações de soja e silvicultura.

Figura 7 - Tipos de vegetação dentro do Bioma Pampa.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

A vegetação natural dentro do Bioma Pampa é composta campos nativos com espécies de gramíneas, leguminosas, matas de galeria, matas de encostas. No entanto, com a implementação da agricultura e silvicultura, percebe-se uma vegetação diversificada, por vezes campos naturais e outros locais plantação de soja e silvicultura.

Em relação ao clima da região, os tipos climáticos indicados por Rossato (2011), apontam que são indicados quatro tipos: Subtropical I – Pouco Úmido: Subtropical I (a) pouco úmido com inverno frio e verão fresco e Subtropical I (b): pouco úmido com inverno frio e verão quente; Subtropical II – medianamente úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias; Subtropical III - Úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias; Subtropical IV – Muito Úmido: Subtropical IV (a) - Muito úmido com Inverno

Fresco e Verão Quente, e Subtropical IV (b) – Muito úmido com Inverno Frio e Verão Fresco.

Na área de estudo, destaca-se o clima subtropical I (a) com forte influência dos sistemas polares, mantém as precipitações em média entre 1200 a 1500 mm (anuais) e uma temperatura anual de 17° a 10° C. Nesta região próxima à fronteira com o Uruguai, o frio intensifica-se na época mais fria do ano (inverno) e as temperaturas ficam amenas em torno de 5-8° C e nos meses mais quente (verão) fica entre 26-29° C. A umidade relativa do ar fica em 70% e 80% na maior parte do ano, alterna um pouco nas partes mais interiorizadas do estado de acordo com as estações do ano (ROSSATO, 2011).

Alguns estudos realizados por Cunha *et al.* (2010) no município de São Gabriel apresenta três tipos de solos: argissolos, planossolos e gleissolos. Os argissolos são definidos com horizonte superficial argiloso, solos geralmente profundos e bem drenados. Os planossolos ocorrem em relevos suaves, ondulados ou planos e mal drenados; são propícios para plantios de arroz irrigado, milho, soja e pastagens. E os gleissolos apresentam características de solos pouco profundos, mal drenados de cor acinzentada e ocorrem em regiões de baixa declividade.

4. METODOLOGIA

A pesquisa iniciou-se com a definição da área de estudo, o município de São Gabriel, o qual possui muitas áreas de silvicultura e está localizado no Bioma Pampa, na região também conhecida como metade sul do Rio Grande do Sul onde abrange a maior concentração de plantios florestais no estado.

Apesar de o município de São Gabriel não possuir a maior área de silvicultura da região, a sua escolha foi definida em função de toda a área do município pertencer a uma imagem de uma única órbita ponto do sensor OLI/Landsat.

Em seguida, realizou-se uma busca dos aspectos relevantes para o estudo que foram as séries temporais de imagens de satélites, a base de dados do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia com relação aos dados de silvicultura e a revisão da literatura acerca do tema.

Esta pesquisa foi desenvolvida com o propósito de identificar a expansão das áreas de silvicultura, por meio de imagens orbitais no município de São Gabriel no Estado do Rio Grande do Sul.

Desta forma, para identificar e mapear as áreas de silvicultura da série temporal entre os anos de 1998, 2008 e 2019 utilizou dados provenientes do satélite Landsat (sensores TM e OLI), em razão de que elas constituem um grande acervo desde a década de 80, e consequentemente, permite o usuário obter grande número de informações com um mesmo satélite.

Por conseguinte, foram adquiridos dados sobre silvicultura disponibilizados pela FEPAM e do IBGE que serviram como suporte para analisar e comparar com os mapas de uso e cobertura da terra.

Os *shapefiles* obtidos pela FEPAM foram adquiridos e importados para a plataforma SATVeg, para extrair os índices. Já os dados socioeconômicos do IBGE foram obtidos e organizados, também em planilha para gerar os gráficos com informações de área plantada, silvicultura e pecuária. Tendo em vista que, esses fatores estão relacionados com uso e cobertura da terra do município.

Com a finalidade de verificar a conformidade das áreas de silvicultura foi utilizado o instrumento de gestão, o Zoneamento Ambiental da Silvicultura, dessa forma, foi relacionado o parâmetro de conformidade limite de ocupação versus a silvicultura dos mapas de uso e cobertura.

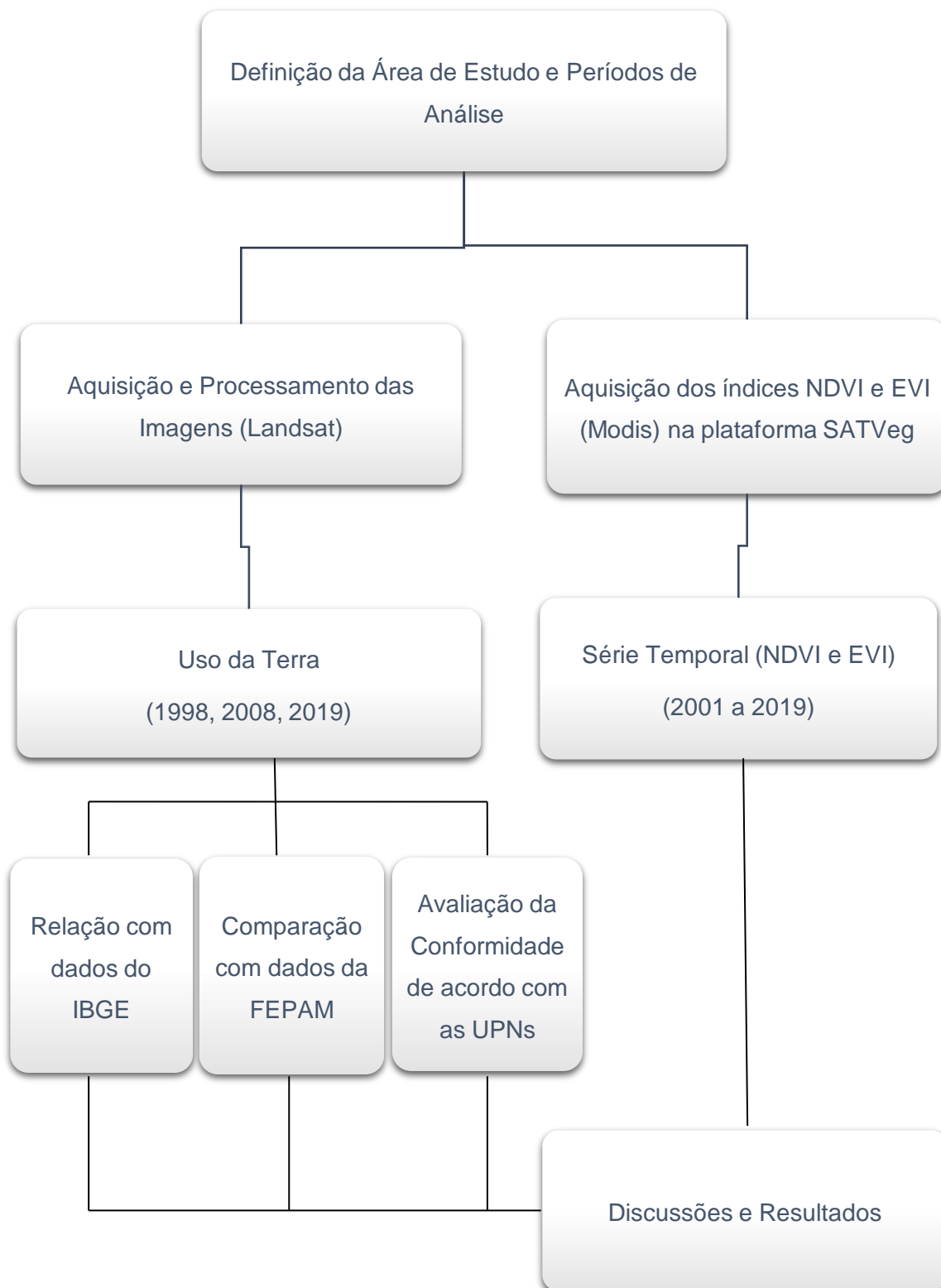
Para analisar o desenvolvimento fenológico da vegetação por meio dos índices de vegetação (NDVI e EVI) no período de 2001 a 2019, foram utilizados os produtos Terra (MODIS), disponibilizados pela plataforma da Embrapa (SATVeg), posteriormente, os valores respectivos de cada índice foram organizados em planilhas para compor os gráficos da série temporal sobre o comportamento espectral. A tabela 2 apresenta os dados utilizados na área de estudo.

Tabela 2 - Dados cartográficos e produtos orbitais.

Dados	Escala/Resolução Espacial	Produto/Fonte
Mapas Temáticos	-	Silvicultura/FEPAM
Imagem Landsat 5	30 m	Sensor TM/ USGS
Imagem Landsat 8	30 m	Sensor OLI/ USGS
Produto MODIS	250 m	NDVI (MOD13)
Produto MODIS	250 m	EVI (MOD13)

Fonte: A autora.

Figura 8 - Fluxograma das atividades desenvolvidas na metodologia.



4.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT

Para os períodos de análise definidos (1998, 2008 e 2019) selecionaram-se imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 (TM) e 8 (OLI), formando uma série temporal de dados. A seleção dos anos a serem analisados teve como critério o tempo que os plantios florestais levam para atingir uma idade madura, que é aproximadamente com 8 anos.

Entre as vantagens de trabalhar com dados oriundos do satélite Landsat, está o grande acervo de imagens obtidas ao longo de décadas que permite realizar uma análise temporal dos dados de uma determinada região. Assim, as cenas da área de estudo foram disponibilizadas pela USGS (*United States Geological Survey*),⁴ através das ferramentas: GLOVIS (*Global Visualization Viewer*) e Earth Explorer.

No momento da escolha das imagens consideraram-se alguns critérios como a cobertura de nuvens e a disponibilidade de datas dentro do mesmo período (Tabela 3). Diante disso, a aquisição da imagem referente ao mês de março de 2019, justifica-se pela falta de imagens sem cobertura de nuvens no mês de novembro do ano anterior.

Tabela 3 - Datas das imagens Landsat 5 e 8, sensor TM e OLI.

Ano	Órbita-Ponto	Data
1998	223-81	23/11
2008	223-81	18/11
2019	223-81	22/03

Fonte: Autora (2019).

Com a finalidade de delimitar a área de estudo e tornar o processamento das imagens mais rápido, foi necessário obter um recorte do município. Posteriormente, para o mapeamento foi definidas as seguintes classes temáticas : água, silvicultura, solo exposto, cultura temporária, campo/pastagem, nuvem e sombra. Após definidas as classes de uso da terra iniciou-se o processo de treinamento do classificador com a coleta das amostras para classificação.

O classificador utilizado neste estudo foi Máxima Verossimilhança - *Maximum Likelihood*, que é estabelecido por meio de um conjunto de células e a probabilidade dessas

⁴ A ferramenta da USGS está disponível em: GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov/>) e Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

células pertencerem a um conjunto de classes. Esse algoritmo é bastante utilizado para uso e cobertura do solo e da vegetação, permite identificar várias espécies vegetais dentro de um mesmo bioma (MORAS FILHO *et al.*, 2017).

Em seguida, realizou-se a etapa de avaliação das classes a partir das amostras aleatórias escolhidas pelo usuário nas imagens. As amostragens foram realizadas em todas as imagens utilizando o método de *Random*, com a finalidade de avaliar os mapas temáticos após as classificações, para isso foi gerada a matriz de confusão e o coeficiente *Kappa* para cada mapa de uso e cobertura da terra.

A matriz de confusão e o coeficiente *Kappa* são indicadores da acurácia do mapeamento, ou seja, os valores obtidos descrevem o grau de precisão da classificação e os erros associados às classes, um exemplo disso, é a confusão de pixel entre as classes temáticas. O coeficiente *Kappa* e a exatidão global são as variáveis que mais representam a concordância, confiabilidade e precisão dos dados classificados (FOODY; 2002; CARDOSO; CENTENO, 2015).

Por fim, efetuou-se uma análise da porcentagem das áreas de acordo com as classes temáticas existentes nos mapas de uso e cobertura da terra. Sendo assim, foi possível correlacionar os dados da FEPAM, com os mapas e verificar a conformidade das áreas de silvicultura com os limites de ocupação, conforme o zoneamento ambiental da silvicultura.

4.2 COMPARAÇÃO DOS MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM OS INDICADORES ECONÔMICOS

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) compõe um grande número de informações com vários tipos de dados de todo território brasileiro. Os dados como gráficos, mapas, informações ambientais, cartas topográficas, dados do censo da população e censo agropecuário são adquiridas na plataforma do IBGE.

Desta maneira, as informações foram utilizadas nesse estudo para apoiar a interpretação e compreensão dos resultados. Nesta pesquisa, foram utilizadas informações das tabelas sobre área plantada, silvicultura, lavoura temporária, extração vegetal e pecuária no estado do Rio Grande do Sul e do município de São Gabriel para compreender a expansão geográfica da silvicultura e suas causas ao longo dos anos.

4.3 COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE SILVICULTURA COM O ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA

O Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS) é um instrumento de gestão que avalia a vulnerabilidade dos ambientes frente à implantação da silvicultura. A atividade pode gerar impactos ambientais, em vista disso, o zoneamento estabelece diretrizes de uso de acordo com as Unidades de Paisagem Natural (UPN), na qual são divididas dependendo da região e de alguns aspectos como a vegetação, solos, geomorfologia e geologia de cada região do estado.

Neste contexto, com base nas restrições e características das unidades de paisagens pode-se criar um diagnóstico atualizado do município em relações aos plantios florestais. Por meio da avaliação do parâmetro: limite de ocupação das áreas de silvicultura, com isso, torna-se possível verificar a conformidade da área de estudo com base nas instruções estabelecidas pelo ZAS.

4.4 SÉRIE TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Para geração das séries temporais de índices de vegetação foram utilizados produtos MODIS de NDVI e EVI (MOD13), com resolução temporal de 16 dias e resolução espacial de 250 m. Para criação desses perfis temporais foi utilizada a plataforma SATVeg - Sistema de Análise Temporal da Vegetação que permitiu analisar as alterações de biomassa vegetal ao longo do tempo.

A plataforma permite observar os índices de vegetação e aplicar filtros de acordo com a necessidade do usuário. Para a coleta das informações na plataforma SATVeg, realizou-se um processo de filtragem com o filtro savitzky-golay disponível na própria ferramenta. Este filtro é baseado no método de ajuste linear de mínimos quadrados por equações polinomiais, que tem como propósito reduzir os ruídos dos valores (EMBRAPA, 2014).

Para analisar o período temporal da vegetação pelos dados do produto MOD 13, foram definidos os anos de 2001 a 2019. Tendo em vista que, as informações estão disponíveis a partir dos anos 2000 até o atual momento. Ressalta-se que a resolução do CONSEMA nº 187/2008 que aprova as atividades do Zoneamento Ambiental da Silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul só foi aprovada no ano de 2008, ou seja, após a disponibilidade de dados do SATVeg.

Neste contexto, a escolha das áreas para a coleta dos índices, deu-se primeiramente pela aquisição dos dados de silvicultura fornecidos pela Fepam, delimitado pelo zoneamento da silvicultura do estado do Rio Grande do Sul.

A partir disso, foi efetuado um recorte espacial apenas para a área de estudo, o município de São Gabriel. Os valores dos índices de vegetação foram coletados dentro das unidades de paisagem natural: DP2, DP5, DPN7 e PS2, com base nos polígonos de silvicultura.

As unidades de paisagem natural (UPN) utilizadas no zoneamento ambiental para a atividade de silvicultura e foram definidas a partir da integração das bases digitais de geomorfologia, vegetação potencial original, solo e altimetria, na escala 1:250.000, além do mosaico de imagens Landsat do estado do rio grande do sul. Essas unidades formam regiões naturais homogêneas que refletem as características fisionômicas e paisagísticas originais. (CORREA, 2009).

As UPNs são definidas a partir da morfologia das paisagens e das restrições específicas para cada região no ZAS. Assim, foram selecionadas as unidades de paisagem (DP2, DP5, DPN7 e PS2) que abrange o município de São Gabriel.

As amostras foram coletadas uniformemente, dentro da área limite do município. Não foi possível coletar um número específico de amostras por unidades de paisagem devido à distribuição dos plantios. Diante disso, obteve-se um total de 10 pontos amostrais com valores de NDVI e EVI. Esses pontos amostrais coletados correspondem a um pixel do MODIS, ou seja, a área deste pixel que possui uma resolução de 250m.

Os valores obtidos com a elaboração dos índices permitiram verificar as características importantes da vegetação, ou seja, analisar o desenvolvimento vegetativo durante o período. Esses valores foram organizados em forma de tabelas e elaborados os gráficos para análise da série temporal.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta pesquisa, os resultados foram obtidos por meio da análise espaço temporais de uso e cobertura da terra do município de São Gabriel, com ênfase nos plantios de silvicultura e da avaliação temporal de índices de vegetação. Esse conjunto de informações permitiu identificar a variação da área de ocorrência da silvicultura ao longo dos anos.

5.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE SILVICULTURA

A silvicultura tem gerado preocupação de diversos órgãos ligados ao meio ambiente com o aumento dos plantios florestais, conseqüentemente torna-se necessário realizar mapeamentos sobre o uso e cobertura da terra para identificar as áreas que tem alterado a paisagem.

Na atualidade existem duas vertentes uma que se mostra favorável à expansão da silvicultura devido às oportunidades de crescimento econômico e a geração de empregos na região e a outra se preocupa com a conservação das áreas do Bioma Pampa e as pastagens naturais que ele representa.

Neste sentido, realizou-se o mapeamento de uso e cobertura da terra no município de São Gabriel, a fim de compreender a problemática por meio dos processos de expansão da silvicultura, com o uso de representações espaciais. Diante disso, a partir da classificação das imagens Landsat 5 TM (bandas R5, G4 e B3) e Landsat 8 OLI (bandas R6, G5 e B4), observou-se os plantios florestais nos mapas correspondente aos anos de 1998, 2008 e 2019 no referido município.

O mapeamento aponta distribuição dos plantios florestais ao longo dos anos dentro da área do município. De modo geral, a silvicultura tem um padrão espacial fácil de identificar em imagens de satélite em relação aos alvos adjacentes por causa das características como a textura lisa e a forma geométrica regular (CABRAL *et al.*,2019).

O mapa temático, Figura 9, apresenta as distribuições das categorias de água, silvicultura (principal na área de estudo), solo exposto, cultura temporária, campo/pastagem e as classes nuvem e sombra. Para o ano de 1998 o município de São Gabriel apresenta uma quantidade significativa de áreas com campo/pastagem, assim predominam a maior parte do território.

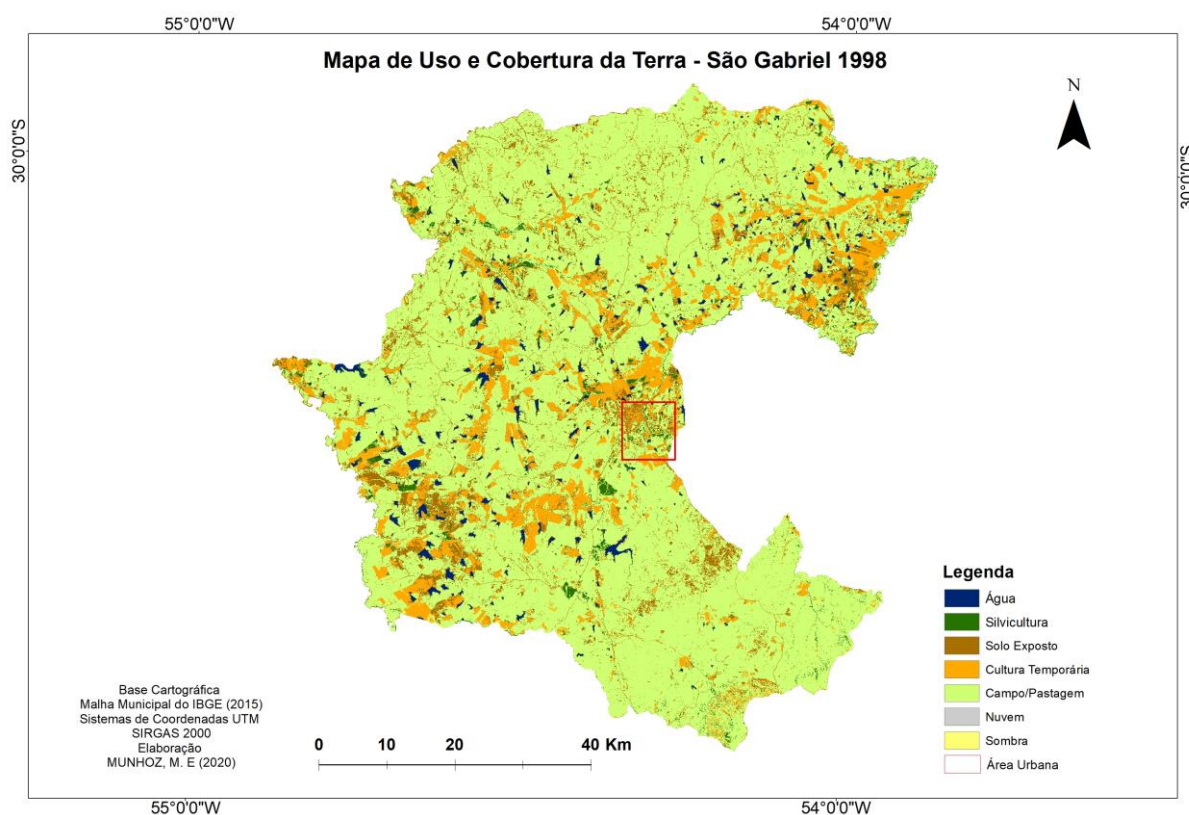
Severo e Mate (2020) apontam que os campos e as pastagens representam a atividade pecuária existente no sul do estado, mais que uma atividade produtiva é considerada um estilo de vida para os pecuaristas, assim está relacionada com a dinâmica sociocultural e econômica.

A outra classe presente que predomina nesta análise é a cultura temporária, na qual algumas áreas estão concentradas principalmente próximas aos cursos d'água, e provavelmente estão associadas à cultura de arroz. As lâminas de água permitem maior desenvolvimento do arroz irrigado em razão das mudanças químicas, físicas e biológicas aumentarem a disponibilidade de nutrientes presentes no solo (GOMES *et al.*, 2008).

Os plantios de silvicultura apresentam-se em pequenas áreas, cobrindo pouca extensão do município, alguns plantios estão situados próximos à área urbana. Binkowski (2009) ressalta que até meados de 2004 os plantios florestais no RS eram uma atividade de pequena escala.

O solo exposto representa 8,39% da área, provavelmente parte desta porcentagem pode está associada à preparação do solo para plantios de alguma cultura. Pode-se considerar uma vez que, a imagem Landsat 8 adquirida para o mapeamento é do mês de novembro, período que geralmente é realizado o plantio da cultura de arroz no RS de acordo com o calendário agrícola brasileiro.

Figura 9 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 1998.



Fonte: Autora (2020).

A Tabela 4 apresenta a quantificação das respectivas classes de uso e cobertura para o ano de 1998, na qual evidencia as áreas em quilômetros quadrados e hectares junto a seus percentuais.

De acordo com a quantificação das áreas das classes, verifica-se que no ano de 1998 a classe que teve maior destaque de 75,52% foi à categoria campo/pastagem representada em relação ao percentual da área total. Logo, a cultura temporária apresenta 11,83% de ocupação das áreas do município, e posteriormente, a classe de solo exposto que demonstra 8,39% e a silvicultura e a água que apresentam os percentuais mais baixos de 2,27% e 2,00% da área.

Tabela 4 - Áreas de cada classe para o ano de 1998.

Classes	Área (ha)	%
Água	10.119,83	2,00
Silvicultura	11.456,27	2,27
Solo Exposto	42.416,54	8,39
Cultura Temporária	59.784,43	11,83
Campo/Pastagem	381.786,73	75,52
Total	505.563,82	100,00

Fonte: Autora (2020).

Na figura 10, observa-se ainda o predomínio da cultura de campo/pastagem com mais áreas localizadas na parte norte e sul do município. Logo depois, a cultura temporária que apresenta maior área que no ano de 1998, mostrando-se espalhadas dentro do município, porém, algumas regiões as lavouras ficam mais agrupadas.

Conforme Foley *et al.* (2011) as áreas de lavouras temporárias e as matas artificiais têm aumentado sobre as áreas naturais, o que torna-se um fator preocupante, visto que, as culturas de soja e silvicultura não favorecem para alimentar a população da região. Todavia, essas culturas proporcionam renda, deste modo está atividade movimenta a economia do RS.

De acordo com um estudo elaborado por Kuplich *et al.* (2018) sobre o avanço da soja no Bioma Pampa, é possível observar a distribuição espacial da área plantada de soja e arroz para o município de São Gabriel nos anos de 2000 e 2015. A partir disso, pode-se dizer que a quantidade em área plantada da cultura de soja é maior que a de arroz durante esses anos dentro do município, mesmo depois do ano de 2015, a soja continuou sendo mais plantada, conforme aponta os dados do IBGE para o ano de 2017 (Figura 15).

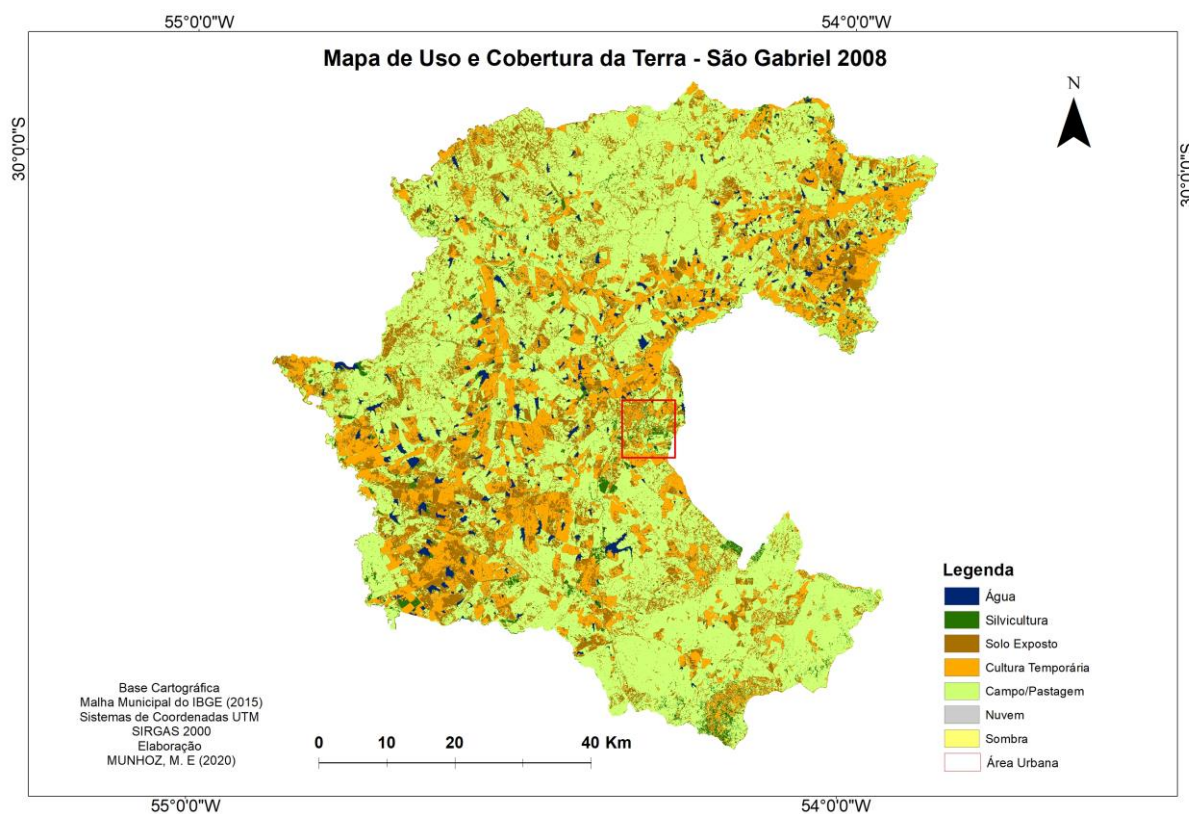
O solo exposto apresenta uma quantidade de área semelhante à cultura temporária, talvez isso ocorra devido à imagem de análise do mapeamento ser no mês de novembro em época de plantio de arroz e soja.

A silvicultura aumentou a área 0,76% do ano de 1998 para 2008. Neste período, o governo apoiava os incentivos florestais com o objetivo de que a atividade promoveria o desenvolvimento econômico, e tendo em vista, os possíveis declínios das atividades agropecuárias. Além disso, o governo do RS viabilizou serviços da EMATER/RS/ASCAR⁵

⁵ EMATER/RS/ASCAR (Associação Rio-Grandense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural) é uma instituição mantida pelo governo do estado do RS com o propósito de promover ações de assistência técnica e social, de extensão rural, de classificação, e certificação e cooperação com o desenvolvimento sustentável.

para assistência técnica aos pequenos produtores para incentivar o cultivo de eucalipto (BINKOWSKI, 2009).

Figura 10 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 2008.



Fonte: Autora (2020).

De acordo com a tabela 5, a quantificação das áreas das classes demonstra que a categoria campo/pastagem apresentou 58,46%, a maior área entre as classes. Posteriormente, a cultura temporária 18,32% e o solo exposto 18,16%. E em seguida, a classe de silvicultura que apresenta 3,03% e a água com o menor percentual de 3,04%.

Tabela 5 - Áreas de cada classe para o ano de 2008.

Classes	Área (ha)	%
Água	10.302,93	2,04
Silvicultura	15.308,69	3,03
Solo Exposto	91.806,76	18,16
Cultura Temporária	92.619,02	18,32
Campo/Pastagem	295.528,79	58,46
Total	505.566,22	100,00

Fonte: Autora (2020).

No mapeamento de uso e cobertura da Terra para o ano de 2019 (Figura 11) nota-se que o campo/pastagem apresentou forte predomínio de área com 57,64%. Esses campos naturais que integram o Bioma Pampa tem sido alvo de discussões a cerca de conservação da biodiversidade.

Atualmente, existe um programa da Organização Ambiental de Conservação e Proteção da Biodiversidade de Aves e seus Habitats (*Bird Life International*) em parceria com a Associação para conservação de Aves do Brasil (*Save Brasil*) conhecido como “*Alianza Del Pastizal*” que tem por objetivo a conservação e preservação pelos pecuaristas da região, das pastagens naturais do Bioma Pampa (AZEVEDO *et al.*, 2019). Esse programa, os ambientalistas e entre outros tem sido atores desfavoráveis à ampliação da agricultura e da silvicultura no RS.

A cultura temporária ocorre de forma mais esparsa dentro do município e apresenta uma quantidade menor 15,08% de área, comparando com o ano de 2008 com 18,32%, pode se dizer que houve um decréscimo de 3,24%. De acordo com o IBGE/PAM (2019) nos últimos anos houve um crescente aumento nos plantios da cultura de soja no município de São Gabriel principalmente entre os anos de 2017 a 2019.

Talvez seja devido aos custos elevados para implantação da cultura de arroz que a soja obteve mais espaço, tendo em vista, que é necessário sistematizar as várzeas e os quadros para nivelar o local de plantio, demarcar as taipas para liberar a distribuição e manejo da água dentro das lavouras (IBGE/PAM, 2015).

A classe de solo exposto apresentou uma área com 9,00% do mapeamento, sobretudo, acredita-se que essa quantidade de solo exposto encontrado, talvez seja área colhida de agricultura. Provavelmente, esse resultado obtido pode estar associado à época da imagem

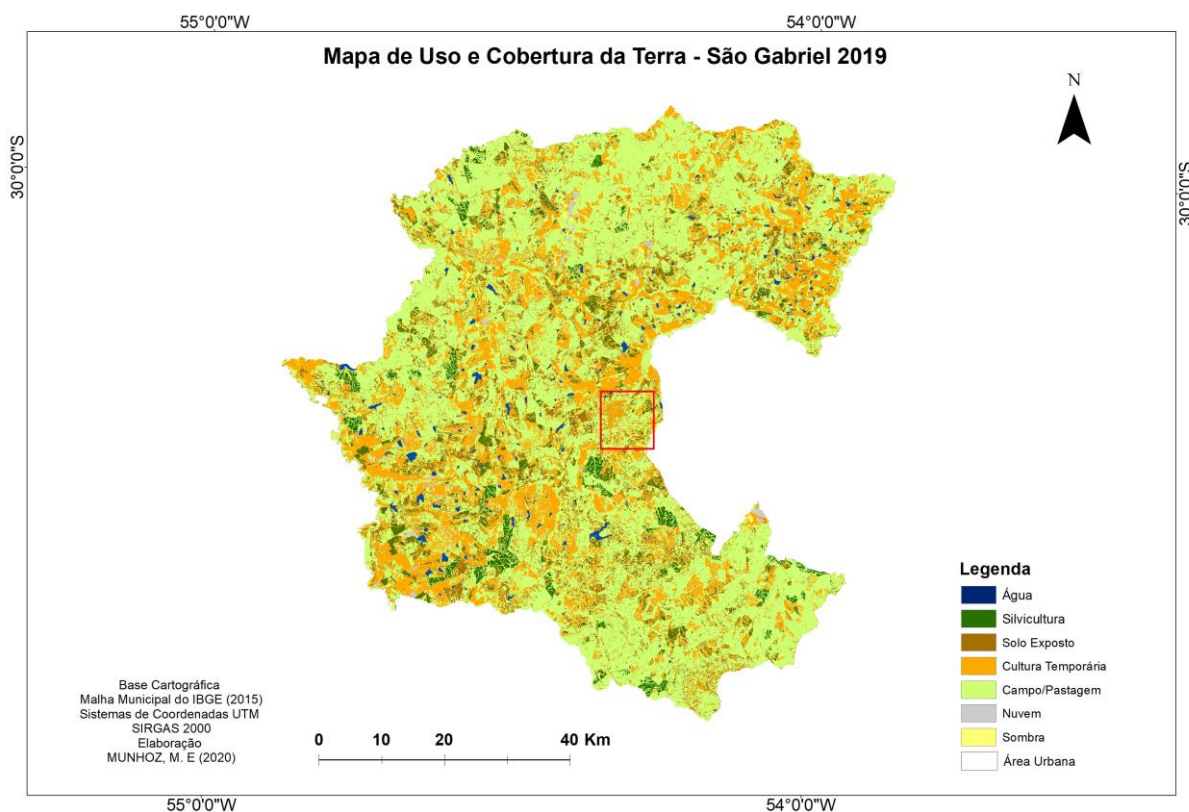
corresponder ao final do mês de março, na qual muitos produtores já colheram suas lavouras de soja, que neste caso é o plantio mais cultivado no município.

A silvicultura corresponde a 5,34% de área plantada. De acordo com os dados do IBGE para o ano de 2017 a área de silvicultura era aproximada de 14.000 hectares de área plantada e no mapeamento a área é encontrada foi de 27.000 hectares. Isto significa que, houve uma diferença de aproximadamente 12.000 hectares. Considerando essa diferença, é provável que as áreas de silviculturas aumentassem do ano de 2017 para 2019. Para este ano, a silvicultura apresenta comportamentos espectrais diferentes, conforme mostra a composição de bandas na Figura 12, talvez esteja associado às diferentes fases da cultura.

De acordo com os dados estatísticos da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura com base no ano de 2019, após três anos consecutivos de crescimento, o setor florestal demonstrou uma retração em 2019, de modo que diminuiu parte do extrativismo vegetal. No entanto, a participação da silvicultura quanto aos produtos madeireiros registrou uma pequena diminuição na produção para este ano o RS, que representa 33, 8% na participação no valor de produção de silvicultura (PEVS, 2020).

Nesta perspectiva, o decréscimo na silvicultura, conforme aponta o PEVS considera o ano de 2019. Portanto, pode-se dizer que provavelmente esse resultado não afetou os mapas de uso e cobertura da terra, tendo em vista que, a imagem utilizada para o mapeamento foi adquirida do mês de março, ou seja, no início do ano.

Figura 11 - Mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de São Gabriel para o ano de 2019.



Fonte: Autora (2020).

Nesta análise, foi necessário acrescentar mais duas classes que foram sombra 0,79% e nuvem 0,40%, isso ocorreu em consequência que todas as cenas cobertas pelo Landsat para a época do ano estar com coberturas de nuvens. Desta forma, buscou-se criar mais duas categorias em função dessa condição do tempo.

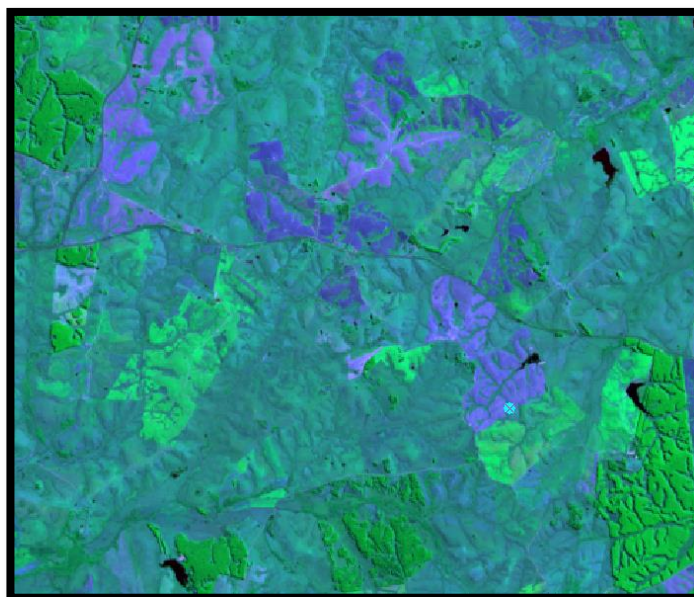
Na tabela 6, observa-se a quantificação das classes correspondente ao ano de 2019. E aponta que a maior área é representada pelo campo/pastagem seguida de cultura temporária, solo exposto e silvicultura.

Tabela 6 - Áreas de cada classe para o ano de 2019.

Classes	Área (ha)	%
Água	6.515,70	1,29
Silvicultura	26.997,25	5,34
Solo Exposto	45.525,35	9,00
Cultura Temporária	129.122,47	15,08
Campo/Pastagem	291.391,42	57,64
Sombra	2.028,81	0,40
Nuvem	3.985,77	0,79
Total	505.572,76	100,00

Fonte: Autora (2020).

Figura 12 – Representação da composição das bandas Landsat OLI (R6G5B4) referente ao ano de 2019.



Fonte: Autora (2020).

Após a classificação multiespectral supervisionada das imagens, gerou-se a matriz confusão para os respectivos anos analisados, visando avaliar a qualidade da classificação por meio dos valores obtidos na exatidão global e o índice Kappa. Com a matriz confusão também é possível averiguar o número de pixels classificados errados em cada uma das classes. E diante disso, revisar as amostras de treinamento ou mesmo acrescentar ou excluir amostras não desejáveis (CARDOSO; CENTENO, 2015).

O coeficiente *Kappa* é uma das variáveis que podem ser quantificadas após construir a matriz de confusão, sendo um índice que retrata o grau e concordância dos dados, gerando

assim, um aspecto de confiabilidade e precisão dos dados classificados (PERROCA; GAIDZINSKI, 2003).

Cabe ainda salientar que, a exatidão global pode variar numa faixa de 0 a 100%, representada pela razão e o número de pixel formado pela diagonal principal e o total dos pixels classificados (SOPCHAKI *et al.*, 2016). Quando o resultado do índice Kappa é obtido ocorre uma variação no intervalo de 0 a 1, quanto mais próximo a 1 os dados classificados têm uma maior qualidade, conforme a tabela 7.

Tabela 7 - Agrupamento qualitativo do coeficiente kappa.

Índice Kappa	Desempenho
<0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1$	Excelente

Fonte: Fonseca (2000).

Com base nos parâmetros na tabela 7, verifica-se que os resultados encontrados na tabela 8 em relação às acurácias globais e a tolerância do coeficiente *Kappa* são considerados excelentes, devido aos valores serem superiores a 0,8%.

Tabela 8 - Precisão da classificação por meio da Exatidão Global e o Índice Kappa.

Índice de acurácia	1998	2008	2019
Exatidão Global (%)	94,51%	92,66%	90,16%
Índice Kappa	0.88	0,87	0.83

Fonte: Autora (2020).

Uma das dificuldades no mapeamento das classes de uso do solo e cobertura vegetal com dados orbitais é a correta classificação de algumas classes, como por exemplo, áreas urbanas de outros usos do solo (rochas, solo exposto e corpos d'água) que possuem similaridade espectral. (MENGUE, 2018).

Neste estudo, teve-se cuidado principalmente com as classes de culturas temporárias e solo exposto que apresentaram semelhança espectral, visto que algumas áreas foram

plantadas há pouco tempo. Optou-se em não adotar a classe área urbana, devido à confusão com a tonalidade muito semelhante ao solo exposto. À vista disso, as amostras de treinamento coletadas para o mapeamento foram obtidas com o pixel mais “puro” sem misturas de tonalidades visualmente.

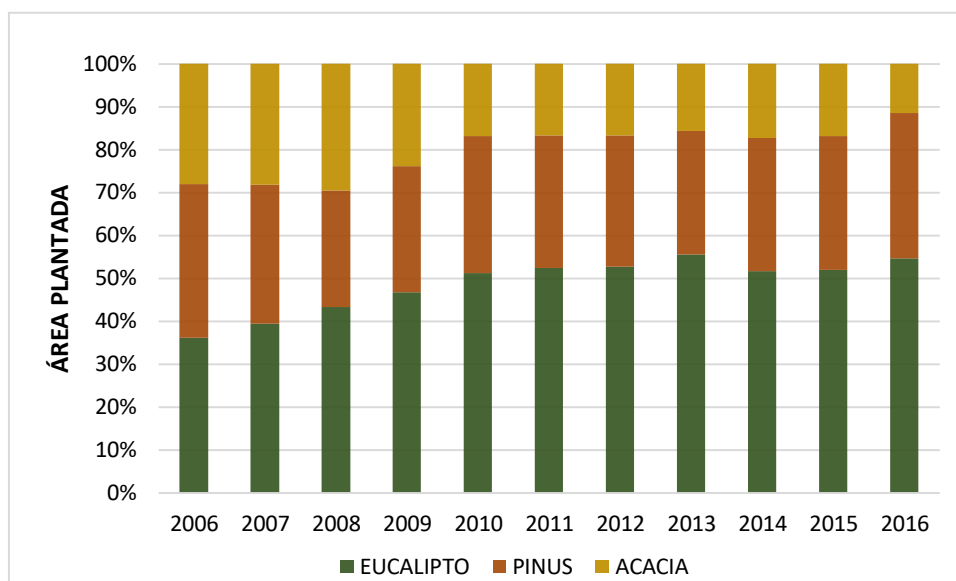
5.2 RELAÇÃO DOS MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA COM INDICADORES ECONÔMICOS

De acordo com os dados da AGEFLOR, no ano de 2016 verificou-se o maior número de plantios florestais de eucalipto comparado com uma sequência anual desde 2006, ultrapassando 50% da área plantada, em comparação com as espécies pinus e acácia (Figura 13).

No Rio Grande do Sul existem 780,9 mil hectares de áreas plantadas, representando 10% das florestas plantadas de todo país. Essas áreas estão distribuídas entre o cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus* spp.) que representa uma área de 54,6%, Pinus (*Pinus* spp.) corresponde a uma área de 33,9% e Acácia com área de 11,5%.

O eucalipto é a principal cultura das florestas plantadas no RS, com aproximadamente 308.500 ha que são distribuídas para indústrias de celulose. Além disso, essa cultura apresenta um ciclo curto, atingindo os padrões estimados entre 6 a 7 anos, deste modo torna-se atrativo dentro do setor (AGEFLOR, 2017).

Figura 13 - Evolução em porcentagem da área plantada nas culturas de eucaliptos, pinus e acácia.



Fonte: Adaptado Ageflor (2017).

Entre os municípios que mais se destacam no setor florestal no Estado está Encruzilhada do Sul, que apresenta 7,68% da área de plantio no estado, com presença de plantios de eucalipto (5,9%), pinus (7,3%) e acácia (17,4%). Nas demais regiões são predominantes plantios de Eucalipto (AGEFLOR, 2017). Na tabela 10, é possível verificar os municípios com as maiores áreas plantadas de silvicultura.

Tabela 9 - Municípios com as maiores áreas de silvicultura plantadas do Rio Grande do Sul.

MUNICÍPIO	ÁREA PLANTADA (ha)	MUNICÍPIO	ÁREA PLANTADA (ha)
Encruzilhada do Sul	59.957	Bagé	15.666
São Francisco de Paula	42.957	Mostardas	15.618
Piratini	36.262	São José dos Ausentes	15.328
Cambará do Sul	29.776	Pântano Grande	15.153
Canguçu	22.473	São Gabriel	14.524
Butiá	21.721	São José do Norte	14.172
Cachoeira do Sul	19.199	Rio Pardo	11.791
Bom Jesus	17.078	Pinheiro Machado	11.306
Jaquirana	17.734	Dom Feliciano	10.979
Triunfo	16.508	Rio Grande	10.729

Fonte: AGEFLOR (2017).

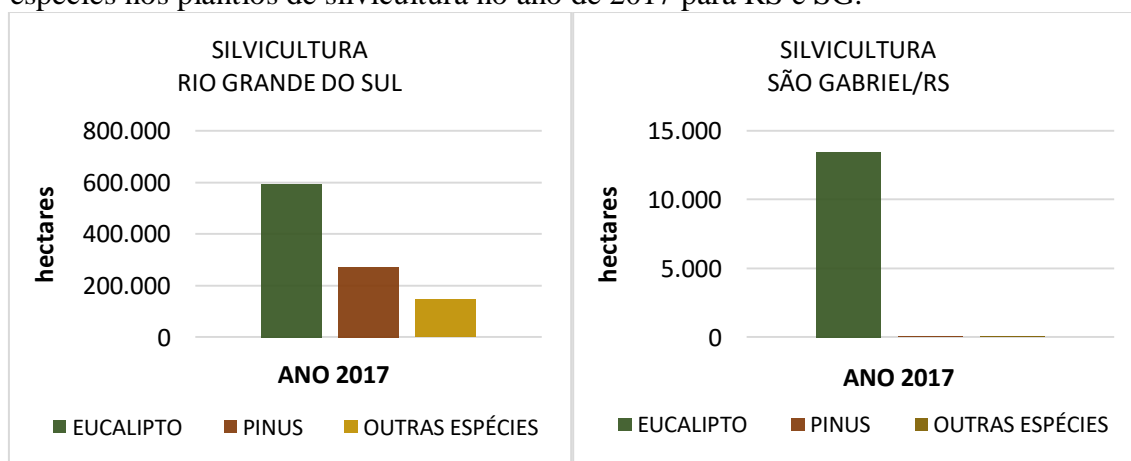
Segundo o SFB (2018) as florestas plantadas têm ocupado grandes áreas de terras que são disseminadas por plantio ou semeadura direta. Podem ser espécies nativas da região ou exóticas, e servir para diversas finalidades, tal como produtos madeireiros ou não madeireiros e outros fins. Entre os estados brasileiros o RS no ano de 2016 apresentou um aumento no Produto Interno Bruto (PIB) e também na economia, que atingiu a marca de 410,276 milhões de reais de PIB.

Nesse contexto, o crescimento do setor florestal no Estado pode ser observado por meio dos dados de silvicultura, lavouras temporárias, pecuária e extração vegetal que são disponibilizados pelo IBGE, conforme mostra a Figura 14 que destaca o crescimento das espécies de eucalipto.

Ao analisar as informações referentes à silvicultura no Rio Grande do Sul para o ano de 2017 na Figura 14, nota-se que houve um aumento aproximado de 600.000 mil hectares de plantio de eucalipto. Para o município de São Gabriel a cultura compreende em torno de 14.000 mil hectares de área plantada.

Significa que, a partir do ano de 2010 as áreas de plantio de eucalipto especificamente ultrapassaram 50%, conforme demonstra a Figura 13. Neste sentido, observa-se na Figura 15 o resultado dessa ampliação dos plantios com impactos em outras atividades como a pecuária.

Figura 14 – Dados sobre o crescimento da área plantada da espécie eucalipto, pinus e outras espécies nos plantios de silvicultura no ano de 2017 para RS e SG.

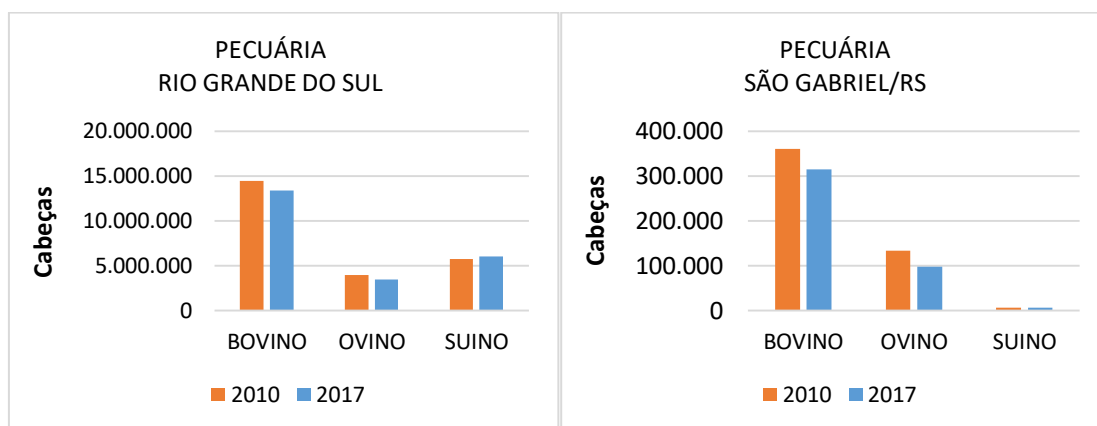


Fonte: Adaptado IBGE, 2019.

A Figura 15 mostra a relação na produção de pecuária (bovinos, ovinos e suínos), mas principalmente, observa-se que diminui o número de bovinos de 2017 em relação ao ano de 2010, tanto a nível estadual quanto para o município de São Gabriel. Segundo o IBGE (2014)

desde o ano de 2011 o número de animais está em decréscimo, aproximado de 13.956.953 cabeças de gado.

Figura 15 - Dados sobre a pecuária de 2010 e 2017 para RS e SG.



Fonte: Adaptado IBGE, 2019.

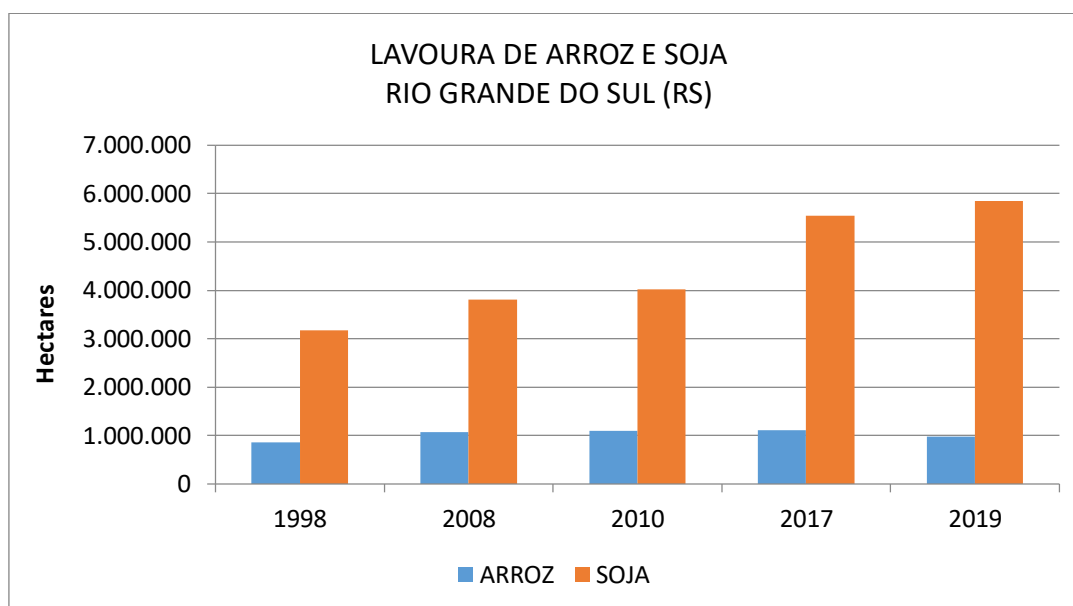
De acordo com os dados do IBGE sobre lavouras temporárias (Figura 16 e 17), podemos observar a quantidade em hectares das culturas de arroz e soja. No Rio Grande do Sul no ano de 2010, tinha aproximadamente 4 milhões de hectares de soja e para o ano de 2017 aproximou-se de 6 milhões, logo as lavouras de soja têm aumentado no estado.

No município de São Gabriel houve um aumento entre os anos de 2010 e 2017, com diferença de 60 mil hectares de soja, as demais culturas bem como o arroz manteve semelhante ao ano anterior e as outras culturas as porcentagens de plantios são baixas em relação à soja e o arroz que são mais cultivados no RS.

Neste sentido, o mapeamento de uso para o ano de 1998 aponta uma área de 59.784 hectares de cultura temporária, uma parte desta classe está próxima a regiões com cursos d'água, o que provavelmente estaria associada à cultura de arroz. Tendo em vista, as informações da Figura 17, torna-se evidente que para o município de SG neste ano a cultura de arroz estava em maior quantidade. Pode-se dizer que da área total de cultura temporária (1998), respectivamente 42.000 hectares são cultivares de arroz e soja.

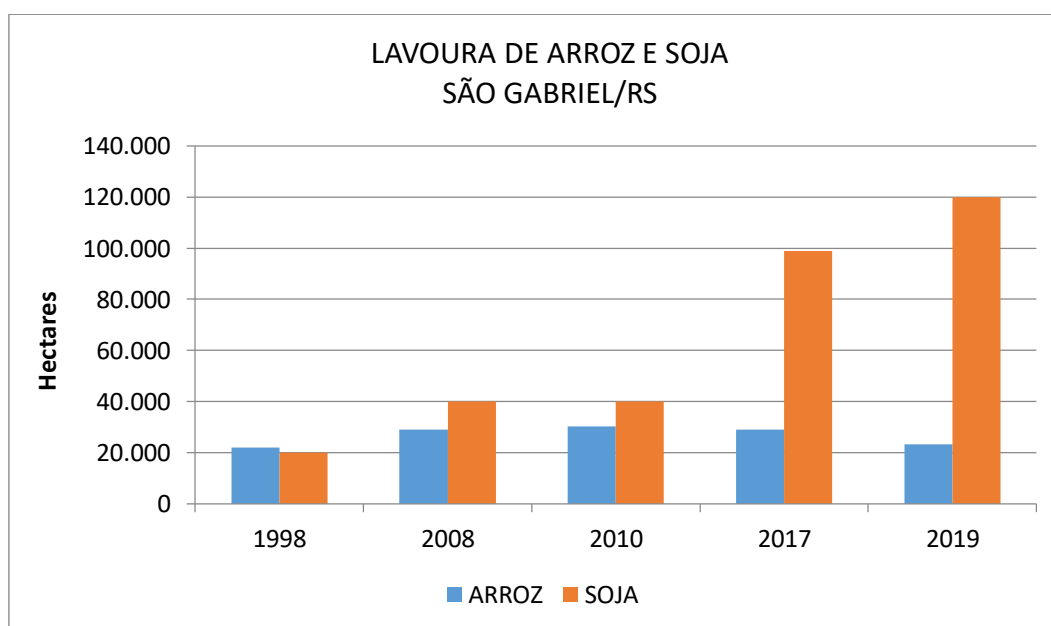
As culturas de arroz e soja integram a classe de culturas temporárias, essas duas culturas predominam fortemente no Bioma Pampa. Em vista disso, as figuras 16 e 17 apresentam um gráfico somente para as culturas de arroz e soja, uma análise dessas classes agrícolas que mais se destacam no RS e SG.

Figura 16 - Dados sobre lavouras de arroz e soja de 1998, 2008, 2010, 2017 e 2019 para RS.



Fonte: Adaptado IBGE, 2019.

Figura 17 - Dados sobre lavouras de arroz e soja de 1998, 2008, 2010, 2017 e 2019 para SG.



Fonte: Adaptado IBGE, 2019.

5.3 ANÁLISE DA CONFORMIDADE DAS ÁREAS DE SILVICULTURA COM AS UNIDADES DE PAISAGEM ESTABELECIDAS NO ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SILVICULTURA

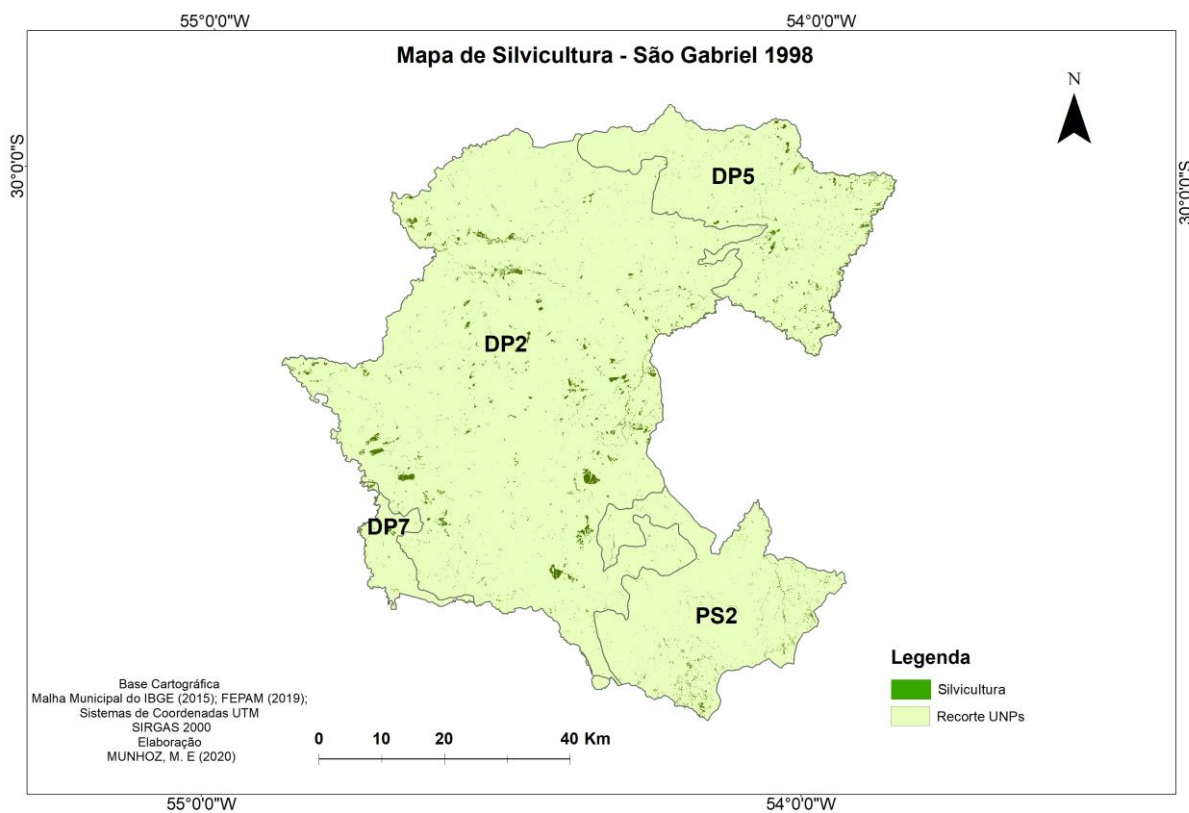
O Zoneamento Ambiental da Silvicultura é instrumento que define diretrizes para a atividade de silvicultura em cada uma das Unidades de Paisagem, de acordo com o documento foram divididas em grupos: Áreas Protegidas, Biodiversidade, Ocupação do Solo, Uso do Solo, Recursos Hídricos, Paisagem, Arqueologia e Paleontologia, e Comunidades Tradicionais.

Nesta pesquisa, foi utilizado somente o grupo de ocupação do solo, que estabelece os seguintes parâmetros: entorno das áreas de banhados naturais, entorno das áreas consolidadas de áreas, regularização de projetos existentes, tamanhos dos maciços, distância entre eles e os limites de ocupação. Para cada Unidade de Paisagem existe uma tabela com as restrições, que determina o percentual de área para uso por silvicultura expressa em hectares, pode ser apresentada de acordo com a UPN ou pela fração contida em diferentes Bacias Hidrográficas.

Neste sentido, a pesquisa analisou a conformidade apenas do parâmetro: limite de ocupação das áreas de silvicultura no município de São Gabriel, por meio dos mapas de uso e cobertura da Terra e os critérios determinados pelo ZAS. Considerando esse parâmetro foram elaborados os mapas de silvicultura para cada ano referente ao uso e cobertura da terra e também, foram calculadas as áreas de silvicultura dentro de cada UPN.

Na figura 18 observa-se a distribuição da silvicultura de acordo com as UPNs estabelecidas pelo ZAS, que compreendem a área de estudo que são as seguintes: DP2, DP5, DP7 e PS2. A silvicultura teve em 1998, maior ocorrência na área da unidade de paisagem DP2 e a DP7 tem menor quantidade de plantios florestais.

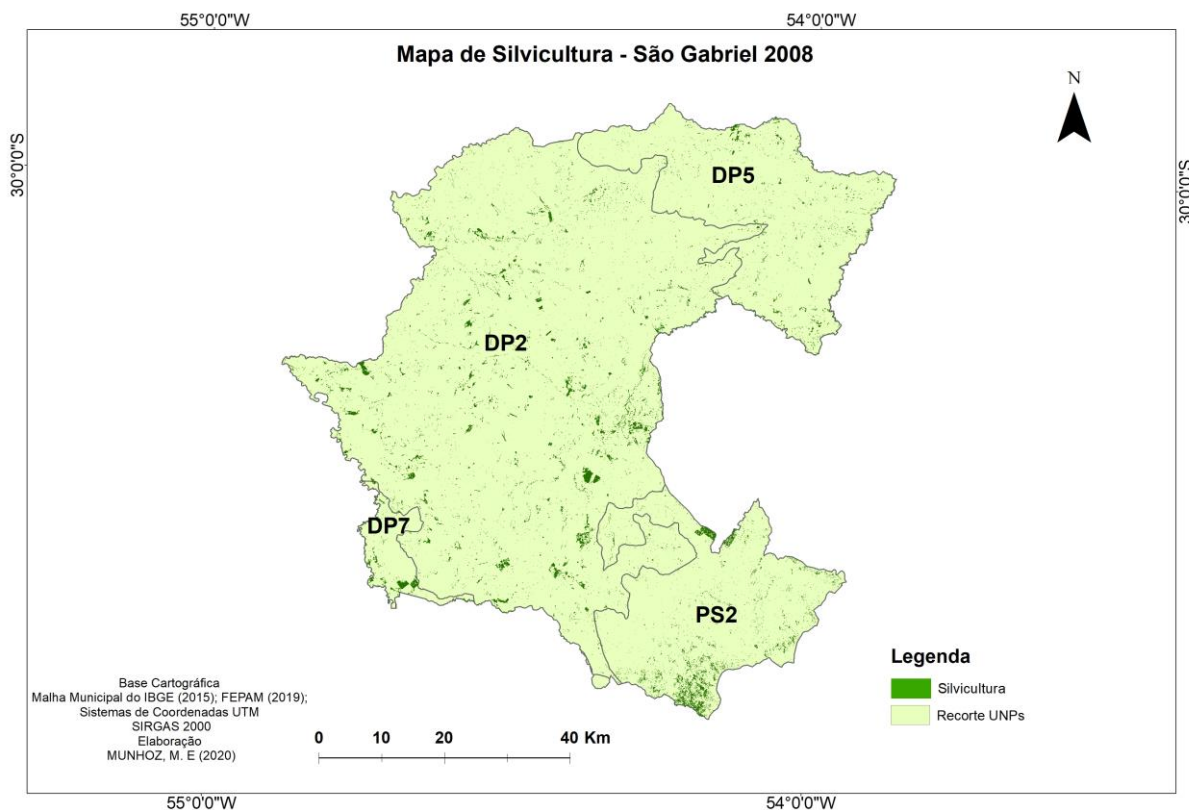
Figura 18 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 1998.



Fonte: Autora (2020).

Na figura 19 que representa o mapa de silvicultura referente ao ano de 2008, observa-se que a distribuição da silvicultura ocorre de maneira semelhante ao ano anterior. Porém, com maior número na unidade de paisagem PS2 e menor na DP7 que apresenta poucos fragmentos.

Figura 19 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 2008.



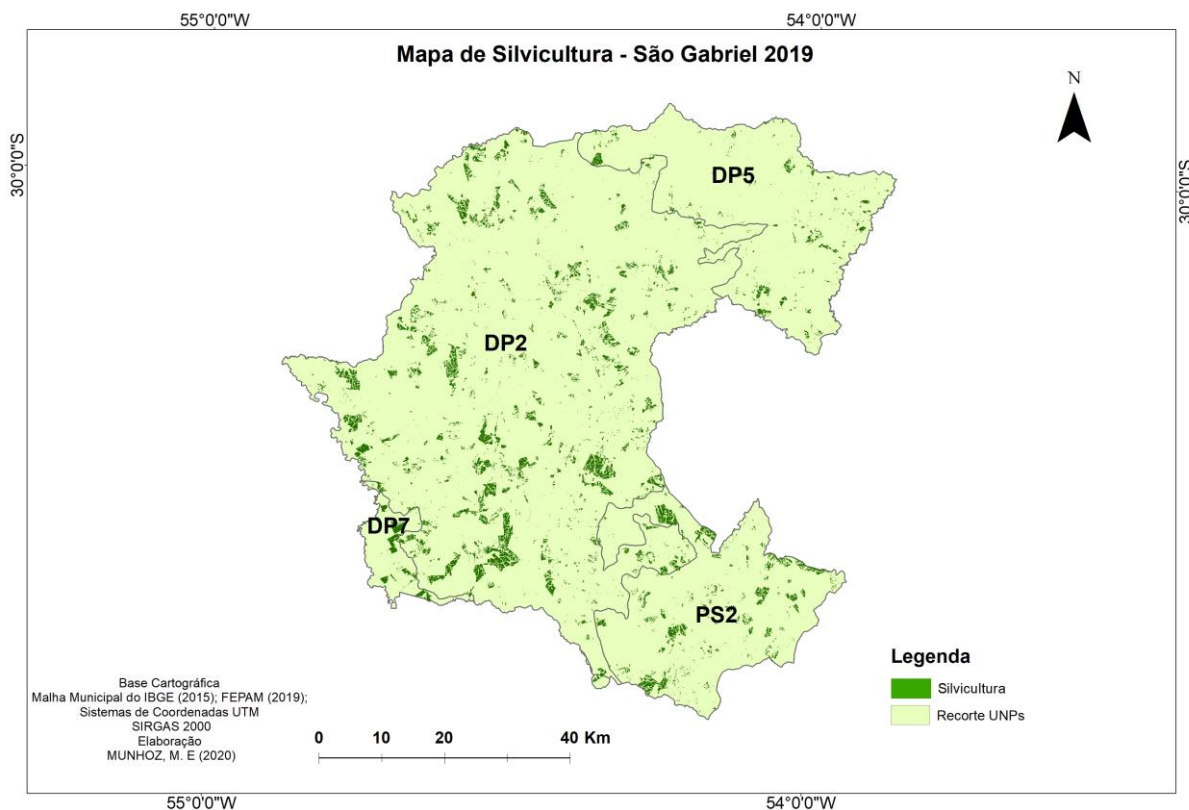
Fonte: Autora (2020).

Na figura 2 que corresponde ao mapa de silvicultura para o ano de 2019, percebe-se a disposição dos hortos florestais. Em algumas áreas do mapa é possível observar que eles estão agrupados. A DP2, DP7 e PS2 apresentam maiores quantidade de silvicultura, já a DP5 é a unidade de paisagem que apresenta a menor área.

A silvicultura para esse ano apresenta maior quantidade em relação aos anos anteriores e o comportamento ocorre de maneira espalhada dentro do município. Porém, é possível que para este ano tenha ocorrido alguma confusão entre as classes (Figura 20) de silvicultura e campo pastagem, na qual a classificação pode ter subestimado a área de silvicultura, uma vez que, de acordo com os dados do IBGE a área em 2017 é de 14.000 hectares e no mapeamento e de 27.000 hectares, sendo assim, houve um aumento de 12.000 hectares entre os anos 2017 a 2019, como já mencionado anteriormente.

Esse último ano, a distribuição dos plantios florestais comportou-se de maneira semelhante quando comparado com o arquivo de silvicultura disponibilizado pela FEPAM que compreende os trabalhos de vistoria e licenciamento, e ainda, as áreas publicadas no trabalho de Cordeiro e Hasenack no ano de 2009. Portanto, os dados de silvicultura da FEPAM utilizados como base nesta pesquisa foram da atualização de 2019.

Figura 20 - Mapa de silvicultura do município de São Gabriel para o ano de 2019.



Fonte: Autora (2020).

De acordo com a classificação da silvicultura por UPN tornou-se necessário calcular as áreas de silvicultura dentro de cada UPN no município de São Gabriel. Considerando o ZAS (2010) que indica parâmetros para manutenção e execução da atividade de silvicultura no RS e a área de estudo no município de São Gabriel, foi necessário observar apenas o parâmetro que foi utilizado para este estudo, conforme mostra a tabela 10 a seguir, que indica o parâmetro (limite de ocupação) de silvicultura em cada unidade de paisagem estabelecido pelo ZAS e as áreas da silvicultura em cada unidade de paisagem com seu percentual.

Tabela 10 - Parâmetro sobre a silvicultura em cada unidade de paisagem estabelecido pelo ZAS e as áreas da silvicultura em cada unidade de paisagem com seu percentual.

UPNs/Ano	Bacia Hidrográfica/SIGLA	Área máx. uso por silv.	Área (ha) de uso	% de uso
DP7 Silvicultura 2019	Santa Maria/ U070	47.197	1.296,72	4,59
DP5 Silvicultura 2019	Vacacaí Mirim/ G060	57.526	2.182,94	7,71
DP2 Silvicultura 2019	Vacacaí Mirim/ G060	15.717	20.129,52	71,1
PS2 Silvicultura 2019	Vacacaí Mirim/ G060	18.336	4.700,04	16,6
TOTAL			28.309,22	100
DP7 Silvicultura 2008	Santa Maria/ U070	47.197	767,07	4,95
DP5 Silvicultura 2008	Vacacaí Mirim/ G060	57.526	1.901,60	12,26
DP2 Silvicultura 2008	Vacacaí Mirim/ G060	15.717	3.280,43	21,15
PS2 Silvicultura 2008	Vacacaí Mirim/ G060	18.336	9.559,87	61,64
TOTAL			15.508,97	100
DP7 Silvicultura 1998	Santa Maria/U070	47.197	321,71	2,8
DP5 Silvicultura 1998	Vacacaí Mirim/ G060	57.526	2.322,49	20,12
DP2 Silvicultura 1998	Vacacaí Mirim/ G060	15.717	7.579,11	65,68
PS2 Silvicultura 1998	Vacacaí Mirim/ G060	18.336	1.315,64	11,4
TOTAL			11.538,95	100

Fonte: Adaptado ZAS, 2020.

Embora, existam vários outros parâmetros dentro desse grupo de ocupação do solo no ZAS, o único parâmetro utilizado nesta pesquisa foi à área máxima para uso por silvicultura. Neste sentido, analisando as áreas obtidas para cada Unidade de Paisagem (no mapeamento) e as áreas máximas permitidas para uso por silvicultura contida na legislação que devem ser atribuídos de acordo com o ZAS.

A DP7 que abrange a Bacia Hidrográfica Santa Maria tem um valor máximo de uso de 47.197 hectares, considerando que o valor encontrado nos mapas de uso para os anos de 1998, 2008 e 2019 foram bem abaixo do valor permitido pelo ZAS, a silvicultura dentro dessa UPN estão dentro dos limites de ocupação.

Para a DP5 correspondente a Bacia hidrográfica Vacacaí Mirim sua área máxima de uso de acordo com o ZAS é de 57.526 hectares, no mapeamento da silvicultura a área obtida é bem inferior a esta, sendo assim, também atende os limites de uso dentro da UPN.

A unidade de paisagem DP2 abrange grande parte do município de São Gabriel, tem uma área máxima de 15.717 hectares para plantios de silvicultura estabelecidos pelo ZAS. No mapeamento as áreas encontradas para os anos de 1998 e 2008 foram abaixo do limite máximo de ocupação.

No entanto, para o ano de 2019, a área mapeada chegou a 20.129,52 hectares, ou seja, ultrapassando o limite máximo permitido pelo zoneamento. Entretanto, na área do mapeamento, pode ter ocorrido uma confusão espectral do classificador, um dos fatores que pode ocasionar confusão de classes é à similaridade entre as áreas de vegetação nativa arbórea e a silvicultura.

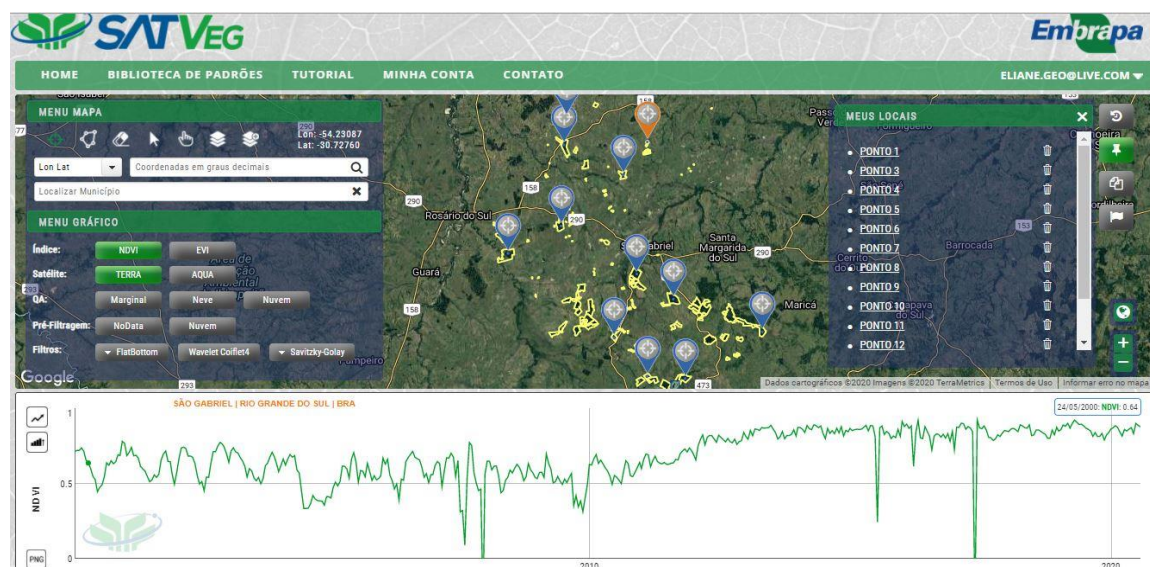
5.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A função dos IVs é realçar a composição espectral da vegetação a partir da combinação de bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Essas combinações entre as bandas permitem melhores resultados sobre as variações do dossel (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Os valores de índices de vegetação obtidos pelo sistema SATVeg, a fim de avaliar o comportamento espectral da silvicultura, permitiu a extração da série temporal do EVI e NDVI no período de 2001 a 2019. Ao total, foram coletados 10 pontos amostrais distribuídos dentro da área do município, obtidos de modo aleatório, contudo, buscou-se a distribuição em toda extensão da área. A figura 21 apresenta uma ilustração da coleta de pontos na

plataforma SATVeg. Um aspecto importante desse sistema é um gráfico (exemplo) gerado para verificar o comportamento dos pontos de NDVI e EVI.

Figura 21 – Coleta de pontos na plataforma SATVeg.



Fonte: Elaborado pela autora a partir do SATVeg/EMBRAPA (2019).

Nos gráficos da série temporal, conforme as figuras 22 e 23 foi possível analisar o comportamento da vegetação que é estimado pelos valores mínimo de 0 e máximo de 1, por meio dos índices de EVI e NDVI.

Na Figura 22, observam-se as curvas representativas da série temporal do EVI. Inicialmente, nesta primeira fase o comportamento do índice de vegetação EVI apresentou para os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 8 um desempenho semelhante entre os anos iniciais de 2001 a 2007 (cenas 0 a 184), com valores que oscilam entre 0,2 a 0,6.

Presumivelmente, pode-se dizer que neste período não houve plantios de silvicultura, devido ao distanciamento dos valores, tendo em vista que, a silvicultura tem variações muito pequenas, deste modo, tal período pode se caracterizar campo/pastagem, em razão de que os valores menores são encontrados na metade do ano (julho e agosto). No entanto, os pontos 9 e 10 mostraram-se um comportamento distinto dos demais, com características de plantios de agricultura, devido aos valores aproximarem de 0,2 com um comportamento bimodal das curvas para o mesmo ano.

Assim, observa-se que a variação da sazonalidade com valores baixos chegando a valores mais elevados, gráficos com base menores e valores mais altos nos picos, ou ainda, curvas com as bases largas e os picos mais achatados caracteriza o comportamento de agricultura (SATVEG, 2019).

No ano de 2007 (cena 161) houve uma queda em todos os pontos que provavelmente pode estar relacionada com conversão de culturas, quando não ocorre um padrão sazonal bem definido, ou ainda interferência climática (temperatura ou precipitação). Becerra *et al.* (2009) aponta que o EVI apresenta valores maiores no período de estação chuvosa e valores menores em períodos secos, o que indica influência direta com padrões de precipitação da sazonalidade da vegetação.

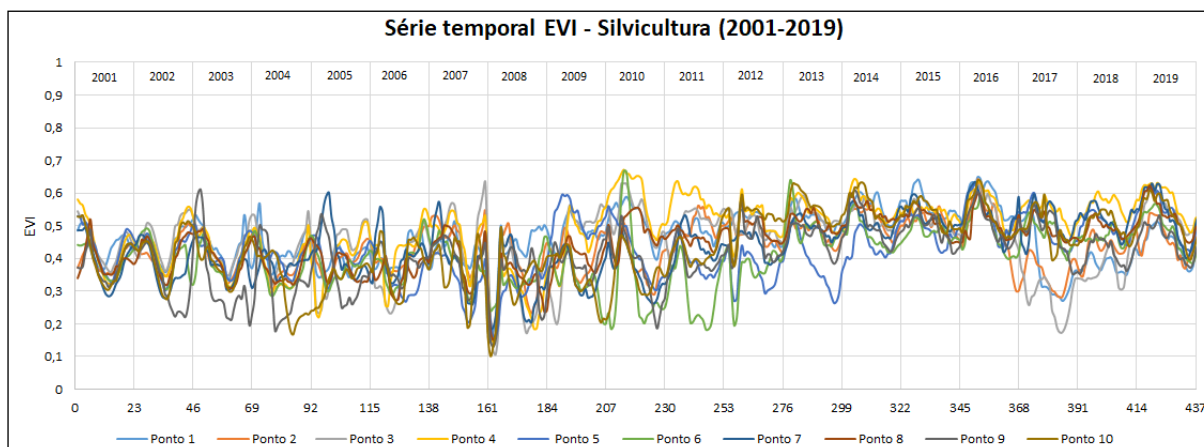
Para os anos de 2008 a 2012 (entre as cenas 161 e 276) notam-se alterações no comportamento da vegetação em relação aos anos iniciais. Na segunda fase os pontos 4, 5 mostraram comportamento mais suave em suas curvas, ou seja, os gráficos aumentaram as curvas de maneira lenta, e apenas o ponto 6 manteve o padrão semelhante (agricultura) a primeira fase, sendo que os pontos 4 e 6 apresentaram valores maiores próximos a 0,7.

Assim sendo, esse comportamento pode estar associado à presença de campo/pastagem, em virtude de apresentarem valores mais altos no período de verão e menores no inverno (TRENTIN, 2015; CORDEIRO, 2017).

A partir de 2013, na terceira fase os pontos diminuíram as oscilações, mantendo-se entre os valores 0,4 e 0,6 e as curvas tornaram-se mais suaves. Possivelmente, esses pontos que diminuíram as oscilações, por exemplo, os pontos 4 e 5 no ano final da série temporal (2019) apresentaram valores maiores na metade do ano (final de junho) e menores no final do ano (dezembro), é possível que este comportamento seja característico de silvicultura.

Em geral, os pontos mantiveram-se em oscilações do início ao final da série temporal, visto que, as culturas oscilaram ao longo do tempo entre áreas de agricultura, campo/pastagem e a silvicultura. No ano de 2015 (cenas 322 a 345) foi o período que as médias de todos os pontos tiveram menor variabilidade.

Figura 22 - Série temporal de EVI de silvicultura no período de 2001 a 2019.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados do Sistema Satveg/Embrapa.

A Figura 23 mostra o comportamento da série temporal para o índice de vegetação NDVI. Na primeira fase da série temporal, o comportamento do índice que as médias de todos os pontos tiveram maior aproximação de valores de vegetação NDVI demonstrou para os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 mantiveram o mesmo padrão entre os anos iniciais entre 2001 a 2007 (cenas 138 a 184) com valores que oscilam entre 0,4 e 0,8 talvez esse comportamento esteja associado a campo/pastagem.

Já os pontos 9 e 10, respectivamente, foram os que apresentaram valores aproximados a 0,3 com curvas mais suaves, demonstrando por vezes duas curvas (bimodal) para o mesmo período, seja, o mesmo ano. Sendo assim, é provável que exista a ocorrência de plantios de ou agricultura entre safra e safrinha.

Para o ano de 2007 (cena 161) nota-se uma diminuição acentuada dos valores em todos os pontos que possivelmente está associada à troca de culturas. De acordo com estudo realizado por Verbesselt *et al.*, (2009) a diminuição significativa nos valores de NDVI está associada com operações de colheita.

Para a segunda fase nos anos de 2008 a 2012 (entre as cenas 161 e 276) destacam-se os pontos 1, 3 e 4 apresentaram um comportamento com pequenas variações entre 0,7 a 0,9. Nesses pontos, é possível relacionar esse comportamento com silvicultura, em razão que às linhas são contínuas e suaves no gráfico e também, apresentam valores maiores no inverno e menores entre o final da primavera e início do verão.

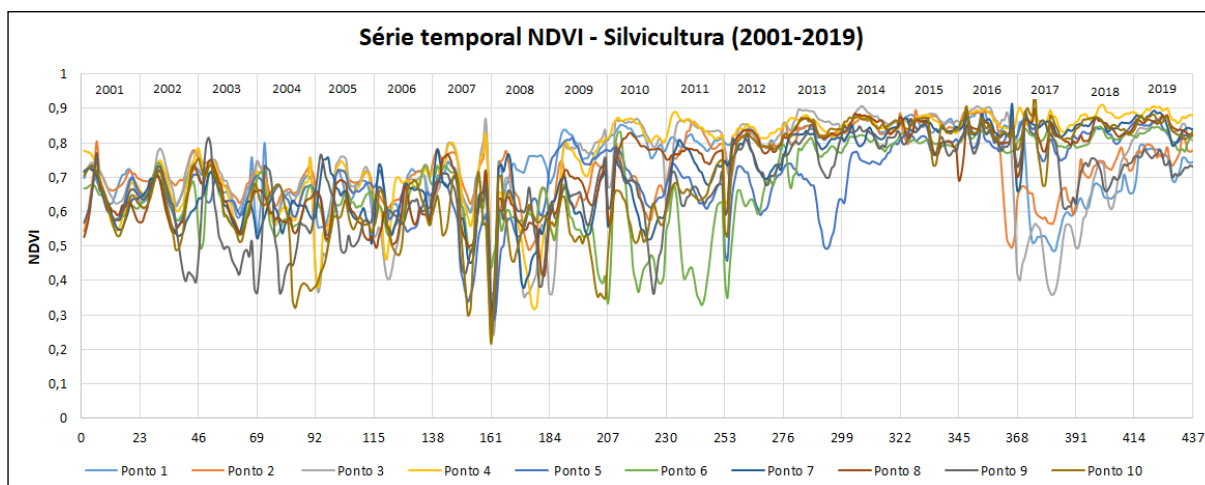
As áreas de silvicultura tem um longo período de manejo sistemático e são utilizadas várias práticas, de plantio, crescimento e corte da vegetação florestal. Os perfis dos índices de vegetação apresentam a variação da biomassa florestal, nos quais podem durar alguns

anos. Nas culturas de eucalipto podem ocorrer variações nos padrões que conseqüentemente pode ser explicado pela gestão e fenologia das plantações (MAIRE, 2011).

A partir de 2013 (cenas 276 a 299), na terceira fase apenas os pontos 1, 2, 3, 8 e 9 apresentam oscilações próximos a 0,3. Em alguns casos, quando ocorre uma diminuição brusca de valores pode estar associado a cortes nos plantios. Por outro lado, os demais pontos mantêm-se estáveis e constantes entre 0,7 a 0,9 com pequenas variações. Portanto, o comportamento é típico de silvicultura, uma vez que, denotam uma uniformidade entre os valores e aproximam-se de valores maiores bem como (0,9 e 1,0), ou seja, significa que houve maior vigor na vegetação neste período (GEORGEN *et al.* 2015).

De modo geral, todos os pontos mantiveram algumas oscilações de valores que provavelmente é típico comportamento de agricultura e campo/pastagem. E posteriormente, alguns pontos começaram a apresentar comportamento característico de silvicultura e mantiveram semelhantes até o final da série temporal.

Figura 23 - Série temporal de NDVI de silvicultura no período de 2001 a 2019.



Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados do Sistema Satveg/Embrapa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de avaliar a espacialização da silvicultura no município de São Gabriel/RS, as imagens do Landsat TM e OLI dos anos de 1998, 2008 e 2019 permitiram caracterizar as diferenças entre os respectivos anos.

Assim, no primeiro ano mapeado observaram-se poucos locais com a presença de silvicultura, visto que, predominavam regiões de campo/pastagem, talvez pelo uso intensivo de atividades pecuárias na região. Já no segundo ano notaram um aumento nas áreas de silvicultura (dispersas na região) e culturas temporárias (predomínio da cultura de soja).

Para o terceiro e último ano mapeado, a silvicultura e as culturas temporárias aumentaram seus valores. O solo exposto também, neste caso pode estar associado com o período de colheita, e a classe campo/pastagem manteve-se semelhante ao ano anterior. Portanto, a silvicultura teve um crescimento de suas áreas ao longo dos anos.

Apesar de ter sido registrado 5,34% da área do município com silvicultura no último ano avaliado, 2019, observou-se que esta atividade apresentou um crescimento de 136% em área plantada em relação a 1998. Este quadro mostra, em conformidade com outros indicadores relacionados à silvicultura, que esta atividade se encontra em fase de expansão.

O eucalipto é a espécie mais plantada no RS com aproximadamente 600.000 hectares plantadas, sendo para o município de São Gabriel aproximadamente 14.000 hectares. Este crescimento da silvicultura, provavelmente reflete nos números de cabeças de gado na pecuária, que de acordo com IBGE diminuíram a partir de 2010 tanto a nível estadual como municipal, visto que, os campos representam a maior classe no mapa de uso de 1998.

As lavouras temporárias de arroz e soja são as mais produzidas no Rio Grande do Sul. No ano de 2010 eram aproximadamente 4 milhões de hectares de soja e para o ano de 2017 aproximou-se de 6 milhões. No município de São Gabriel entre os anos de 2010 e 2017, houve um aumento com uma diferença de 60 mil hectares de soja. As outras culturas as porcentagens de plantios são baixas em relação à soja e o arroz que são mais cultivados no RS e soja no município de São Gabriel.

Neste sentido, os mapas de uso apontam um aumento de silvicultura e lavouras temporárias, neste caso a cultura de soja é a mais cultivada de acordo com o crescimento ao longo dos anos conforme as informações do IBGE.

A análise sobre a conformidade das áreas de silvicultura permitiu observar o comportamento dos plantios em relação a sua distribuição nas unidades de paisagens para os anos de 1998, 2008 e 2019. Os mapas demonstraram que apenas no último ano a silvicultura

apresentou um padrão típico de “hortos florestais” diferentes dos outros anos que a silvicultura espalha-se em fragmentos pelo município.

A partir das áreas calculadas de silvicultura para cada UPN é possível observar o percentual dentro das unidades. Desta maneira, as conformidades analisadas de acordo com o limite de ocupação estão de modo geral, atendendo aos limites do zoneamento ambiental da silvicultura.

Os índices de vegetação possibilitaram avaliar ocorrência da silvicultura, a partir da série temporal do EVI e NDVI entre os anos de 2001 a 2019. O comportamento do índice EVI, de 2001 a 2007, apresentou oscilações nos índices, logo não houve expansão da área plantada de silvicultura, devido ao distanciamento dos valores.

No entanto, no ano de 2007 observou-se uma diminuição em todos os pontos amostrais provavelmente está associada à troca de culturas. Após, entre os anos 2008 a 2012 o comportamento pode estar associado à presença de campo/pastagem, porque apresentaram valores mais altos no verão e menores no inverno. E por fim, os valores a partir de 2013 os valores diminuíram as oscilações, e as curvas dos gráficos tornaram-se mais suaves. Considerando os resultados obtidos e os comportamentos dos pontos que se mantiveram em oscilações desde o início até o final da série temporal, pode-se atribuir a áreas de agricultura, campo/pastagem e alguns pontos de silvicultura.

O índice NDVI apresentou um padrão semelhante em maior parte dos pontos, com exceção dos pontos 9 e 10 que apresentaram menores oscilações entre os valores. Para alguns anos (2002 a 2004) os gráficos demonstraram curvas bimodais, tal comportamento pode estar associado a plantios de agricultura entre a safra e a safrinha.

Desta maneira, estes resultados demonstraram que todos os pontos apresentaram algumas oscilações de valores que provavelmente é típico comportamento de agricultura e campo/pastagem. Para os anos finais (2013 a 2019), alguns pontos começaram a apresentar comportamento característico de silvicultura, ou seja, comportamento com pequenas variações e mantiveram semelhantes até o final da série temporal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAF – Associação Baiana das Empresas de Base Florestal. **Anuário Brasileiro da Silvicultura**. 2016. Bahia: 2016. 60p.
- AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul**. 2015. Porto Alegre, 2016.
- AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul**. 2016. Porto Alegre, 2017.
- ALVARES, C. A. et. al. Caracterização da dinâmica dos índices de vegetação NDVI e EVI em plantações de Pinus do Brasil. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2013. p.2866-2873.
- ALMEIDA, de Q. A. et al. Índice de área foliar de eucalyptus estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM – Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.3, p.368-376.
- AZEVEDO, M. G; NABINGER, C; ROSA, P. P; CARDOSO, S. C. A; OLIVEIRA, V. L; FERREIRA, L. G. O; MACARI, S; Percepção dos consumidores frente à certificação de carne bovina da “Alianza del Pastizal” no Rio Grande do Sul, **Revista Científica Rural**, Bagé, v.21, n.1, 2019.
- BARCELOS, M. **Atores, interações escolhas: a política de silvicultura na área ambiental do Rio Grande do Sul - 2004/2009**. 2010. 179 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia). Porto Alegre, 2010.
- BARROS, D. T. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, Silvicultura. Brasília, 2019. Disponível em:
<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fmcbbqwh02wyiv80kxlb36vbkge01.html>>. Acessado em: set. 2019
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.125-134, 2009.
- BINKOWSKI, P. Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “Metade Sul” do Rio Grande do Sul. 2009. 212f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- BOLDRINI, I. I.; A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: MMA, 2009. 403p.
- BRASIL. Lei nº 1.134 de 16 de novembro de 1970. Altera a sistemática de incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 de nov. 1970. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto-Lei/1965-1988/Del1134.htm>. Acesso em: 10. ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 de maio. 212. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm >. Acesso em: 10. ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.871 de 22 de outubro de 2013. Institui o Programa Mais Médicos, altera as Leis n. 8.745, de 9 de dezembro de 1993, e n. 6.932, de 7 de julho de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 23 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 6.514 de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 de jul. 2008. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm >. Acesso em: 10. ago. 2019.

CABRAL, G. E.; BARREIRA, S.; FERREIRA, E. M.; ARAÚJO, O, de G. L. A silvicultura do eucalipto no estado de Goiás: um registro histórico via sensoriamento remoto pasta artigos. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v.39, p. 1-15, 2019.

CARDOSO, F. B.; CENTENO, J. A. S. Análise da dinâmica do uso e cobertura do solo em Blumenau (SC), utilizando ferramentas de geoprocessamento. **Caminhos de Geografia: Online**, Uberlândia, v.16, n.56, p.173-184, 2015.

CARVALHO, JR. et al. Classificação de padrões de savana usando assinatura temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.4, p.505-517, 2008.

CORREA, A. O. de F. Percepções dos principais atores envolvidos no zoneamento ambiental na silvicultura do Rio Grande do Sul: uma perspectiva jurídico-institucional. 2009.128f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CORDEIRO, A. P. A. et al. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 883-896, 2017.

DA COSTA, B. P.; QUOSS, J. H.; DICKEL, M. E. G. Sustentabilidade da Região da Campanha – RS: Práticas e teorias a respeito das relações entre o meio ambiente, sociedade, cultura e políticas públicas. In: PEREIRA, F. G. (Org.). *A expansão da silvicultura sobre o Bioma Pampa: Impactos além dos campos*, 2010.

DUTRA DA SILVA, M. Os cultivos florestais do Pampa, no sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, Curitiba, v.42 n.1, p.215-226, jan/mar. 2012. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/26319/20345>. Acessado em: dez. 2019.

Embrapa Informática Agropecuária. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação-SATVeg**. Campinas, 2014. Disponível em: <<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>> Acessado em: dez. 2019.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento>>. Acessado em: jul. 2019.

EMBRAPA. Landsat – Land Remote Sensing Satellite. 2013. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>. Acessado em: nov. 2019.

FERREIRA, L. G.; et al. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.534-550, 2003

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Manual de Licenciamento Ambiental: guia de procedimento passo-a-passo. 2004. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf>. Acessado em: dez. 2019.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.

FOLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, London, v.478, n.7369, p.337-342, 2011.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 105p.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p.185-201, 2002.

GAUTREAU, P. Forestación, territorio y ambiente. Montevideo, Uruguay: Mastergraf, 2014. p.293.

GALVÃO, L. S. et al. Crop Type Discrimination Using Hyperspectral Data. Disponível em: <<http://pt.bookzz.or/book/2214344/2096ec>> Acessado em: set 2018.

GOODENOUGH, D. G. et al. Combining hyperspectral remote sensing and physical modeling for applications in land ecosystems. **IEEE- International Conference on Geosciences and Remote Sensing Symposium**, IGARSS'06, Denver, CO, pp. 2000-2004, 2006.

GOERGEN, L. C. de G., et. al. Índices NDVI e EVI-2 de Eucalyptus grandis sob diferentes sistemas de preparo do solo. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal, Brasil. SBCS. Anais, 2015.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; COSTA, B. S. C. 2007. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: DALL'AGNOL, M.; NABINGER, C.; SANT'ANNA, D.M.; SANTOS, R.J. (eds). II Simpósio de Forrageiras e Produção Animal. Dept. Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, Porto Alegre p.15-21.

HUETE, A. R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. vol.25, p.295-309, 1988.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POSTAR, D. F. Spectral response of plant canopies with diferente soil background. **Remote Sensing of Environmet**. v.17, p.37-53, 1985.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K VAN LEEUWEN. W. A; A comparasion of vegetatiton índices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environmet**. v.59, p.440-451, 1997.

HUETE, A.; DIDAN, K; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, n.83 p.195-213, 2002.

IBA – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**: brazilian tree industry. 2017. 80 p.

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas. **Bioma Pampa**. Disponível em: <<https://www.ibflorestas.org.br/bioma-pampa>>. Acessado em: dez 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura (PEVS)**, 2015, Rio de Janeiro, v.30, p.1-48, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS)**, 2017, Rio de Janeiro, v.32, p.1-8, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS)**, 2019, Rio de Janeiro, v.34, p.1-8, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Produção Agrícola Municipal (PAM): Culturas Temporárias Permanentes**, 2015, Rio de Janeiro, v.42, p.1-57, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Produção Agrícola Municipal (PAM)**, 2019, Rio de Janeiro, v.46, p.1-8, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População: Rio Grande do Sul**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rio-grande-do-sul/panorama>> Acessado em: jul. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População: São Gabriel**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-gabriel/panorama>> Acessado em: jul. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **PIB avança 1,0% em 2017 e fecha ano em R\$ 6,6 trilhões**, Rio Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20166-pib-avanca-1-0-em-2017-e-fecha-ano-em-r-6-6-trilhoes>>. Acessado em: set. 2019.

INPE - Instituto nacional de pesquisas espaciais. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite 1999-2000**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acessado em: dez. 2019.

INPE - Instituto nacional de pesquisas espaciais. **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: < <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/index.php>> Acessado em: dez. 2019.

JACQUIN, A., et al. Vegetation cover degradation assesment in Madagascar savana based on trend analysis of MODIS NDVI time series. **Internacional Journal of Applied Earth Observatiton and Geoinformation**, v.12S, 2010. p. S3-S10.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. et al. Parêntese, São José dos Campos, pp. 598, 2011.

JUSTICE, C. O. et al. **The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research**. IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v.36, n. 4, p.1228-1249, 1998.

KÖRTING, T. S. Classificação de imagens por regiões. São José dos Campos, 2006.
KUPLICH, M. T; CAPOANE, V; COSTA, F. F. L; O avanço da soja no Bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n.31, p.83-100, jun. 2018.

LATORRE, M. L., et al. **Produtos para ecossistemas terrestres – MOD-LAND**. In: B. F. T. Rudorff; Y. E. Shimabukuro; J. C. Ceballos. (Org.). Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p. 185–206.

LATORRE, M. L., et al. **Sensor MODIS: características gerais e aplicações**. Espaço e Geografia, v.6, n.1, p.91-121, 2003.

LIS, L.; AMARAL, L. Economia: PIB de 2016 é resultado de políticas que levaram o Brasil para a crise. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/pib-de-2016-e-resultado-de-politicas-que-levaram-o-brasil-para-a-crise-diz-meirelles.ghtml>>. Acessado em: set. 2019.

LOSSOU, E.; PREPREH, O.; AGYEMANG, G. Monitoring Land Cover changes in tropical high forest using-multitemporal remote sensing and spatial analysis tecnicas. **Remote Sensing Applications Society Environment**. 2019.

MAIRE, le. G. et al. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of Eucalyptus plantation biomass. **Remote Sensing of Environment**. v.115, p.2613-2625, 2011.

MENESES, P. R. et al. Introdução ao **Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB – CNPq. Brasília, 2012.

MENESES, P. R; NETO, J. da S. M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília. 2001. 262 p.

MENGUE, P. V; Utilização de séries temporais de imagens de moderada resolução espacial para monitoramento das mudanças do uso do solo e cobertura vegetal do Bioma Pampa. 122f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biomas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>>. Acesso em: dez 2019.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biomas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>>. Acesso em: dez 2019.

MORAS FILHO, et al. Classificador de máxima verossimilhança aplicado à identificação de espécies nativas na Floresta Amazônica. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Santos, INPE, São Paulo, 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação** (2ªed.). Brasil: UFV, 2003.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Landsat 8 Instruments**. 2017. Disponível em: < <https://www.nasa.gov/content/landsat-8-instruments#.UieDrzY3s0M>>. Acessado em: nov. 2019.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387p.

OLIVEIRA, J. A. Classificação de regiões usando atributos de forma e seleção de atributos. 2005. 104 p. (INPE-13746-TDI/1050). Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

OVERBECK, G. E. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v.9, n.1, p. 101-116, 2007.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. Avaliando a confiabilidade inter avaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa. *Rev. Esc. Enferm. USP*. v.1, n.37, p.72-80. 2003.

PILLAR, V. P. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. In: Valério de Patta Pillar et al. Editores. Brasília. MMA, 2009.

POLZI, W. B.; SANTOS, A. J.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; POLZL, P. K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira compensada - segmento da madeira serrada no Paraná. *Floresta, Curitiba*, v.33, n.2, p.127-134, maio/ago. 2003.

POZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens**. *Revista Rita*, v. 3, n.1, 2001.

ROSENDO, J. S. R. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS. 2005. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - 2005.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias.** 2011. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, 1973, Washington, DC. Proceeding... Washington, DC: NASA, 1973. p.309-317.

Rwanga, S. S.; Ndambuki, J. M. Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, v.8 ,n.4, p.611-622. Disponível em: <doi: 10.4236 / ijj.2017.84033>.

SAMPAIO, M. H. A. de; BOECKEL, S. R. O setor florestal no Rio Grande do Sul: uma abordagem preliminar. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 28, n.1, p. 201 - 229, 2000.

SANTOS, R. A. et al. Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais. In: Santos, R. A., et al. **As geotecnologias aplicadas aos recursos florestais**, Alegre-ES, p. 250, 2012.

Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão (RS). Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul: Mata Atlântica, 5 ed. 2019.

SEMA – Secretária Estadual do Meio Ambiente. **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul.** 2019. Disponível em: < <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acessado em: set. 2019.

SEMA – SECRETÁRIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Zoneamento Ambiental da Silvicultura: Diretrizes da Silvicultura por Unidade de Paisagem e Bacia Hidrográfica.** Volume II, 2010. 300 p.

SEVERO, M. C; MATTE, A; Políticas públicas para a pecuária no Bioma Pampa: análises para o Brasil e o Uruguai, **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, Belém, v.14, n.1, p.14-40, jun. 2020.

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Rio Grande do Sul. Brasília, DF: MMA, 2018. 83 p. (Série Relatórios Técnicos - IFN). Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes/1489-relatorio-ifn-rs>>. Acessado em: jul. de 2019.

SOARES, J. V., et al. Histórico e descrição. *In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C (Org.) Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil.* São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p. 3-21.

SOPCHAKI, C. H. et al. Averiguação da NBR 13133 junto aos padrões de exatidão cartográfica para fins de levantamentos topográficos altimétricos: estudo de caso em área no município de Nova Prata do Iguçu-PR. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasileira, v.3, n.68, p.471-480, 2016.

SOUZA, de B. R. Sensoriamento Remoto conceitos fundamentais e plataforma. **Notas de aula.** 2010.

- STEFFEN, C. A. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Apostila. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acessado em: jul. 2019.
- STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2002.
- SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L. A. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. In: PILLAR, V. P. (Org.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília. MMA, 2009. Cap. 3, p. 42-59.
- TEIXEIRA, S. D. **Influência do Estado e da Legislação sobre o setor florestal do Rio Grande do Sul**. 2016. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- TRENTIN, C.B.; Estoques de Carbono nas áreas de vegetação campestre da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã". F.98. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.
- TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **Internacional Journal of Remote Sensing**, v.7, n. 11, 1986. p.1395-1416.
- VALVERDE, S. R. **Coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável**. FBDS. 2019. Disponível em: <<https://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-29.pdf>>. Acessado em: jul. 2019.
- VELASCO, G. D. N. et al. Aplicação do índice de vegetação NDVI (normalized difference vegetation index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v.2, n.3, 2007.
- VERBESSELT. J. et al. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**, Australia, 2009.
- WANG, Q. et al. On the Relationship of NDVI with Leaf Area Index in a Deciduous Forest Site. **Remote Sensing of Environment**, v.94, p.244 - 255, 2005.