

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**VARIAÇÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR  
DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DO SENSOR  
MODIS ASSOCIADAS A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS  
PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Kátia Simone Backes**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

**VARIAÇÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR  
DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DO SENSOR MODIS  
ASSOCIADAS A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O  
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**por**

**Kátia Simone Backes**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Prof. Rudiney Soares Pereira**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

B126v

Backes, Kátia Simone, 1985-

Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul / Kátia Simone Backes. - 2010.

63 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.

“Orientador: Prof. Rudiney Soares Pereira”

1. Engenharia florestal 2. Vegetação 3. Comportamento espectral 4. Temperatura 5. Precipitação I. Pereira, Rudiney Soares II. Título

CDU: 630.18

Ficha catalográfica elaborada por  
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**VARIAÇÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA  
NORMALIZADA (NDVI) DO SENSOR MODIS ASSOCIADAS A  
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DO  
RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Kátia Simone Backes**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**Comissão Examinadora:**

**Rudiney Soares Pereira, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Mariane Alves Dal Santo, Dr<sup>a</sup>.** (UDESC)

**Luciano Farinha Watzlawick, Dr.** (UNICENTRO)

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2010.

**Aos meus pais Marlene e Arsélio,**  
meu exemplo de força e coragem.  
Obrigada pela vida!

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

À CAPES, pelo auxílio financeiro concedido durante a realização deste Curso.

Ao Professor Dr. Rudiney Soares Pereira, meu orientador, pelos ensinamentos transmitidos, pela orientação deste trabalho e, principalmente, pela amizade durante o transcorrer do Curso.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos conhecimentos transmitidos durante as aulas, pela atenção e disponibilidade.

Aos funcionários dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Engenharia Rural e Geomática, meu agradecimento pelo auxílio e amizade.

Aos membros da Banca Examinadora, Mariane Alves dal Santo e Luciano Farinha Watzlawick, pela disponibilidade e contribuições durante a defesa deste trabalho.

À minha família, em especial meus pais Marlene e Arsélio, pelo apoio incondicional, pela força, pelos conselhos. Amo vocês de todo o meu coração!

Aos meus colegas e amigos do Laboratório de Sensoriamento Remoto, Catize Brandelero, Elias Berra, Laura Goergen e Mateus Schuh. Pela família que formamos nestes dois anos de convivência, sempre muito alegre e acima de tudo, companheira. Obrigada por tudo!

Aos demais colegas e amigos por estarem presentes em todos os momentos dessa caminhada, compartilhando alegrias e aflições.

Obrigada.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Centro de Ciências Rurais  
Universidade Federal de Santa Maria

### **VARIAÇÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) DO SENSOR MODIS ASSOCIADAS A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Autor: Kátia Simone Backes  
Orientador: Dr. Rudiney Soares Pereira  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2010.

Os índices de vegetação, derivados de produtos de Sensoriamento Remoto, são poderosas ferramentas indicadoras do desenvolvimento da vegetação. Assim, este trabalho objetiva estudar o comportamento da vegetação florestal e agrícola através da análise da variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o Estado do Rio Grande do Sul, durante o ano de 2009, bem como correlacionar esse comportamento com as variáveis climáticas temperatura e precipitação. Para tanto utiliza imagens do produto MOD09 e dados meteorológicos do ano de 2009, além de dados cartográficos para construção do banco de dados, gerado do aplicativo SPRING, versão 5.1.3. Uma avaliação preliminar dos dados analisa visualmente as imagens geradas, e mostra ser possível observar mudanças no estado fenológico da vegetação a cada data considerada. Para a análise estatística utilizou-se o aplicativo R e o Excel 2007 para a análise exploratória dos dados e de correlação. Para a análise exploratória, os resultados mostraram valores médios no NDVI de áreas agrícolas que variam de pouco mais de 0,5 até aproximadamente 0,7, e de aproximadamente 0,65 até pouco mais de 0,8 para as áreas florestais. Os valores médios de NDVI descreveram curvas com comportamento semelhante, porém em níveis de respostas diferentes. A região de Júlio de Castilhos apresentou as maiores amplitudes de variação do NDVI, tanto para agricultura quanto floresta, indicando a heterogeneidade da vegetação. A análise de correlação para as variáveis NDVI Floresta e Temperatura alcançou 0,7613 e 0,6244 para São Borja e São Martinho da Serra, respectivamente. O NDVI Agricultura teve uma correlação de 0,5956 com a Temperatura na região de Caxias do Sul. As demais correlações para Temperatura e todas as para a Precipitação foram consideradas baixas, não permitindo associar as variáveis pretendidas.

Palavras-chave: comportamento espectral da vegetação; temperatura; precipitação.

## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Centro de Ciências Rurais  
Universidade Federal de Santa Maria

### **NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) OF MODIS SENSOR ASSOCIATED TO CLIMATIC VARIABLES TO THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL**

Author: Kátia Simone Backes  
Advisor: Dr. Rudiney Soares Pereira  
Date and Place of Defense: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2010.

The vegetation indexes, derived from products of remote sensing, are powerful tools which indicate the vegetation development. Thus, this work aims at studying the behavior of the forest and crop vegetation through the analysis of the variation of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to the state of Rio Grande do Sul, during the year of 2009, as well as to correlate such behavior to the climatic, temperature and precipitation variables. In order to accomplish it product images of MOD09 and meteorological data of the year 2009 were used, along with cartographic data in order to build up a data bank, generating the applicative SPRING, version 5.1.3. A preliminary assessment of the data visually analyses the generated images, and it demonstrates to be possible observing the changes in the phenological state of the vegetation on each considered date. The applicative R was applied to the statistical analysis and Excel 2007 to the explanatory data analysis and data correlation. To the explanatory analysis, the results demonstrate average values in NDVI of agricultural areas which go from a bit more than 0,5 to approximately 0,7, and from approximately 0,65 to a bit more than 0.8 for forest areas. The average values of NDVI describe curves with similar behavior, however in different response levels. The area of Julio de Castilhos presented the biggest amplitudes in the NDVI variation, both agricultural and forest, indicating the vegetation heterogeneity. The correlation analysis for the NDVI Forest and Temperature variables reached 0,7613 and 0, 6244 to São Borja e São Martinho da Serra, respectively. The Agriculture NDVI had a correlation of 0,5956 with the Temperature in Caxias do Sul. The other correlations for Temperature and all for Precipitation were considered low, they did not allow the association to the intended variables.

Key-words: vegetation spectral behavior; temperature; precipitation.

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – Informações sobre as imagens TERRA/MODIS.....	31
--	----

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	27
FIGURA 2 – Fluxograma das atividades.....	33
FIGURA 3 – Localização dos pontos de leitura de NDVI.....	35
FIGURA 4 – Evolução do NDVI durante o ano de 2009, para o Rio Grande do Sul.....	38
FIGURA 5 – Temperatura média para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	41
FIGURA 6 – Gráfico do tipo <i>Boxplot</i> para temperatura média para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	41
FIGURA 7 – Precipitação acumulada para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	42
FIGURA 8 – Gráfico do tipo <i>Boxplot</i> para precipitação acumulada para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	43
FIGURA 9 – Gráfico do tipo <i>Boxplot</i> para o NDVI de áreas agrícolas para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	44
FIGURA 10 – Gráfico do tipo <i>Boxplot</i> para o NDVI de áreas florestais para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.....	45
FIGURA 11 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Borja, em 2009.....	46
FIGURA 12 – Valores médios de NDVI para o Município de São Borja, em 2009.....	46
FIGURA 13 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Gabriel, em 2009.....	47
FIGURA 14 – Valores médios de NDVI para o Município de São Gabriel, em 2009.....	48
FIGURA 15 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de Encruzilhada do Sul, em 2009.....	49
FIGURA 16 – Valores médios de NDVI para o Município de Encruzilhada do Sul, em 2009.....	49
FIGURA 17 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de	50

Caxias do Sul, em 2009.....	
FIGURA 18 – Valores médios de NDVI para o Município de Caxias do Sul, em 2009..	51
FIGURA 19 – Precipitação acumulada para o Município de Iraí, em 2009.....	51
FIGURA 20 – Valores médios de NDVI para o Município de Iraí, em 2009.....	52
FIGURA 21 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de Júlio de Castilhos, em 2009.....	52
FIGURA 22 – Valores médios de NDVI para o Município de Júlio de Castilhos, em 2009.....	53
FIGURA 23 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Martinho da Serra, em 2009.....	54
FIGURA 24 – Valores médios de NDVI para o Município de São Martinho da Serra, em 2009.....	54

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

EQUAÇÃO 1 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (1974): NDVI.....	34
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Cobertura vegetal do Rio Grande do Sul.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Sensoriamento Remoto.....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Imagens de satélite.....	20
2.2.2 Sistema MODIS.....	21
2.2.3 Índices de Vegetação.....	23
<b>2.3 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica – SIG.....</b>	<b>24</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>27</b>
3.1 Clima.....	27
3.2 Vegetação.....	28
<b>4 MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Material, equipamentos e softwares utilizados.....</b>	<b>31</b>
4.1.1 Dados de Sensoriamento Remoto.....	31
4.1.2 Dados meteorológicos.....	31
4.1.3 Dados cartográficos.....	32
4.1.4 Aplicativos.....	32
<b>4.2 Método.....</b>	<b>32</b>
4.2.1 Seleção das imagens.....	33
4.2.2 Construção e manipulação do banco de dados geográfico (BDG).....	33
4.2.3 Processamento das imagens de satélite.....	34
4.2.4 Processamento das variáveis climáticas.....	36
4.2.5 Avaliação dos dados.....	36
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 NDVI para o Rio Grande do Sul.....</b>	<b>37</b>

<b>5.2 Dados meteorológicos.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3 NDVI para as diferentes regiões estudadas.....</b>	<b>43</b>
5.3.1 São Borja.....	45
5.3.2 São Gabriel.....	47
5.3.3 Encruzilhada do Sul.....	48
5.3.4 Caxias do Sul.....	49
5.3.5 Iraí.....	51
5.3.6 Júlio de Castilhos.....	52
5.3.7 São Martinho da Serra.....	53
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais, incluindo condições climáticas, topografia, solos e suas propriedades associadas. Sendo a vegetação um indicador das condições ambientais reinantes (temperatura, ciclo hidrológico, entre outros), as mudanças na sua dinâmica são um indicador útil das variações destas condições.

A interação entre os fatores ecoclimáticos e a dinâmica da cobertura vegetal no tempo e no espaço é uma informação básica para várias ações de monitoramento ambiental e é fundamental para os sistemas de modelagem dos processos de interação com a atmosfera, tanto em escala regional quanto global.

Desde a descoberta de que os vegetais extraem da radiação eletromagnética emitida pelo Sol parte da energia que necessitam para viver, a interação entre essa radiação e a vegetação passou a ser estudada detalhadamente.

Dados provenientes de sensores remotos aliados ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas têm sido muito utilizados para o mapeamento, monitoramento, caracterização, estudo da evolução do uso e cobertura da terra, entre outras atividades, uma vez que fornecem informações periódicas, de extensas áreas e com um menor custo do que as metodologias tradicionais.

O sensor MODIS caracteriza-se como o principal instrumento a bordo das plataformas TERRA e AQUA, lançadas com o intuito de estudar os processos de mudanças climáticas, dentro do programa internacional *Earth Observing System*. As peculiaridades deste sensor permitiram o desenvolvimento de alguns produtos, entre eles o MOD09, a partir do qual são calculados os índices de vegetação.

Estes índices de vegetação nada mais são do que a razão entre medidas de reflectância de bandas, principalmente na faixa do vermelho e do infravermelho próximo, e entre eles, um dos mais usados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este índice é considerado por muitos pesquisadores como um bom indicador do crescimento e do vigor da vegetação.

A aplicação do NDVI no estudo da dinâmica da vegetação é muito utilizada em todo mundo, principalmente em áreas com cultivos agrícolas com o objetivo de prever safras. Alguns estudos procuraram associar este índice a eventos isolados de baixas temperaturas e estiagem, abrangendo áreas relativamente pequenas, e cujos resultados se mostraram

satisfatórios. Para o Estado do Rio Grande do Sul, Rizzi e Fonseca, em 2001, analisaram a variação espacial e temporal do NDVI no Estado através de imagens AVHRR/NOAA, e mostraram que o índice apresenta alterações no espaço e no tempo, entretanto esta variação não foi relacionada a nenhum parâmetro que a pudesse explicar.

Afim de realizar um estudo a nível estadual e buscando fatores que possam explicar como se dá a variação do NDVI em diferentes formações vegetais, este trabalho teve por objetivo geral estudar o comportamento do índice de vegetação do sensor MODIS, durante o ano de 2009 para o Estado do Rio Grande do Sul, relacionando-o a variáveis climáticas.

Os objetivos específicos foram: 1) avaliar a variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), calculado a partir do produto MOD09 do sensor MODIS do ano de 2009, em áreas florestais e agrícolas do Estado do Rio Grande do Sul e, 2) correlacionar através de processos estatísticos a relação existente entre o comportamento do NDVI em áreas florestais e agrícolas, temperatura e precipitação registradas naquela situação.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cobertura vegetal do Rio Grande do Sul**

O Estado do Rio Grande do Sul, com uma área de aproximadamente 282 mil km<sup>2</sup>, possui algumas características bastante marcantes entre suas diferentes regiões, com relação aos tipos de vegetação que encobrem esse território em diferentes épocas do ano.

Com relação aos cultivos agrícolas, podem-se citar alguns de destaque: soja, trigo, arroz, milho, mandioca, fumo, uva, entre outros. A soja configura-se como o principal produto agrícola do Rio Grande do Sul. A área de produção se encontra difundida por todo o quadrante Noroeste do Estado e compreende algumas porções da Depressão Central e sobretudo o Planalto (Norte e Oeste). Caracterizada como uma cultura de primavera-verão, conforme Rizzi et al. (2007), a época de implantação da cultura no Estado inicia-se na segunda quinzena de outubro até meados de dezembro, sendo que a colheita ocorre desde março até o início de abril.

O milho e o arroz são também produzidos no período primavera-verão. O primeiro é cultivado em praticamente todo o Estado. Destaca-se nas áreas de pequena propriedade, aparecendo normalmente integrado a atividades criatórias de aves e suínos. Por isso, os maiores produtores encontram-se em municípios com estrutura fundiária assentada na pequena propriedade (RS, 2009).

Já o arroz é a cultura típica das áreas de menor altitude do Estado. É quase sempre uma cultura irrigada e na planície litorânea, em decorrência da pobreza dos solos arenosos, recebe considerável aplicação de adubos químicos. Os municípios que mais se destacam na produção de arroz localizam-se nas regiões da Fronteira Oeste e Sul do Estado, principalmente junto ao rio Uruguai e na região das lagoas (RS, 2009). Segundo D'Arco et al. (2007), considera-se o período de 15 de novembro a 15 de dezembro como o ideal para a semeadura da cultura, que, dependendo da classificação como precoce, média ou tardia, pode ser colhida após 115 a 160 dias da germinação.

A mandioca tem distribuição geográfica semelhante à do milho, sendo que o Estado é o quinto maior produtor nacional (RS, 2009). Além de utilizada na alimentação da população rural, é empregada como forragem por criadores de suínos e bovinos.

O Rio Grande do Sul é o Estado brasileiro que apresenta maior produção de fumo em folha. A cultura é típica de pequena propriedade e a maior produção está localizada no

entorno das indústrias de transformação e beneficiamento. A região do Vale do Rio Pardo é a maior produtora, seguida das regiões Centro-Sul e Sul.

Outra cultura importante do estado é a da uva. Na região de Bento Gonçalves e Garibaldi se localiza a maior concentração de produtores de vinho do país. Mais ao sul, na região da Campanha, está situada a segunda mais importante área produtora. As vinícolas gaúchas são premiadas internacionalmente, em razão da alta qualidade de seus vinhos e espumantes.

O trigo, de acordo com Marques e Quevedo (2008), é cultivado na maioria das vezes em associação com a soja, ou seja, as áreas que receberam soja, **após** sua colheita, recebem o plantio de trigo. Essa associação concentra-se principalmente no Norte do RS, no período de maio a outubro (inverno).

Devido a grande produção agropecuária no Rio Grande do Sul, merecem destaque também as pastagens naturais, presentes na campanha gaúcha, e as pastagens cultivadas, principalmente na porção Norte do Rio Grande do Sul. Estas pastagens cultivadas geralmente aparecem no inverno, com dois propósitos: garantir a alimentação do gado no período frio e manter o solo coberto.

No âmbito florestal, merecem destaque as florestas nativas que, de acordo com o Inventário Florestal Contínuo realizado em 2001, encobrem cerca de 17,44% do território do Estado (UFSM, 2002) e as florestas plantadas, que somavam em 2001, 274.748 ha, sendo 111.525 ha de eucalipto, 153.583 ha de pinus e 9.640 ha de acácia. Para a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2009), a evolução dos plantios de eucalipto e pinus no Estado têm aumentado significativamente nos últimos anos, principalmente com a instalação de empresas papeleiras nas Regiões Sul e Oeste.

Com relação às formações nativas, ocorrem no Rio Grande do Sul oito Regiões Fitoecológicas distintas, a saber: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; Estepe (Campos gerais planálticos e da campanha gaúcha); Savana Estépica; Áreas de Formações Pioneiras; e Sistema de transição (Áreas de Tensão Ecológica) (IBGE, 1992). Essas formações possuem grandes variações entre si, desde a composição de indivíduos, portes das espécies, estacionalidade, locais de ocorrência, entre outros.

É possível perceber, diante do que foi apresentado até aqui, que o Estado do Rio Grande do Sul apresenta diversos usos da terra, e que estes, no caso da agricultura, variam de acordo com a época do ano, ou estação climática.

O termo uso da terra está ligado à ação antrópica, ou seja, a destinação que o homem dá a terra e, nesse sentido, Skole (1994) afirma que o uso do solo é o emprego humano de certa cobertura da terra, o meio pelo qual a atividade humana se apropria dos resultados da produção primária líquida, conforme determinado por um complexo de fatores socioeconômicos.

Já o termo mudança de uso da terra, para Briassoulis (2000), significa transformações quantitativas na área (aumento ou diminuição) de um dado tipo de uso do solo. Segundo essa autora, essa mudança pode envolver a conversão de um uso em outro, ou ainda a modificação de certo tipo de uso no seu padrão de desenvolvimento do mesmo uso, e assim o uso da terra pode modificar um sistema formador da paisagem.

## **2.2 Sensoriamento Remoto**

Sensoriamento Remoto, cujo conceito clássico é dado por Lillesand e Kiefer (1994, p. 1): “... é a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.”

Para Novo (1989), o Sensoriamento Remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações.

O termo surgiu no início dos anos 60, quando pesquisadores concluíram que a Fotogrametria, “arte ou ciência de obter medidas confiáveis por meio da fotografia” (AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1952; 1966 apud JENSEN, 2009, p. 03), já não podia ser considerada o termo mais adequado a série de evoluções que aconteciam na área, como a expansão de pesquisas utilizando instrumentos além de câmeras e abrangendo regiões do espectro eletromagnético além do visível e do infravermelho próximo (JENSEN, 2009).

No Brasil, essa ciência, ou arte, tomou impulso na década de 1960, com o desenvolvimento do projeto RADAMBRASIL, que objetivava a realização de um levantamento integrado dos recursos naturais no país, proporcionando o treinamento e

especialização de diversos técnicos brasileiros que, até o momento, só tinham conhecimento de fotografias aéreas (ROSA, 1990).

A década de 80 foi marcada pela explosão tecnológica dos processadores digitais e uma queda acentuada nos custos. Em consequência, os sistemas especializados no processamento de imagens de Sensoriamento Remoto ficaram mais acessíveis, atingindo uma comunidade maior de usuários. A partir desta década, muitos esforços foram dedicados no emprego de dados coletados através de técnicas de Sensoriamento Remoto para a utilização em diversas aéreas (CRÓSTA, 1992).

Assim, atualmente, não se pode compreender o Sensoriamento Remoto apenas como a realização de um simples imageamento da superfície terrestre, pois ele permite o desenvolvimento de análises mais complexas. Sobre isso, Menezes e Madeira Neto (2001, p. 11), referindo-se ao Sensoriamento Remoto, ressaltam que:

Esses olhos conseguiram superar a visão do homem, estendendo a sua capacidade de identificar os objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda da luz normalmente percebidos. Com as imagens, tomadas em bandas espectrais, contidas no visível, no infravermelho refletido, no infravermelho termal e no domínio das microondas, a superfície terrestre, coberta pela vegetação, pelos afloramentos de rochas, pelos solos e pelos corpos d'água, passou a ser identificada com formas que desconhecíamos.

Para Rocha (2000), a evolução do Sensoriamento Remoto através do desenvolvimento de sensores mais potentes veio proporcionando ao longo do tempo imagens com resoluções cada vez melhores, associadas às técnicas de extração de informações oriundas do processamento de imagens, ampliando suas aplicações a diversas áreas do conhecimento: levantamento de recursos ambientais, análise ambiental, geologia, agricultura, florestas, estudos urbanos, entre outros.

A energia eletromagnética é o meio através do qual os dados dos objetos são transmitidos ao sensor, transformando-se através da sua frequência, intensidade e polarização em informação. As interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético. Após interagir com os objetos da superfície terrestre, a radiação é detectada por sensores a bordo de satélites. Um sistema sensor-imageador produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retro espalhamento destas trocas energéticas, num determinado instante, naquele espaço físico, tornando-se apto a extrair informações sobre aquela região (ROCHA, 2002).

Conforme Novo (1989), o Sensoriamento Remoto pode ser dividido em dois subsistemas: um de coleta de dados e outro de análise de dados. Para que o subsistema de

coleta de dados ocorra é necessária a existência de uma fonte de radiação (na maioria das vezes representada pelo Sol), a incidência desta radiação sobre a superfície terrestre, a ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície e a produção de radiação que retorna ao sensor após propagar-se pela atmosfera. O segundo subsistema é o de análise de dados; a energia que chega ao sensor se transforma em um sinal passível de interpretação.

Dados provenientes de sensores remotos, auxiliados por Sistemas de Informações Geográficas (SIG), têm sido muito utilizados para o mapeamento, monitoramento, caracterização, estudo da evolução do uso do solo, gerenciamento de propriedades, dentre outras atividades ambientais e agronômicas, pois, fornecem informações periódicas, de extensas áreas e com menor custo do que as metodologias tradicionais.

### 2.2.1 Imagens de satélite

Segundo Crósta (1992), as imagens provenientes de sensoriamento remoto servem como fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros, representando uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam.

De acordo com o mesmo autor, as imagens são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Cada “cela” desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo “linha e coluna”, representadas por x e y, respectivamente. O nome dado a essas celas é pixel, “picture element”, ou seja, a unidade mínima da imagem que representa a reflectância média de uma área da superfície, dentro do campo de visada instantânea (IFOV) do sensor colocado a bordo do satélite. As características de cada pixel variam em função das diferentes plataformas orbitais. Os valores médios da reflectância, coletados em diferentes comprimentos de onda, dependem do alvo e dos detectores de cada sensor. Nas imagens de satélites, esses valores são representados por níveis de cinza, os quais variam do preto ao branco.

As imagens oriundas dos sistemas sensores possuem alguns parâmetros inerentes, como a resolução espacial, espectral, radiométrica, temporal e largura da faixa imageada (ROCHA, 2000).

A resolução espacial, para Jensen (2009), é a medida de menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de sensoriamento remoto. De

forma simplificada, representa o tamanho do pixel. O Sensor MODIS, por exemplo, apresenta diferentes resoluções espaciais, entre elas 250 x 250 m, 500 x 500 m, as quais são consideradas imagens de baixa resolução espacial.

A resolução espectral é o número e a dimensão (tamanho) de intervalos de comprimentos de onda específicos (chamados bandas ou canais) no espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível (JENSEN, 2009).

A resolução radiométrica representa a menor diferença de brilho que um sistema sensor é capaz de perceber, determinando se o alvo pode ser visto na imagem em função de seu contraste com alvos vizinhos. Essa resolução está relacionada ao número de níveis de cinza usados para expressar os dados coletados pelo sensor, considerando que, quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica (SILVA, 1995).

A resolução temporal se refere a quão frequentemente o sensor registra imagens de uma área particular (JENSEN, 2009). Essa resolução torna-se importante para a identificação de processos que se modificam de forma dinâmica, permitindo o monitoramento de diferentes recursos (SILVA, 1995).

A largura da faixa imageada, para Rocha (2000), ou largura da faixa de varredura, é uma característica que varia de acordo com o satélite imageador. O satélite LANDSAT, por exemplo, possui a largura da faixa de imageamento de 185 km; já o sensor MODIS possui uma largura de 2.330 km.

### 2.2.2 Sistema MODIS

O Comitê Espacial Norte Americano mantém, desde 1980, um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície da Terra, oceanos e atmosfera, e suas interações, denominado Earth Observing System (EOS). O objetivo deste programa é determinar como a Terra está mudando e quais as consequências para a vida no planeta, desenvolvendo um entendimento de seu funcionamento como um sistema único e interligado. Estes dados adquiridos em todo o planeta permitem um monitoramento de longa duração da superfície, necessários para o entendimento de mudanças globais (JUSTICE et al., 2002).

Neste projeto, estão previstos os lançamentos de diversos satélites, e o primeiro, o satélite TERRA, foi lançado em dezembro de 1999, iniciando a coleta de dados em fevereiro de 2000, com horário de passagem pelo Equador às 10h30min e órbita descendente. Este satélite possui cinco sensores: MODIS, MISR, ASTER, CERES e MOPITT. O segundo satélite, denominado AQUA, foi lançado em maio de 2002, com horário de passagem pelo

Equador às 13h30min e órbita ascendente, portando os sensores: MODIS, AMSU, HBS, AMSR-E e CERES.

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) é o principal instrumento a bordo dos satélites TERRA e AQUA. É um instrumento designado a mensurar os processos biológicos e físicos globais com observações de toda superfície terrestre a cada um ou dois dias, adquirindo dados de alta sensibilidade radiométrica em 36 bandas espectrais que se situam entre 0,4  $\mu\text{m}$  e 14,4  $\mu\text{m}$  e se distribuindo em diferentes grupos de resolução espacial. Duas bandas são adquiridas na resolução de 250 m (1 – 2), outras cinco bandas na resolução de 500 m (3 – 7) e as demais 29 bandas em 1 km (8 – 36). A varredura de 55° para cada lado na órbita de 705 km de altura resulta numa faixa imageada de 2.330 km (SOARES et al., 2007).

Os dados brutos coletados pelos sensores a bordo das plataformas que compõem o EOS, são enviados a um centro de pesquisa, onde são processados e divididos em cinco níveis (0 a 4), e de acordo com o grau de processamento realizado, passam a ser chamados de produtos.

As características de cada uma dessas 36 bandas permitiram o desenvolvimento inicial de 44 produtos MODIS padrão, os quais pesquisadores de diversas áreas têm utilizado para o estudo de mudanças globais. Entre eles e na categoria de aplicação Continente, está o MOD09, ou Reflectância de Superfície. Este produto é usado basicamente como dado de entrada para obtenção de diversos outros produtos da superfície terrestre, como os índices de vegetação (LATORRE et al., 2007).

O conceito da política de distribuição gratuita das imagens e produtos de alta qualidade tem viabilizado o uso dos dados MODIS em um grande número de estudos e por usuários do mundo inteiro, indistintamente.

Dada às características dos dados MODIS (largura da faixa de imageamento, alta resolução temporal e baixa resolução espacial), Anderson et al. (2003), relatam que as imagens índices de vegetação, obtidas dos dados MODIS (MOD13) têm como objetivo fornecer dados consistentes para comparações temporais e espaciais das condições da vegetação, em nível global, ou seja, monitorar a atividade fotossintética da vegetação para detectar mudanças no vigor vegetativo e associar as condições biofísicas e fenológicas das mesmas.

Vários tipos de estudos têm sido desenvolvidos a partir de dados MODIS, principalmente para áreas agrícolas, entre eles, o trabalho de Goltz (2007), cujo objetivo era verificar se o produto de reflectância da superfície (MOD09), fornecido pelo sensor MODIS,

possuía confiabilidade e precisão para o monitoramento de áreas de soja. O estudo concluiu que quando comparado a dados de campo, naquelas condições, o produto MOD09 apresentou resultados satisfatórios.

Em outro estudo, realizado para lavouras de café do Estado do Paraná, Rafaelli e Moreira (2007) apresentaram como objetivos avaliar o potencial dos dados MODIS para detectar a abrangência da área cafeeira atingida pela geada e avaliar o potencial das imagens MODIS para detectar mudanças no comportamento espectral de áreas cafeeiras em tempo hábil. Diante das conclusões alcançadas, os autores recomendam empregar imagens MODIS para avaliar qualitativamente o impacto da geada e, para quantificar a área de café atingida, deve-se usar imagens de melhor resolução espacial, como as do TM/LandSat ou CCD/CBERS.

### 2.2.3 Índices de Vegetação

Desde a década de 60, cientistas vêm extraindo e modelando muitos parâmetros biofísicos da vegetação com o uso do Sensoriamento Remoto, e grande parte desse esforço envolve a utilização de índices de vegetação, os quais se configuram como medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, entre outros. (JENSEN, 2009).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou NDVI, foi proposto por Rouse et al. (1974), a partir da normalização do Índice de Vegetação da Razão Simples para o intervalo de -1 a +1. Consiste numa relação entre as medidas espectrais (reflectância -  $\rho$ ) de duas bandas, a do infravermelho próximo ( $\rho_{ivp}$ ) e a do vermelho ( $\rho_v$ ).

Embora numericamente os valores do NDVI possam variar no intervalo acima mencionado, a vegetação está associada aos valores positivos. Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2007) o limite superior aproxima-se de 0,80, que, de acordo com Silva et al. (2007), está associado a vegetação vigorosa. Materiais que refletem mais intensamente na porção do vermelho em comparação com o infravermelho próximo (nuvens, água, neve) apresentam índice negativo. Solos descobertos e rochas refletem os dois comprimentos de onda em intensidade semelhante, logo, o NDVI aproxima-se de zero (RIZZI, 2004).

Este índice tem sido usado basicamente para estimar biomassa e mudanças no desenvolvimento das comunidades vegetais (BATISTA et al., 1993; FRASER et al., 2000; HAMADA, 2000; VOLPATO, 2002). Como ferramenta para o monitoramento da vegetação,

o NDVI é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo a comparação desses perfis.

Existem vários trabalhos utilizando dados de NDVI na agricultura para monitoramento de áreas de cana-de-açúcar, estimativa de previsão de safras de café, estimativa de produtividade de soja, estimativa de área plantada com arroz (Rosa, 2007; D'Arco et al, 2007; Rafaelli e Moreira, 2007; Aguiar, 2008).

É significativo o número de estudos que tem relacionado o índice a variáveis hidrológicas, em especial a precipitação (AL-BAKRI e SULEIMAN, 2004; NEZLIN et al., 2005). Em um estudo pioneiro, Assad et al. (1988) estudaram a correlação entre dados de imagens de satélite e dados pluviométricos e observaram que a pluviometria é um dos fatores mais limitantes ao desenvolvimento da vegetação. De encontro a este estudo, Batista et al. (1993), monitorando a cobertura florestal através de índices de vegetação do Sensor NOAA-AVHRR, concluíram que mudanças fenológicas na vegetação ocorridos após períodos de seca, ocasionados pelo El Niño, podem ser observados através do NDVI.

Santos et al. (2009), avaliando valores de NDVI médios de áreas cafeeiras no ano de 2008 para a região de Três Pontas (MG) e relacionando-os com a pluviosidade, demonstraram ser possível relacionar dados obtidos do Sensor MODIS/TERRA com a precipitação, além de ser possível monitorar tanto o vigor vegetativo dos cafezais como seu déficit hídrico.

Além de relacionar a pluviosidade aos índices de vegetação, alguns estudos tem relacionado a temperatura aos mesmos para tentar explicar o comportamento variável do NDVI em alguns períodos do ano, principalmente nos que não há déficit hídrico. Sobre isso, Junges et al. (2007), concluíram que quedas nos índices de vegetação em agosto de 2006, em áreas de cultivo de cereais de inverno, foram ocasionadas por baixas temperaturas e geadas ocorridas no final de julho e em agosto. Conforme os mesmos autores, neste período de agosto as culturas encontravam-se ainda em estágio vegetativo e/ou início do florescimento. O estágio de desenvolvimento no qual seria esperada a queda do NDVI é a maturação fisiológica.

### **2.3 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica – SIG**

Com o advento da informática na automação de processos, surgiram ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação das informações espaciais georreferenciadas, sendo que a ligação técnica e conceitual dessas ferramentas propiciou o

desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada Geoprocessamento (ROCHA, 2002).

O geoprocessamento pode ser definido também como:

A tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados. Dentro dessa perspectiva, o principal objetivo dessa técnica é fornecer ferramentas computacionais, para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre os diferentes fenômenos (TEIXEIRA, 1997).

Esta tecnologia é considerada por muitos estudiosos como sendo uma tecnologia multidisciplinar, pois permite a convergência de diferentes disciplinas científicas. Para Câmara e Davis (2001),

O geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para o geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

No Brasil o desenvolvimento do geoprocessamento aconteceu na década de 80, em que surgiram vários grupos de estudo, bem como, o desenvolvimento de vários aplicativos, como MaxiDATA, SAGRE, SITIM e SRING (CÂMARA e DAVIS, 2001). Atualmente, as geotecnologias estão cada vez mais presentes nos diversos órgãos, sejam eles públicos ou privados, com o objetivo de auxiliarem na tarefa de planejamento e gerenciamento rural, urbano e ambiental.

O manuseio e interpretação de grandes conjuntos de dados obtidos de forma diversificada têm levado os pesquisadores a utilizarem sistemas computacionais não somente para armazenamento dos dados, mas que possibilitem a sua análise conjunto ou integrada. Esta necessidade conduziu ao desenvolvimento e operacionalização de aplicativos computacionais denominados de SIGs.

Do ponto de vista de Rocha (2002), SIG é um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Um SIG integra, em uma única base de dados, as informações espaciais provenientes de um relatório de levantamentos de solos, imagens de satélite ou de radar, mapas geológicos, geomorfológicos, planialtimétricos, climáticos e mapas de vegetação (RIBEIRO, 2006). Assim, para Gonçalves (2004), a característica principal dos SIGs é a capacidade que estes tem de gerar representações cartográficas relativas às regiões de interesse, integrando as informações.

No desenvolvimento de trabalhos que utilizem essas ferramentas, é importante a escolha do SIG que permita estudar todos os dados necessários. Segundo Câmara e Freitas (1995 apud SANTOS et al., 1997), na escolha do SIG é interessante avaliar a sua capacidade de construir e manter grandes bases de dados espaciais, trabalhar diferentes informações, integrar os dados e promover a projeção temporal e espacial dos dados acumulados.

O geoprocessamento, aliado ao SIG, permite o armazenamento e a manipulação de todo e qualquer tipo de informação georreferenciada, possibilitando o monitoramento contínuo de fenômenos espaciais de forma bastante ágil quando comparado aos métodos tradicionais.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Rio Grande do Sul, localizado no extremo meridional do Brasil, ou região Sul, ocupa uma área de aproximadamente 282.000 km<sup>2</sup>, correspondente a 3,3% do território nacional (RS, 2009). Faz fronteira com o estado de Santa Catarina ao Norte e com dois países: a Argentina, a Oeste, e o Uruguai, ao Sul, sendo banhado pelo oceano Atlântico em toda fachada Leste (Figura 1).

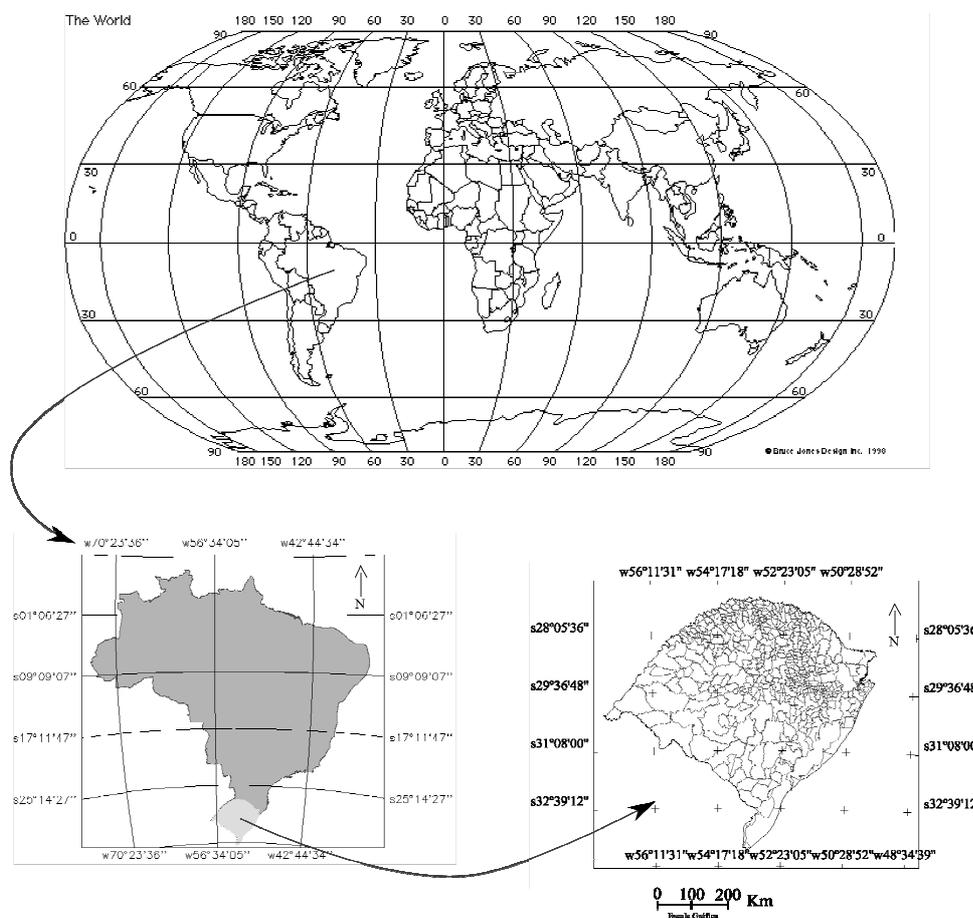


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

#### 3.1. Clima

Devido à sua posição geográfica, o Rio Grande do Sul apresenta grandes diferenças climáticas em relação ao Brasil. A latitude reforça as influências das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica. A movimentação e os encontros destas massas definem muitas das características climáticas (RS, 2009).

Moreira e Costa (1995, p. 29) comentam que:

Quanto aos aspectos climáticos, o estado está numa zona temperada, subtropical, semi-úmida caracterizada por grandes variações térmicas. Um tipo de clima que facilita o desenvolvimento das atividades econômicas básicas do Rio Grande do Sul, a pecuária e a agricultura.

Pela classificação climática de Köppen (apud Simões, 1954), o clima do Rio Grande do Sul é definido como mesotérmico de chuvas bem distribuídas, caracterizado por seus verões quentes e invernos frios na maior parte do Estado. As temperaturas apresentam grande variação sazonal, sendo relatada a ocorrência de geada e precipitação eventual de neve em pontos de maior altitude durante o inverno. As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C (RS, 2009).

Relativo às precipitações, o Estado apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, em decorrência das massas de ar oceânicas que penetram no Estado. No entanto, o volume de chuvas é diferenciado. Ao sul a precipitação média situa-se entre 1.300 e 1.500 mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800 mm, com intensidade maior de chuvas a nordeste do Estado, especialmente na encosta do planalto, local com maior precipitação no Estado (RS, 2009).

### 3.2 Vegetação

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1992) considera que no Rio Grande do Sul acontecem as seguintes Regiões Fitoecológicas: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual; Estepe (Campos gerais planálticos e da campanha gaúcha); Savana Estépica; Áreas de Formações Pioneiras; e Sistema de transição (Áreas de Tensão Ecológica).

A Floresta Ombrófila Densa tem como principal característica ecológica ocorrer em ambientes com os índices pluviométricos mais elevados da região litorânea. A precipitação bem distribuída durante o ano determina uma situação bioecológica praticamente sem período seco. Esta vegetação apresenta três estratos definidos, o superior formado por espécies dominantes como o tanheiro (*Alchornea triplinervia*), o angico (*Parapiptadenia rígida*), a canela-preta (*Ocotea catharinensis*), entre outras. No estrato intermediário destaca-se a ocorrência do palmito (*Euterpe edulis*), espécie ameaçada de extinção no RS, e no estrato arbustivo são encontradas inúmeras espécies, como a samambaia preta (*Hemitelia setosa*) e o xaxim (*Dicksonia sellowiana*). Sua ocorrência no Rio Grande do Sul está restrita à região

nordeste do Estado, recobrando a encosta leste do Planalto Meridional (Serra Geral), em altitudes que vão desde a Planície Costeira, quase ao nível do mar, até cerca de 900 m, junto à borda do Planalto (IBGE, 1992).

A Floresta Ombrófila Mista é caracterizada por apresentar o estrato superior dominado pela *Araucária angustifolia*, que dá a paisagem uma fisionomia própria. O estrato inferior é constituído por árvores mais baixas ou arbustos arborescentes, pertencente em grande parte às Mirtáceas, sendo comum a casca d'anta (*Drymis brasiliensis*) e o pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*). É uma floresta típica do Planalto Meridional, ocorrendo no RS em altitudes entre 500 m ao oeste a 1.000 m a leste, onde se destacam três núcleos principais: na borda dos Aparados entre o rios Maquiné e das Antas, na borda da encosta sul do Planalto, entre os rios Taquari e dos Sinos e em pleno Planalto Central, no curso superior do rio Jacuí (IBGE, 1992).

A Floresta Estacional Semidecidual, cuja principal característica ecológica é representada pela dupla estacionalidade climática, representada no Estado pela chamada seca fisiológica, provocada pelo frio intenso do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. A percentagem das árvores que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50%. Além das florestas semidecíduais localizadas na região da encosta inferior do nordeste, merecem destaque as localizadas na serra do sudeste, a oeste das Lagoas dos Patos e Mirim, onde, em função das características edáficas, estão inseridas numa paisagem diferenciada, formada por um mosaico de vegetação muito variada, que inclui os campos limpos, campos sujos, matas arbustivas e florestas-parque (IBGE, 1992).

A Floresta Estacional Decidual é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas. No RS, embora o clima seja ombrófilo, possui uma curta época muito fria e que ocasiona, provavelmente, a estacionalidade fisiológica da floresta. Esta formação ocorre na forma de disjunções florestais apresentando o estrato dominante predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhas no período frio. Sua ocorrência é destacada na região do Alto Uruguai, ao norte do Estado, e na borda sul do Planalto, acompanhando a Serra Geral, até as proximidades do rio Itu (afluente do rio Ibicuí), fazendo limite com os campos da Campanha gaúcha (IBGE, 1992).

A Estepe, também conhecida como Campos gerais planálticos e da campanha gaúcha, apresenta fisionomia bastante variável, proporcionando uma grande diversidade de formações locais, em face, principalmente das várias diferenciações de solo. Nos campos localizados nas altitudes mais elevadas do Estado, os denominados Campos de Cima da Serra, ocorrem capões de Araucária e de solos turfosos com gramíneas, tibouchinas e juncais. Os chamados Campos da Campanha, localizados em altitudes de até 300 m, apresentam uma grande

variabilidade de formações vegetais, constituídas pelas famílias das gramíneas, compostas e leguminosas (IBGE, 1992).

A classificação Savana Estépica é empregada para denominar a área do “sertão árido nordestino” com dupla estacionalidade e também uma área disjunta no norte do Estado de Roraima e duas outras áreas também disjuntas, uma no extremo sul do Mato Grosso e outra na barra do rio Quaraí, no Rio Grande do Sul. A disjunção do “Parque do Espinilho” ocorre na planície alagável situada no extremo sudoeste do RS. Encontra-se ainda bastante preservada e seus ecotipos naturais revestem terrenos de deposição recente, localizados entre os rios Quaraí e Uruguai (IBGE, 1992).

As Áreas de Formações Pioneiras situam-se na Planície Costeira e ao longo da rede hidrográfica da Depressão Central e da Campanha. Nestas áreas encontram-se espécies desde herbáceas até arbóreas, com ocorrência de variadas formas biológicas, adaptadas às diferentes condições edáficas aí reinantes. As formações vegetais encontradas são de influência marinha (restinga), fluvial (comunidades aluviais) e fluvio-marinha (manguezal e campos salinos) (IBGE, 1992).

O chamado Sistema de transição, ou Áreas de Tensão Ecológica, é dividido em: Ecótono – que representa uma área de mistura florística entre tipos de vegetação (Ex. Floresta Ombrófila Mista/Floresta Estacional Decidual) e Enclave – em que áreas disjuntas se contatam, mas onde cada uma guarda suas características ecológicas (IBGE, 1992).

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 Material, equipamentos e softwares utilizados

#### 4.1.1 Dados de Sensoriamento Remoto

Utilizaram-se imagens do sensor MODIS do satélite TERRA, órbitas ponto h13v11 e h13v12, conforme Tabela 1. Estas imagens são disponibilizadas gratuitamente pela NASA e foram adquiridas no endereço eletrônico: <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/>. Para este trabalho foram obtidos os produtos de reflectância de superfície MOD09, com resolução radiométrica de 16 bits e resolução espacial de 250 m.

**Tabela 1 – Informações sobre as imagens TERRA/MODIS.**

Produto	Dados disponíveis	Característica	Data	Dia Juliano	Bandas
MOD09GQ	Reflectância de superfície	Imagens diárias – 250m	06/01/09	006	1 e 2
			21/01/09	021	
			07/02/09	038	
			20/02/09	051	
			05/03/09	064	
			18/03/09	077	
			03/04/09	093	
			17/04/09	107	
			03/05/09	123	
			22/05/09	142	
			03/06/09	154	
			20/06/09	171	
			02/07/09	183	
			20/07/09	201	
			12/08/09	224	
			27/08/09	239	
			21/09/09	264	
			12/10/09	283	
			27/10/09	300	
			09/11/09	313	
05/12/09	339				
19/12/09	353				

#### 4.1.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho, temperatura do ar e precipitação, referentes ao ano de 2009, foram obtidos junto Centro de Previsão de Tempo e Estudos

Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), através de Plataformas de Coletas de Dados (PCDs) espalhadas por todo Brasil. Os dados são disponibilizados pelo site: <http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>.

Estas plataformas são equipamentos completamente automáticos, que dispõe de sensores eletrônicos capazes de medir precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento, nível de corpos de água, entre outros.

Considerando o Estado do Rio Grande do Sul, foram selecionadas as PCDs localizadas nos municípios de Caxias do Sul, Encruzilhada do Sul, Iraí, Júlio de Castilhos, São Borja, São Gabriel e São Martinho da Serra.

#### 4.1.3 Dados cartográficos

Como suporte para as análises das imagens de satélite, utilizou-se a malha estadual fornecida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM).

#### 4.1.4 Aplicativos

Para a realização do trabalho, utilizou-se:

- Conversor de Imagens MODIS: MRT Modis Tool;
- Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING, versão 5.1.3;
- Planilha eletrônica Excel 2007;
- Software estatístico R: *A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*", versão 2.9.0;
- Editor de textos Word 2007.

## 4.2 Método

A sequência de tarefas adotada neste trabalho consistiu das seguintes etapas:

- Seleção das datas das imagens a serem adquiridas;
- Construção e manipulação do banco de dados do SPRING;
- Processamento dos dados TERRA/MODIS;
- Processamento das variáveis climáticas;
- Avaliação dos dados.

Esses passos podem ser melhor visualizados na Figura 2.

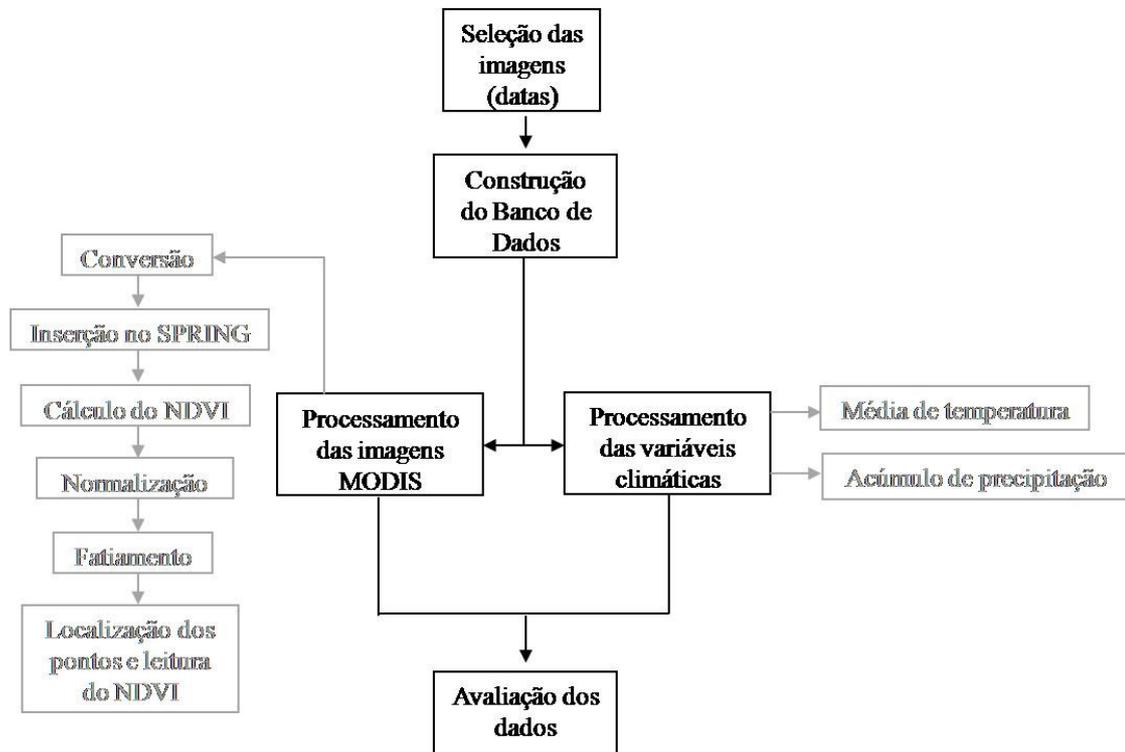


Figura 2 – Fluxograma das atividades.

#### 4.2.1 Seleção das imagens

Como mencionado na revisão bibliográfica, os quadros de imagem do MODIS possuem uma área de 1.200 km x 1.200 km de lado. Assim, o território do Rio Grande do Sul é composto por duas imagens, sendo que a parte norte integra uma imagem (cena h13v11) e a parte sul o quadro de imagem imediatamente abaixo (cena h13 v12).

As datas das imagens de satélite adquiridas para a realização deste trabalho foram selecionadas buscando-se um intervalo de aproximadamente 15 dias entre imagens, afim de ter duas imagens por mês. Devido à cobertura de nuvens presente em algumas imagens, estas tiveram que ter suas datas alteradas para um intervalo menor ou maior que 15 dias. Ao final da seleção, chegou-se ao número de 22 datas de aquisição de imagem, totalizando 44 imagens.

#### 4.2.2 Construção e manipulação do banco de dados geográfico (BDG)

O BDG foi criado no aplicativo SPRING, no qual foram estruturados planos de informação (PI), sendo cada PI representante de um tipo de dado.

#### 4.2.3 Processamento das imagens de satélite

Inicialmente, todas as imagens de satélites inseridas no banco de dados do SPRING, passaram por uma etapa denominada de pré-processamento, que consistiu em preparar as imagens para extrair delas as informações desejadas.

Após a aquisição das imagens MODIS utilizou-se o Modis Reprojection Tool (MRT), programa fornecido pela NASA através do endereço eletrônico <http://edc.usgs.gov/programs/sddm/modisdist/index.shtml>, para conversão das imagens do formato nativo, HDF, para o formato TIF. O MRT também possibilitou a conversão de projeção, de sinusoidal para geográfica.

Após a conversão, as imagens foram importadas para o banco de dados do SPRING, no formato de mosaico, a fim de dinamizar o processo posterior. Os mosaicos referentes a cada data foram então recortados segundo o limite do Rio Grande do Sul.

O sensor MODIS, embora seja considerado hiperespectral, isto é, opera em 36 bandas, não possui uma boa resolução espacial. Desta forma, a maneira mais eficiente para tratar essas imagens foi transformá-las em índices de vegetação, pois esses índices, em geral, são obtidos a partir das informações espectrais de apenas duas ou três bandas.

Assim, utilizou-se para o tratamento das imagens MODIS, o índice NDVI, implementado através de programa em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

Para o cálculo do NDVI utilizou-se a equação 1, proposta por Rouse et al. (1974):

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{ivp}} - \rho_{\text{v}}) / (\rho_{\text{ivp}} + \rho_{\text{v}}) \quad (1)$$

em que: NDVI = Normalized Difference Vegetation Index;

$\rho_{\text{ivp}}$  = banda do infravermelho próximo (841 – 876 nm);

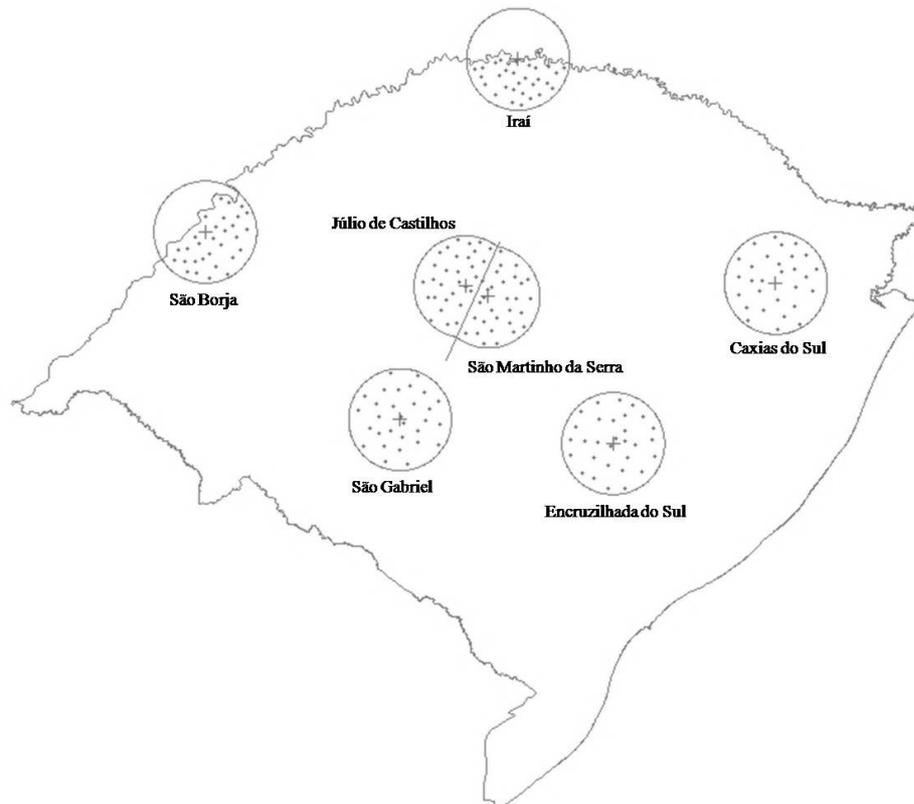
$\rho_{\text{v}}$  = banda do vermelho (620 – 670 nm).

O resultado da aplicação da Equação 1 são imagens índices, que são geradas em número digital em uma categoria modelo numérico do terreno (MNT). Os valores de  $\rho_{\text{ivp}}$  e  $\rho_{\text{v}}$  de entrada são representados por uma grade numérica com sinal de 16 bits, ou seja, com

valores de nível digital variando de  $-32.768$  a  $+32.767$ . Em função disto foi necessário normalizar estas imagens. A normalização consiste em atribuir um novo intervalo aos dados, em que  $-32.768$  passa a ser  $-1$  e  $+32.767$  passa a ser  $+1$ .

Para finalizar fatiou-se o NDVI em classes, gerando-se uma categoria temática para possibilitar a visualização da variação do NDVI. Neste fatiamento, considerou-se que os valores de NDVI entre  $-1$  e  $0$  não eram significativos para este estudo, e os mesmos foram alocados em uma mesma classe, e receberam a cor azul. Já os valores entre  $0$  e  $+1$  foram divididos em cinco classes, a saber: de  $0-0,2$ ;  $0,2-0,4$ ;  $0,4-0,6$ ;  $0,6-0,8$ ;  $0,8-1$ . A cada uma destas classes, foi atribuída uma cor.

Posteriormente foi criada uma malha de pontos correspondente a localização das sete Plataformas de Coleta de Dados, de onde foram adquiridos os dados climáticos. A partir de cada ponto foi delimitado um raio de  $50$  km, dentro do qual foram marcados aleatoriamente  $30$  pontos amostrais para tomada de leitura dos valores de NDVI em áreas agrícolas e florestais. Uma representação dos pontos de coleta pode ser observada na Figura 3.



**Figura 3 – Localização dos pontos de leitura de NDVI.**

O próximo passo consistiu em proceder as leituras dos valores de NDVI, para cada ponto amostral, em cada uma das 22 imagens, correspondentes ao intervalo de 06 de janeiro a 19 de dezembro de 2009. Esses valores foram organizados em Planilha eletrônica Excel.

#### 4.2.4 Processamento das variáveis climáticas

As variáveis climáticas são disponibilizadas gratuitamente pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em arquivos contendo leituras automáticas feitas a cada três horas, ou seja, 00h00min, 03h00min, 06h00min, 09h00min, 12h00min, 15h00min, 18h00min e 21h00min. Para este trabalho foram utilizadas as leituras tomadas às 09h00min.

Para os dados de temperatura, foram calculadas as médias referentes ao intervalo entre duas imagens subsequentes. Para a precipitação, foi considerada a chuva acumulada entre o intervalo de imagens subsequentes.

#### 4.2.5 Avaliação dos dados

Uma avaliação preliminar foi feita nas imagens fatiadas de NDVI, cujo objetivo foi avaliar visualmente o comportamento do NDVI no decorrer do ano de 2009. Em outras palavras, analisar o potencial das imagens MODIS, através do NDVI, no monitoramento do comportamento da vegetação.

Após esta avaliação, procedeu-se a análise de alguns gráficos do tipo *BOXPLOT*, buscando visualizar a variabilidade do NDVI para as diferentes áreas e estudo. Posteriormente foram realizados testes estatísticos de correlação, com o intuito de verificar possíveis relações da temperatura e da precipitação no comportamento da vegetação, expresso através do NDVI.

Para os testes de correlação, arbitrou-se que valores entre 0,5 – 1 e -0,5 – -1 seriam considerados significativos, e que os valores entre -0,5 – 0,5 seriam considerados insignificantes.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Primeiramente, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da equação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o Estado do Rio Grande do Sul, através de uma análise visual. A seguir são mostrados os dados de temperatura e precipitação relativos a todas as Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) analisadas e, finalmente, são apresentados os resultados do NDVI associados à temperatura e precipitação para cada uma das regiões estudadas.

### **5.1 NDVI para o Rio Grande do Sul**

Os índices de vegetação, entre eles o NDVI, apresentam-se como razões entre reflectâncias referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo; o que eles registram servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação, podendo ser associados a vários parâmetros biofísicos da vegetação.

Na Figura 4 podem ser observados os resultados obtidos com a aplicação da equação do NDVI para o Estado do Rio Grande do Sul durante o período de estudo, 06 de janeiro a 19 de dezembro de 2009. Nota-se um bom resultado no que se refere ao aspecto visual dos índices, ou seja, mesmo sem efetuar uma análise mais elaborada, utilizando para tal outras técnicas, foi possível visualizar as mudanças ocorridas no estado fenológico da vegetação.

Os níveis de cinza da imagem original foram relacionados a valores de NDVI que variam entre -1 e +1, e a estes, através do fatiamento, foram estipuladas novas cores. Assim, os tons de verde mais escuro estão relacionados aos valores mais elevados de NDVI e, conseqüentemente, maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa. À medida que o tom de verde vai clareando, transformando-se em amarelo, significa que os valores de NDVI estão diminuindo. Valores de NDVI entre -1 e 0 (zero) são representados pela cor azul, e as manchas brancas presentes em algumas imagens referem-se a nuvens.

É possível observar na figura que existem significativas alterações no NDVI de uma data para outra. Os meses de janeiro, fevereiro e março, alusivos ao período de verão, apresentam imagens em que as cores predominantes são os tons de verde, indicando que a vegetação encontra-se ativa.

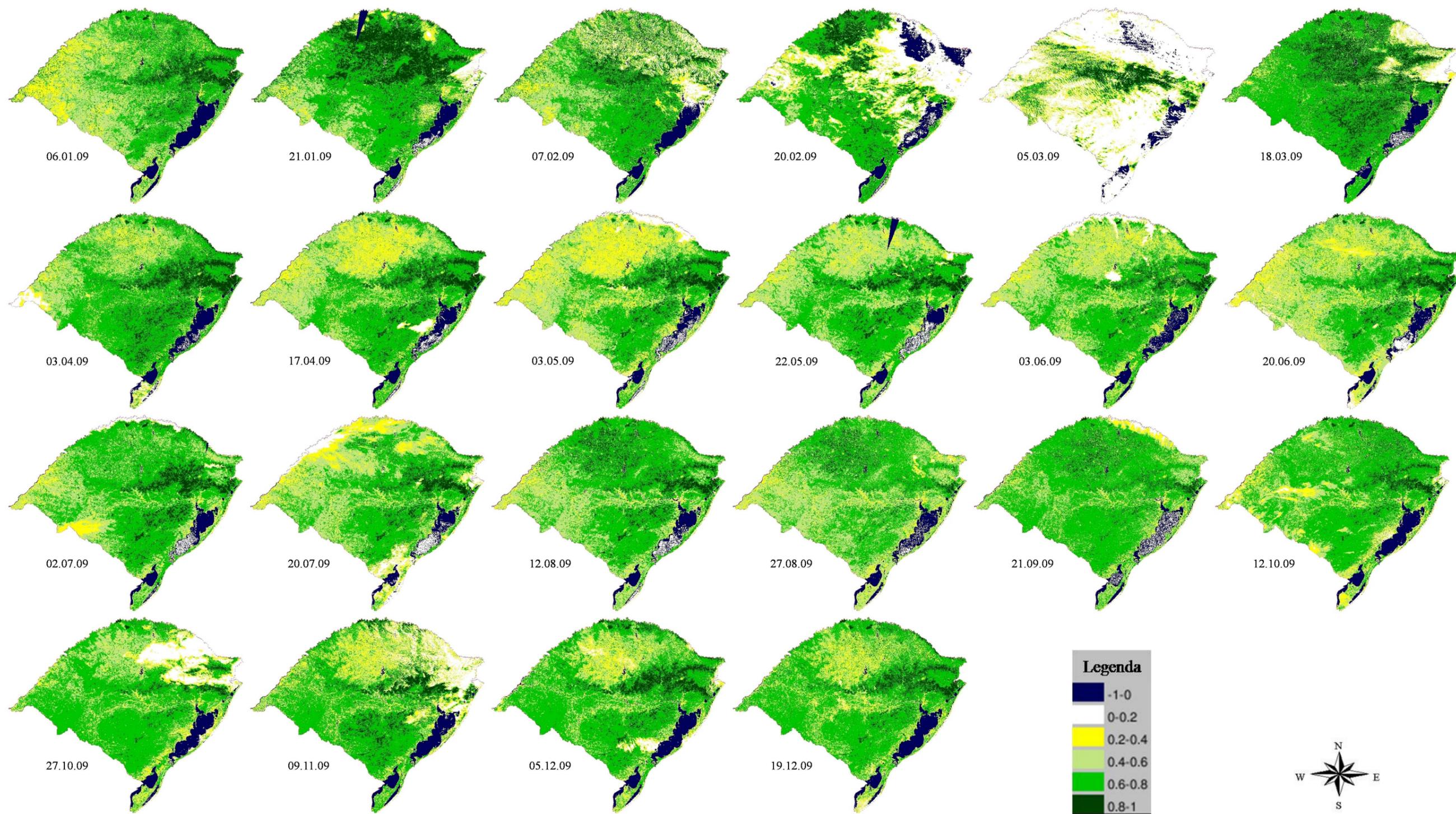


Figura 4 – Evolução do NDVI durante o ano de 2009, para o Rio Grande do Sul.

A partir do fim de março, com a chegada do outono e a diminuição gradativa das temperaturas, é possível observar que os valores do índice de vegetação passam a decair, principalmente nas regiões Norte e Oeste. Essa queda no valor do NDVI também é influenciada pela dessecação e colheita das culturas de verão, principalmente a soja, atividades que deixam grande parte do solo exposto. Com a proximidade do inverno, esta queda no NDVI se estende também à região Sul do Estado.

No início do mês de julho a vegetação parece dar sinais de recuperação, o que é confirmado a partir do mês de agosto, com a chegada da primavera. Já no fim de novembro e em dezembro, a região Norte volta a apresentar diminuição nos valores de NDVI, o que ocorre devido à dessecação e colheita das culturas de inverno, e posteriormente preparo desse solo para plantio das culturas de verão.

De um modo geral, esse comportamento durante o ano é esperado. Nos meses iniciais do ano as culturas agrícolas, como a soja e o milho, encontram-se em pleno desenvolvimento reprodutivo, assim como as áreas de floresta (nativas e plantadas). Com a colheita dessas culturas agrícolas, grande parte do solo permanece em pousio, ou recebe as chamadas pastagens de inverno, as quais apresentam valores baixos de NDVI. Também deve-se salientar que boa parte das árvores, as chamadas caducifólias, encontradas nas regiões de Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual, perdem suas folhas no período de outono-inverno, fazendo com este índice caia também nas áreas de floresta. Com a chegada da primavera, em meados de setembro, espera-se que o NDVI em áreas florestais volte a aumentar, uma vez que as árvores brotam. Nas áreas agrícolas, esse aumento do NDVI acontece a partir de outubro, com o estabelecimento do arroz, e em novembro e dezembro com o plantio do milho e da soja, nas diferentes regiões do Estado.

Os resultados apresentados até aqui, vem de encontro aos obtidos por Rizzi e Fonseca (2001), que estudaram a variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. Estes autores observaram que no outono há uma diminuição do NDVI em todo o RS devido a diminuição da temperatura, o final do ciclo do arroz, da soja e do milho. Já no final do outono, o NDVI aumenta na região Norte devido ao plantio das culturas de inverno (trigo, aveia, cevada). No início do inverno o NDVI diminui na Campanha e região Oeste devido à senescência das espécies de campo nativo, e diminui no Sul pela inexistência de cultivos agrícolas neste período. Na região Norte há aumento do índice pelo plantio e desenvolvimento das culturas de inverno, cujo fim do ciclo faz o NDVI cair no final do inverno na região. Na primavera o NDVI aumenta na Campanha, Depressão Central e Sul, pelo rebrote da vegetação nativa, e diminui no Noroeste, pela dessecação para o plantio de

milho e soja. No verão percebe-se em geral um aumento no índice, em virtude do crescimento da cultura do arroz, da presença da fruticultura (região da serra), das culturas de verão e do crescimento da vegetação nativa (RIZZI e FONSECA, 2001).

## 5.2 Dados meteorológicos

As variáveis utilizadas neste trabalho foram obtidas junto ao CPTEC/INPE, e aqui são apresentadas como médias de temperatura e como precipitação acumulada para o período entre imagens subsequentes.

Na Figura 5 são apresentadas as temperaturas médias para seis das sete Plataformas de Coleta de Dados pesquisadas. Salienta-se que a PCD de Iraí, por se tratar de uma PCD hidrológica, não registra dados de temperatura.

Através de uma análise visual da figura é possível perceber um comportamento muito semelhante para todas as regiões abrangidas pelas plataformas. O mês de fevereiro apresentou temperaturas médias relativamente altas, que em São Borja atingiram aproximadamente 22°C. Em março estas temperaturas iniciaram declínio, atingindo mínimas em julho e agosto de, respectivamente, 7°C e 6,6°C em São Martinho da Serra. As temperaturas voltam então a subir, atingindo novo pico no fim de novembro. É possível observar ainda o efeito da continentalidade sobre as temperaturas, uma vez que as maiores são observadas em São Borja e São Gabriel, região a Oeste do RS, e as menores médias são observadas em Caxias do Sul, região serrana e a mais próxima do litoral.

Gráficos exploratórios do tipo *BOXPLOT*, gerados no software R, auxiliam a entender a amplitude da variável Y, no caso a temperatura. A Figura 6 mostra um gráfico deste tipo em que a linha horizontal em negrito refere-se ao valor médio da variável Y; a linha horizontal inferior é o menor valor encontrado nos dados; a linha horizontal superior o maior valor encontrado nos dados; a caixa definida em torno do valor médio corresponde à variabilidade dos dados, sendo que quanto maior essa distância, maior a variabilidade. Confirma-se que a PCD Caxias do Sul apresenta a menor média de temperatura, e que a de São Borja tem a maior média. A maior variabilidade dos dados acontece na plataforma de São Gabriel.

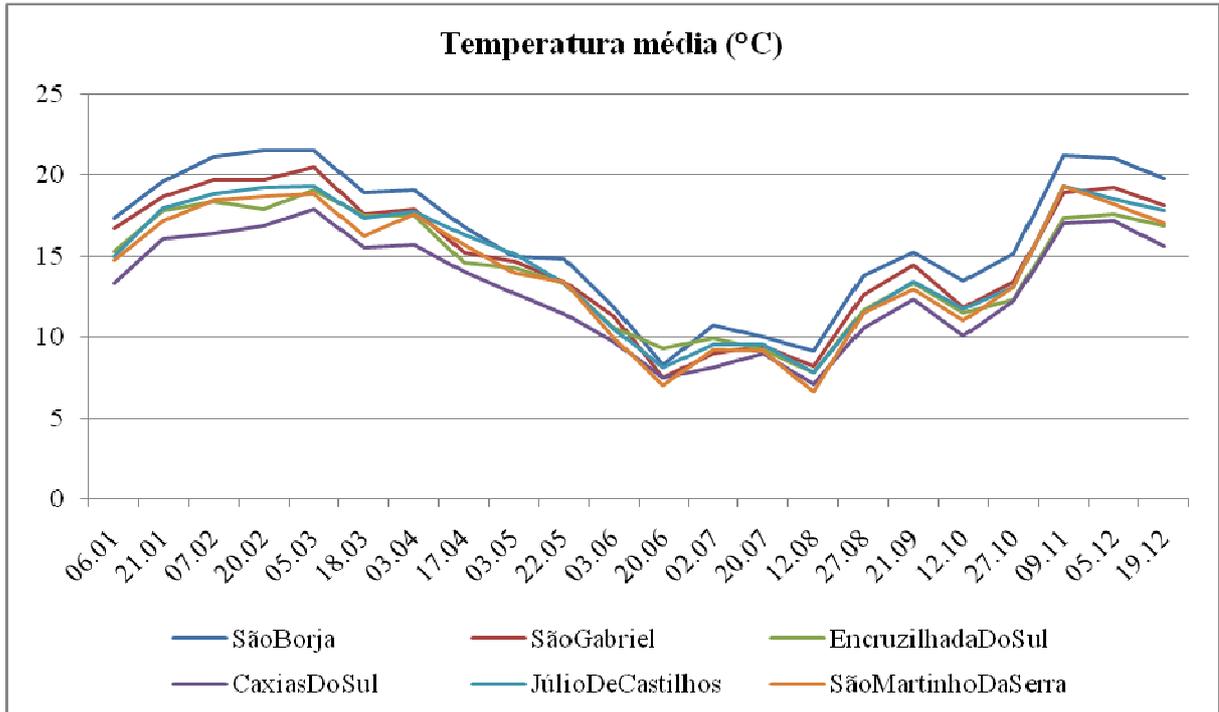


Figura 5 – Temperatura média para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.

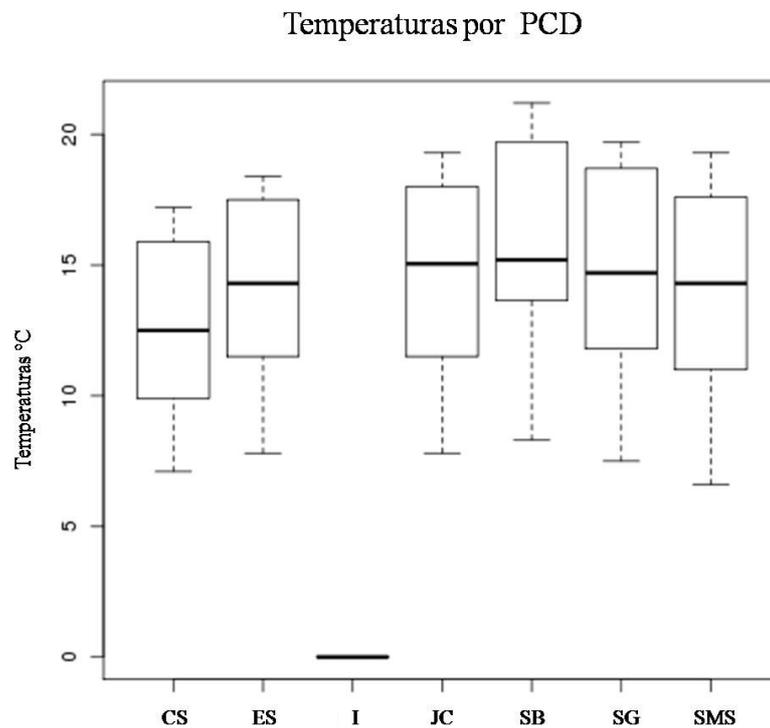
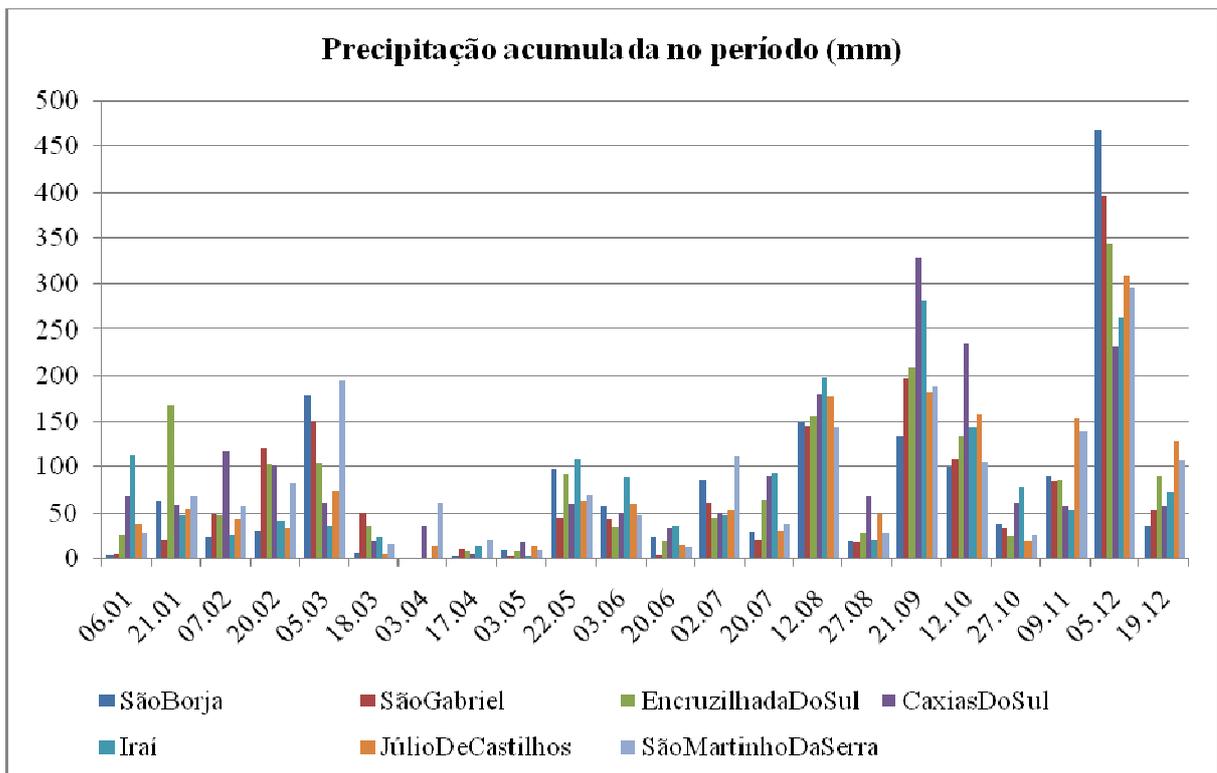


Figura 6 – Gráfico do tipo *Boxplot* para temperatura média para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.

Na Figura 7 observa-se a precipitação acumulada para as sete PCDs. Os dados apresentados mostram algumas diferenças marcantes em algumas plataformas, como por

exemplo, para Encruzilhada do Sul, que registrou o triplo da precipitação que as demais, no período compreendido entre 06 e 21 de janeiro.

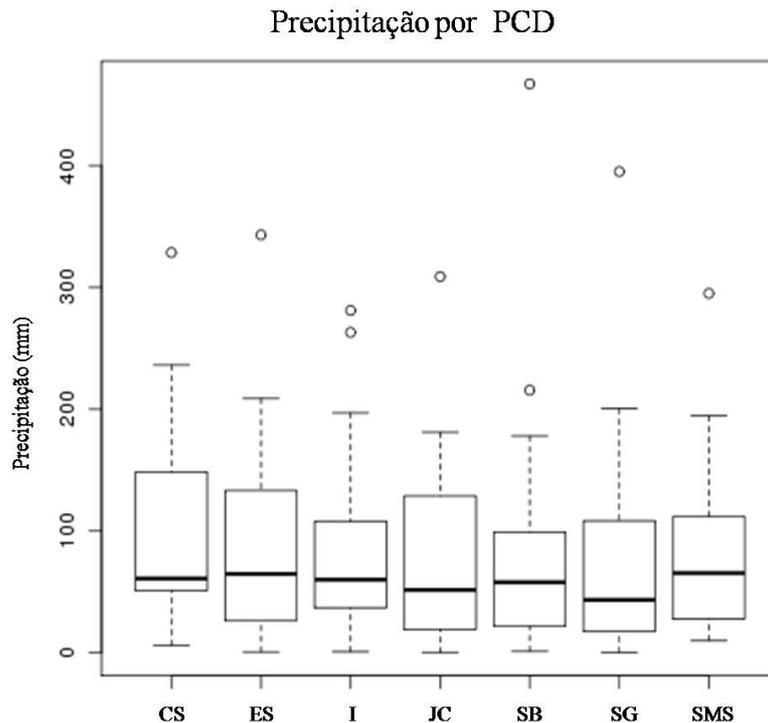
De um modo geral, no início do ano, o volume de chuvas registrada na maioria dos municípios foi baixo, vindo a diminuir bruscamente entre a metade de março e fim de abril. Observam-se picos de acúmulo no volume de água nos meses de agosto, setembro e dezembro, esta última inclusive causando grandes problemas em várias regiões do Estado.



**Figura 7 – Precipitação acumulada para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.**

A explicação para tais acontecimentos está associada aos fenômenos La Niña e El Niño, que aconteceram no ano de 2009. O La Niña, caracterizado pelo resfriamento das águas do Pacífico, trouxe seca para o Estado, enquanto que o El Niño, responsável pelo aquecimento das águas do Pacífico, causou a elevação no nível de umidade e, conseqüentemente, de chuvas.

A análise da Figura 8 nos mostra que as médias de precipitação encontram-se em torno de 50 mm, sendo a maior variabilidade é observada na plataforma de Júlio de Castilhos e a menor em Iraí. Observa-se também na figura a ocorrência de pontos fora da distribuição normal da precipitação, os quais se referem as chuvas acontecidas no final do ano de 2009.

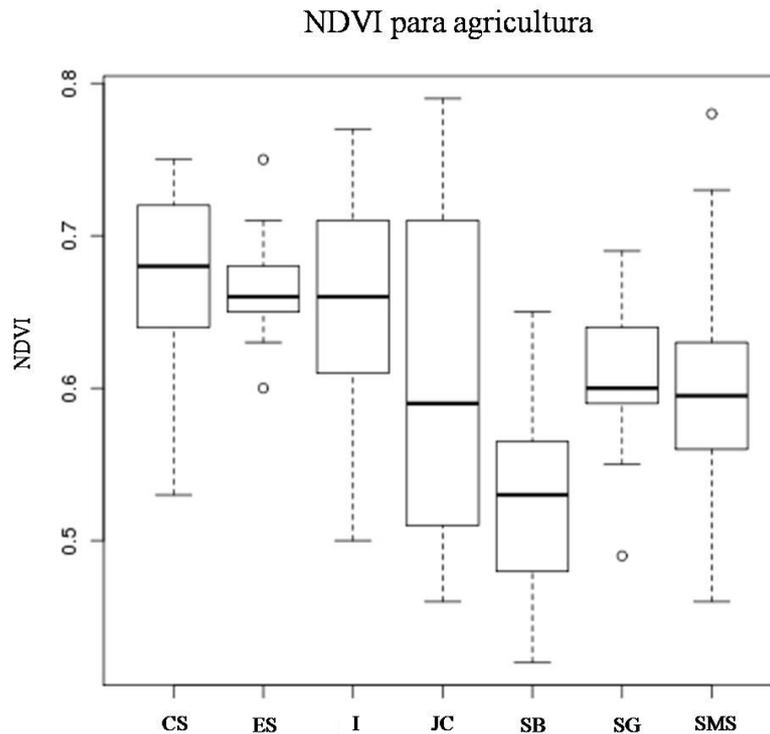


**Figura 8** – Gráfico do tipo *Boxplot* para precipitação acumulada para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.

### 5.3 NDVI para as diferentes regiões estudadas

Para a análise da variação do índice de vegetação nas diferentes áreas do Estado do Rio Grande do Sul, procedeu-se a separação das áreas em agrícolas e florestais, uma vez que é sabido que essas coberturas apresentam comportamento espectral distintos.

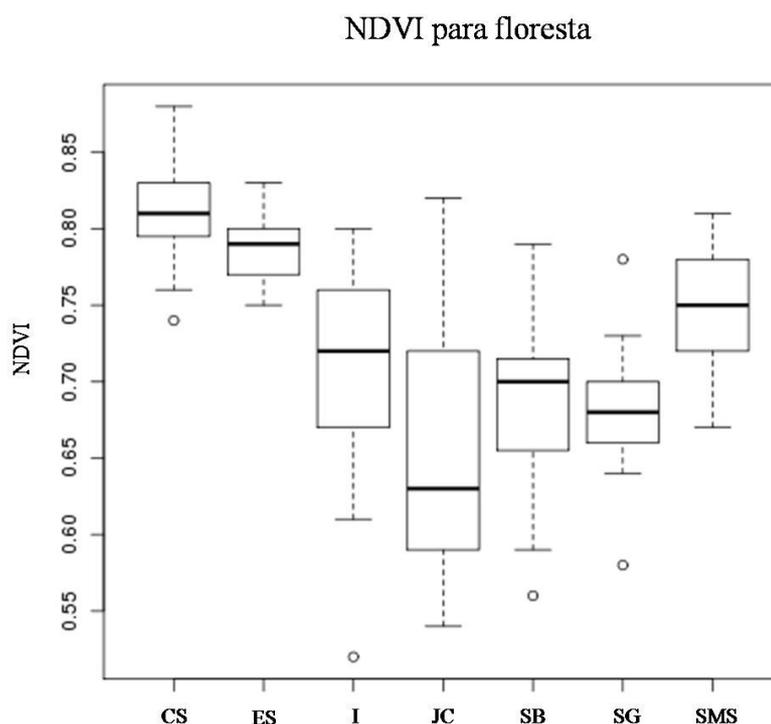
Na Figura 9 é visualizado o comportamento do NDVI para a agricultura nas diferentes regiões estudadas. É possível notar uma grande diferença em relação a este comportamento, já que as médias variam bastante de um local para o outro, desde pouco mais de 0,5 em São Borja, até aproximadamente 0,7 em Caxias do Sul. Percebe-se também que a menor variabilidade acontece em Encruzilhada do Sul e a maior em Júlio de Castilhos. A menor variabilidade deve-se a homogeneidade de culturas que compõem a área, basicamente formada de campos. Já a grande variabilidade nos valores de NDVI encontrada em Júlio de Castilhos pode ser explicada pelas diferentes culturas, tanto de inverno quanto de verão, que compõem o que foi classificado como área agrícola, uma vez que cada cultivo apresenta um comportamento diferenciado em relação a outro.



**Figura 9 – Gráfico do tipo *Boxplot* para o NDVI de áreas agrícolas para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.**

O comportamento do índice de vegetação para áreas florestais no Rio Grande do Sul é apresentado na Figura 10. A variação das médias do NDVI acontece desde aproximadamente 0,65 até pouco mais de 0,8, indicando o alto vigor da vegetação.

Com relação à variabilidade dos valores observados, uma das menores variações é observada para a região de Caxias do Sul, onde se acha uma densa floresta nativa, em estágio adulto e com poucas intervenções devido à topografia acidentada. Já nas proximidades de Júlio de Castilhos é encontrada a maior variabilidade para o índice, o que pode ser explicado pela presença de muitas áreas de plantio de exóticas, principalmente eucalipto, em diferentes estágios de crescimento



**Figura 10** – Gráfico do tipo *Boxplot* para o NDVI de áreas florestais para o Estado do Rio Grande do Sul, em 2009.

A seguir são apresentados os dados referentes a cada região de estudo, representadas pela localização das diferentes Plataformas de Coleta de Dados utilizadas.

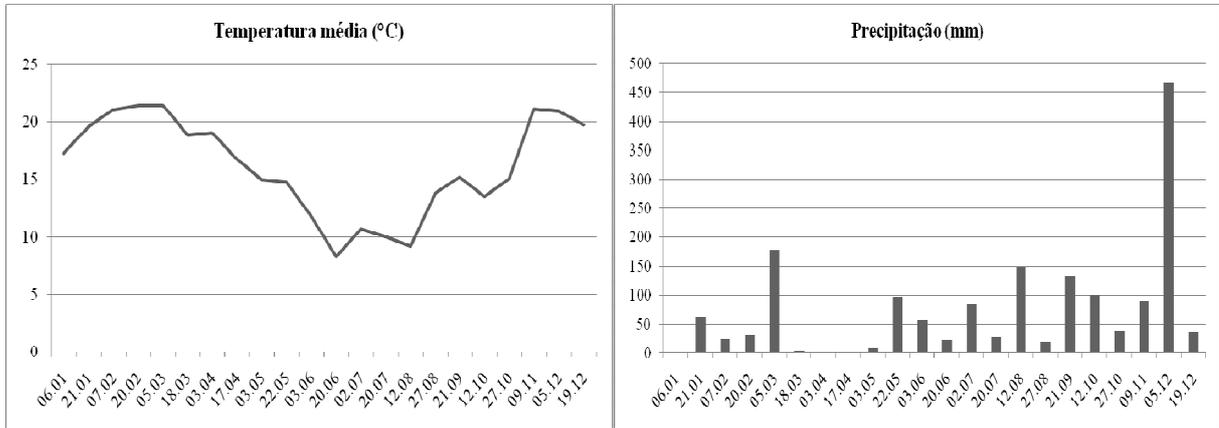
### 5.3.1 São Borja

A PCD instalada no município de São Borja localiza-se a aproximadamente 100 m de altitude, sob as coordenadas 55,96° de longitude Oeste e 28,69° de latitude Sul. Trata-se de uma plataforma Agrometeorológica. Na Figura 11 é possível observar a variação das médias de temperatura durante o ano de 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período.

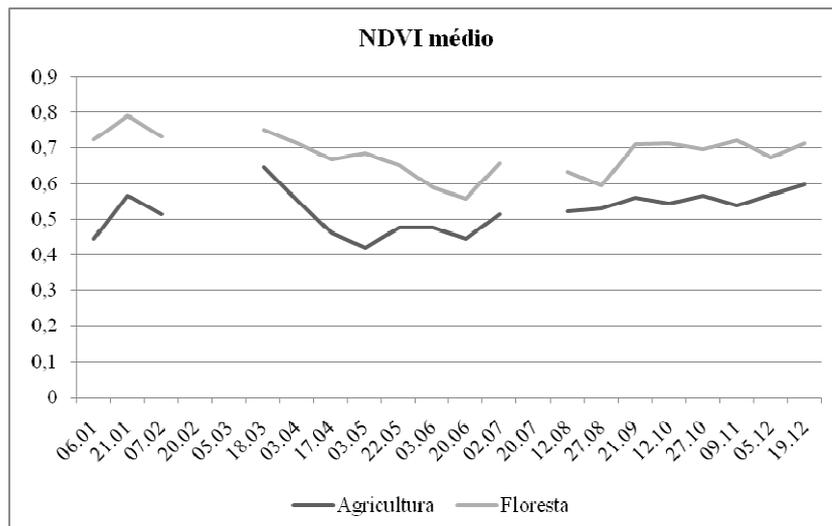
Sobre a temperatura, observam-se picos de calor nos meses iniciais e finais do ano, e os meses de junho, julho e agosto como sendo os mais frios. As máximas alcançaram 21,5°C, enquanto que as mínimas chegaram de 8,3°C, resultando em uma diferença de 13,2°C. Quanto aos dados pluviométricos, no período verão-outono percebe-se uma forte estiagem na região, sendo que apenas em uma data houve um acúmulo significativo de água. Já o final de 2009 foi marcado por muitas chuvas, acumulando em um período de observação mais de 450 mm.

A análise da Figura 12 permite acompanhar a variação do NDVI durante o tempo avaliado, para áreas de agricultura e floresta localizadas em um raio de 50 km da PCD São Borja. É possível observar um comportamento semelhante entre as curvas, sendo que a curva

relativa à floresta está sempre acima, indicando um maior vigor vegetativo desta formação. As datas que não apresentam valores de NDVI referem-se a imagens que possuíam cobertura de nuvens e não permitiram obtenção de dados.



**Figura 11 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Borja, em 2009.**



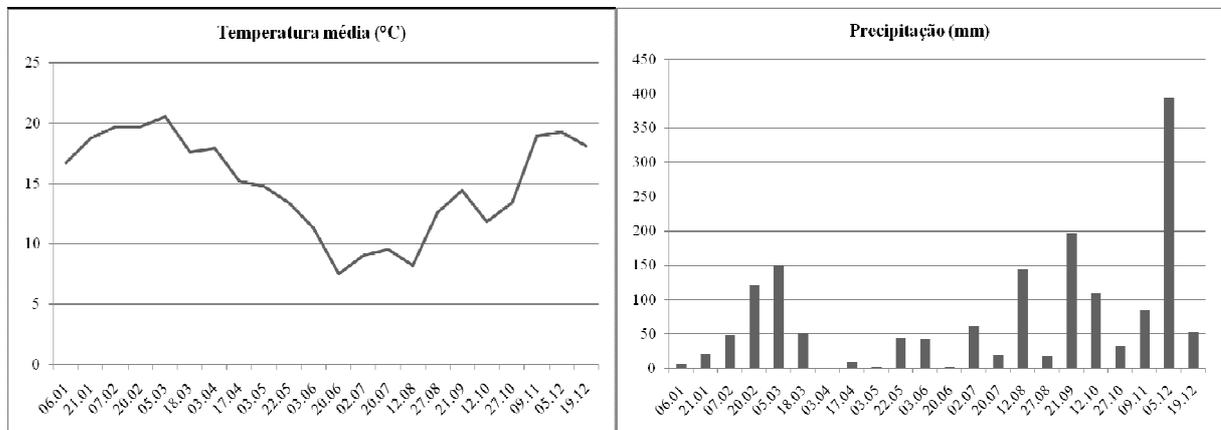
**Figura 12 – Valores médios de NDVI para o Município de São Borja, em 2009.**

Buscando compreender a variação deste índice durante o ano, procedeu-se uma análise de correlação entre os fatores NDVI Agricultura, NDVI Floresta, Precipitação e Temperatura. Para estas combinações, o NDVI Floresta apresentou uma correlação de 0,7613 com a Temperatura, e de apenas 0,0566 com a Precipitação. Já o NDVI Agricultura apresentou uma correlação de 0,4914 com a Temperatura e 0,4438 com a Precipitação. De acordo com Schneider (1998), o valor da correlação varia de -1 a 1, e quanto mais próximo destes extremos, maior é o grau de associação entre as variáveis. Desta forma, o NDVI em áreas florestais apresenta uma boa correlação com a temperatura quando comparada a precipitação,

e para as áreas de agricultura, o NDVI apresenta uma correlação muito semelhante para as duas variáveis.

### 5.3.2 São Gabriel

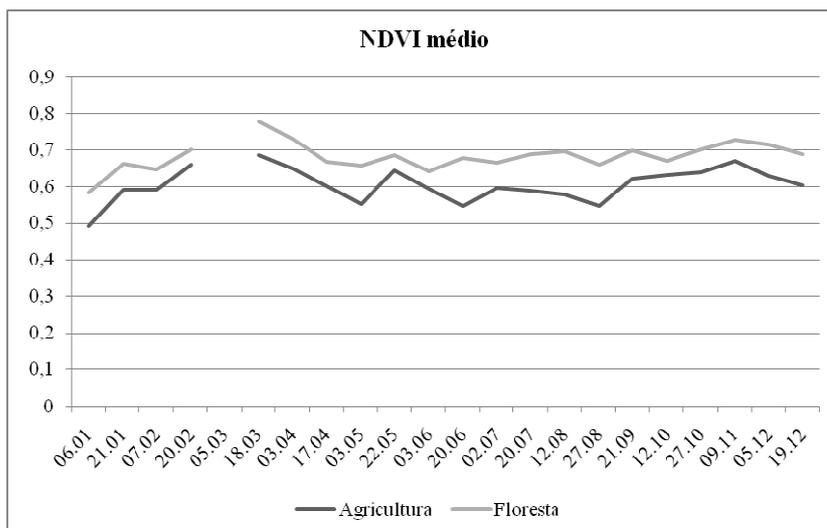
A PCD instalada em São Gabriel localiza-se a cerca de 110 m de altitude, sob as coordenadas 54,26° de longitude Oeste e 30,34° de latitude Sul. É também uma plataforma Agrometeorológica. Na Figura 13 são apresentadas a variação das médias de temperatura durante o ano de 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período.



**Figura 13 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Gabriel, em 2009.**

Relativo à temperatura, observam-se picos de calor novamente nos meses iniciais e finais do ano, e os meses de junho, julho e agosto como sendo os mais frios. As máximas chegaram a 20,5°C, enquanto que as mínimas foram de 7,5°C, o que significa uma diferença de 13°C, dados estes muito semelhantes aos da PCD São Borja. Quanto aos dados pluviométricos, no período verão-outono percebe-se estiagem na região, principalmente nos meses de abril e maio. Já no final do ano há um aumento nas precipitações, sendo que o período de maior acúmulo de chuva foi entre 09 de novembro e 05 de dezembro, com quase 400 mm.

A Figura 14 mostra a variação do NDVI durante o tempo avaliado, para áreas de agricultura e floresta, em um raio de 50 km da plataforma de São Gabriel. Novamente as curvas comportam-se de maneira similar; a curva relativa à floresta encontra-se acima da curva agricultura, indicando maior vigor vegetativo.



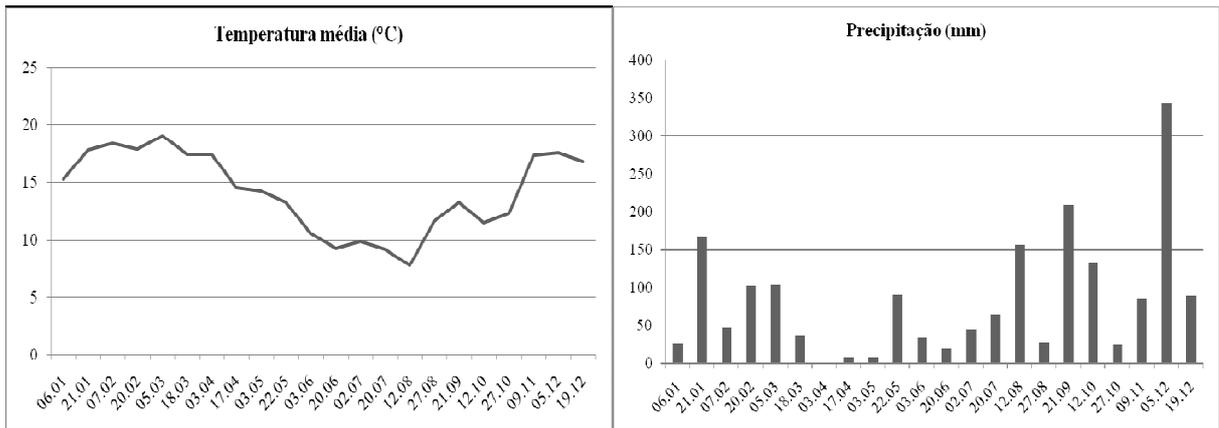
**Figura 14 – Valores médios de NDVI para o Município de São Gabriel, em 2009.**

A análise de correlação realizada para os quatro fatores chegou aos seguintes resultados: o NDVI Floresta apresentou uma correlação de 0,2392 com a Temperatura, e de 0,4815 com a Precipitação. O NDVI Agricultura apresentou uma correlação de 0,3924 com a Temperatura e 0,4277 com a Precipitação. A combinação que proporciona uma melhor correlação para o NDVI Floresta, apesar de baixa, é a Precipitação, e para o NDVI Agricultura é a Temperatura, exatamente o oposto do que ocorreu com os resultados de São Borja.

### 5.3.3 Encruzilhada do Sul

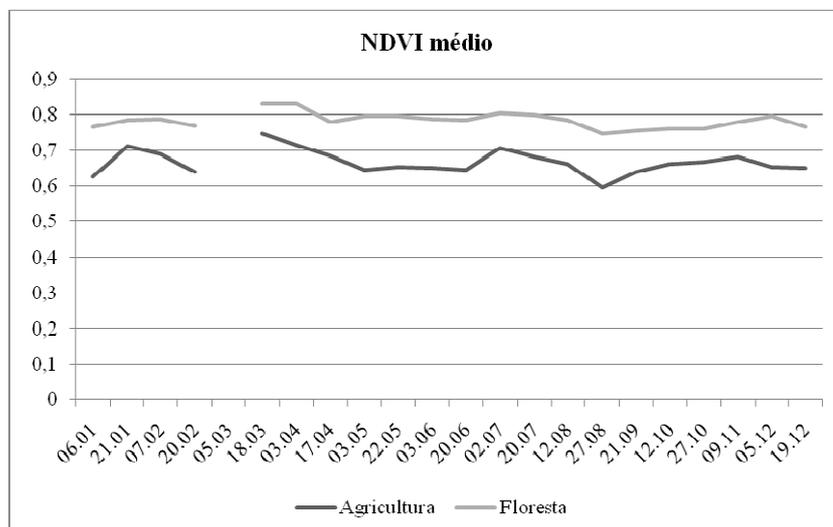
A PCD Agrometeorológica instalada em Encruzilhada do Sul localiza-se a 420 m de altitude, sob as coordenadas 52,40° de longitude Oeste e 30,55° de latitude Sul. A variação das médias de temperatura durante o ano de 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período são mostradas na Figura 15.

Quanto à temperatura, a mesma apresenta comportamento semelhante às já apresentadas, entretanto observa-se uma diminuição na diferença entre máxima e mínima, que chegou a 11,3°C, uma vez que a mínima foi de 7,8°C e a máxima de 19,1°C. Para os dados de precipitação, há uma diminuição na quantidade de chuvas nos meses de março, abril e maio. No final do ano ocorre novamente um período de maior ocorrência de chuvas.



**Figura 15 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de Encruzilhada do Sul, em 2009.**

A variação do NDVI para o ano de 2009, em áreas de agricultura e floresta, no entorno da plataforma de Encruzilhada do Sul pode ser visualizada na Figura 16. A análise de correlação realizada para os dados resultou em valores baixos novamente: o NDVI Floresta apresentou uma correlação de 0,1870 com a Temperatura, e de -0,0022 com a Precipitação. Para o NDVI Agricultura obteve-se uma correlação de 0,3132 com a Temperatura e 0,0418 com a Precipitação. Para o NDVI Agricultura, a Temperatura apresenta-se como a variável que melhor explica seu comportamento.

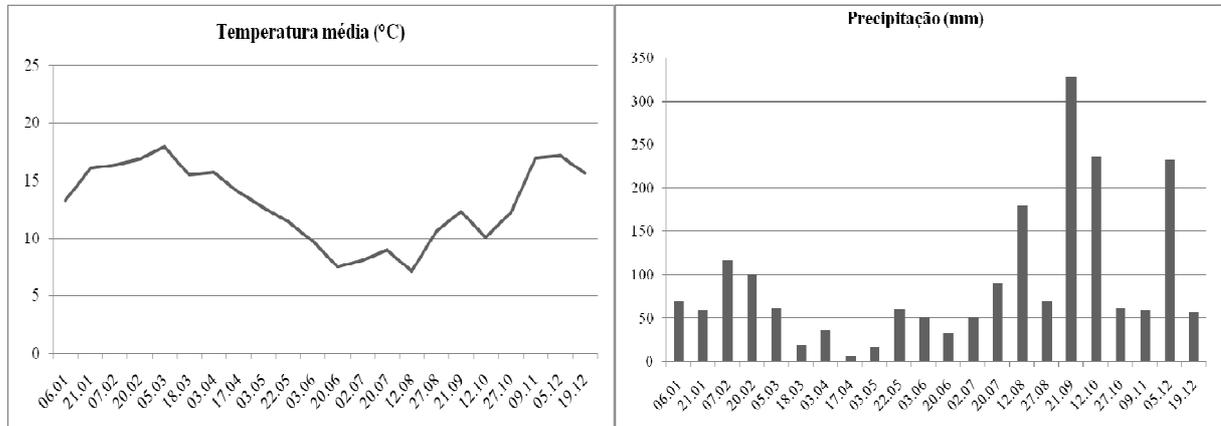


**Figura 16 – Valores médios de NDVI para o Município de Encruzilhada do Sul, em 2009.**

#### 5.3.4 Caxias do Sul

A plataforma instalada no município de Caxias do Sul encontra-se a 760 m de altitude, sob as coordenadas 50,98° de longitude Oeste e 29,14° de latitude Sul. É uma plataforma

Agrometeorológica, e na Figura 17 observa-se a variação das médias de temperatura durante o ano de 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período.



**Figura 17 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de Caxias do Sul, em 2009.**

Através da figura acima percebe-se um deslocamento da curva da temperatura para baixo. As máximas, ocorridas no mês de março e no final do ano, atingem 17,9°C, enquanto que as mínimas registradas em agosto chegaram a 7,1°C, uma amplitude de 10,8°C. A pluviosidade acumulada para os períodos indica certa estabilidade, sendo registrados valores muito baixos novamente em março e abril. Comparado aos demais dados de precipitação apresentados até aqui, observa-se três picos de acúmulo de chuva, em setembro, outubro e dezembro, todos acima de 200 mm. O município de Caxias do Sul registrou o maior volume de chuvas para o período estudado, 1999,5 mm.

A Figura 18 mostra o NDVI médio durante o período avaliado, para áreas de agricultura e floresta, em raio de 50 km da plataforma de Caxias do Sul. As curvas descrevem comportamento semelhante, sendo que a curva representando áreas agrícolas tem uma queda bastante acentuada em agosto.

A análise de correlação realizada para os fatores desta região mostrou que a melhor combinação, tanto para o NDVI Agricultura quanto para o NDVI Floresta foi com a Temperatura, resultando em 0,5956 e 0,4210, respectivamente. Já para o fator Precipitação, ambas combinações resultaram em valores negativos, e muito próximos de zero.

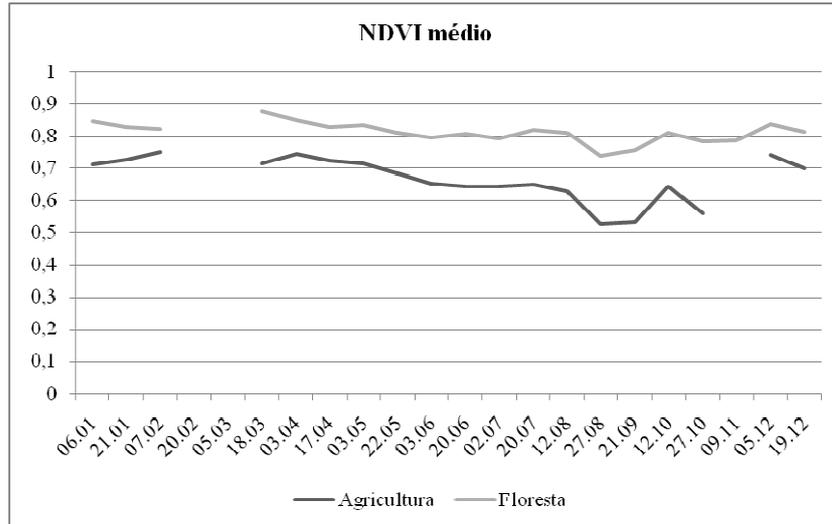


Figura 18 – Valores médios de NDVI para o Município de Caxias do Sul, em 2009.

### 5.3.5 Iraí

A plataforma Hidrológica instalada em Iraí encontra-se a aproximadamente 260 m de altitude, sob as coordenadas 53,23° de longitude Oeste e 27,17° de latitude Sul. Na Figura 19 é apresentada a precipitação acumulada em cada período, para 2009.

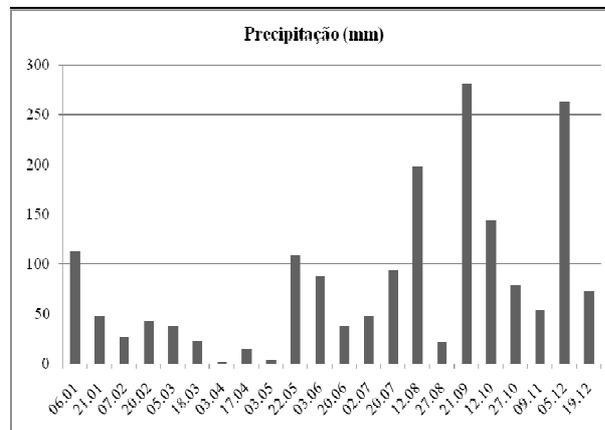
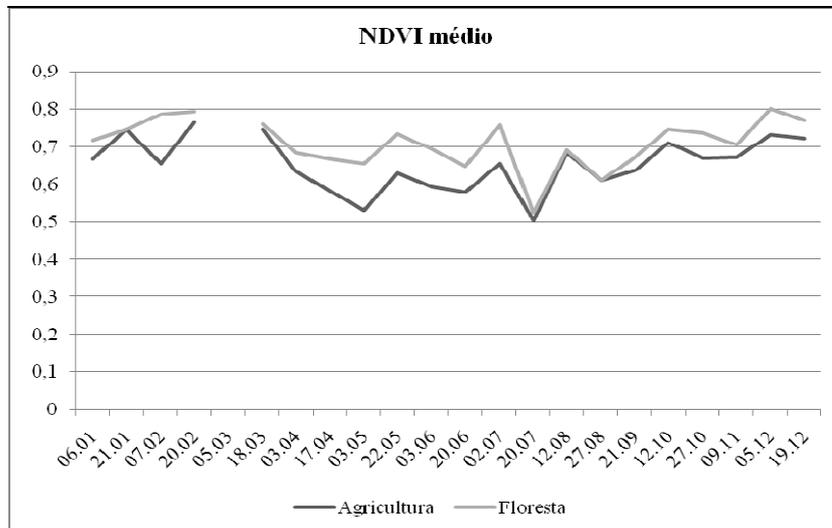


Figura 19 – Precipitação acumulada para o Município de Iraí, em 2009.

Observando-se a figura, percebe-se uma certa irregularidade na distribuição das chuvas durante o ano, sendo abril e maio os meses mais secos. Picos de acúmulo de precipitação acontecem em agosto, setembro e dezembro.

A Figura 20 apresenta a variação do NDVI durante o tempo avaliado, para áreas de agricultura e floresta, em um raio de 50 km da plataforma de Iraí. Comparada as demais, observa-se que estas curvas apresentam um comportamento diferenciado, principalmente nos

meses de julho e agosto, onde estas curvas ficam muito próximas. Entretanto, a curva relativa à floresta encontra-se acima da curva agricultura.

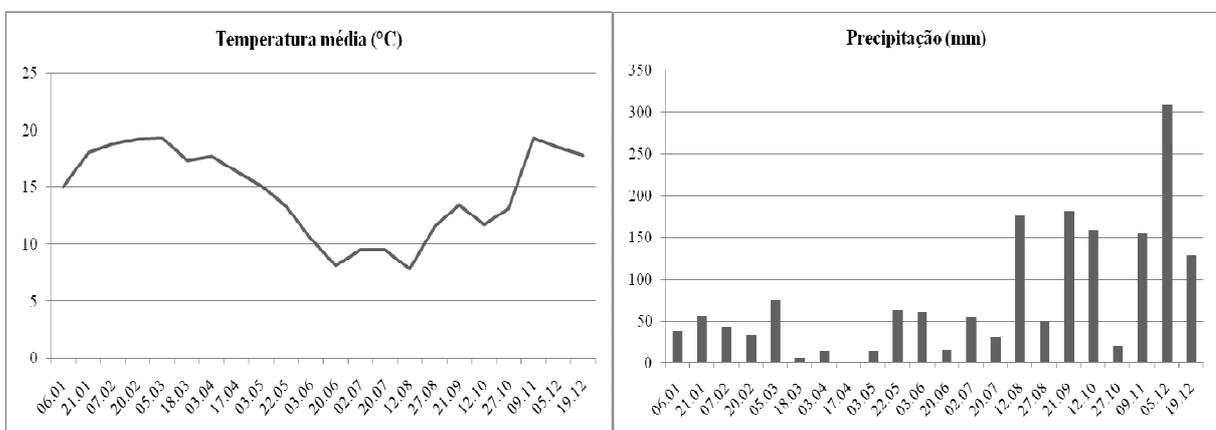


**Figura 20 – Valores médios de NDVI para o Município de Iraí, em 2009.**

A análise de correlação, realizada para NDVI Agricultura e NDVI Floresta x Precipitação resultou em valores iguais a 0,2399 e 0,1317, respectivamente.

### 5.3.6 Júlio de Castilhos

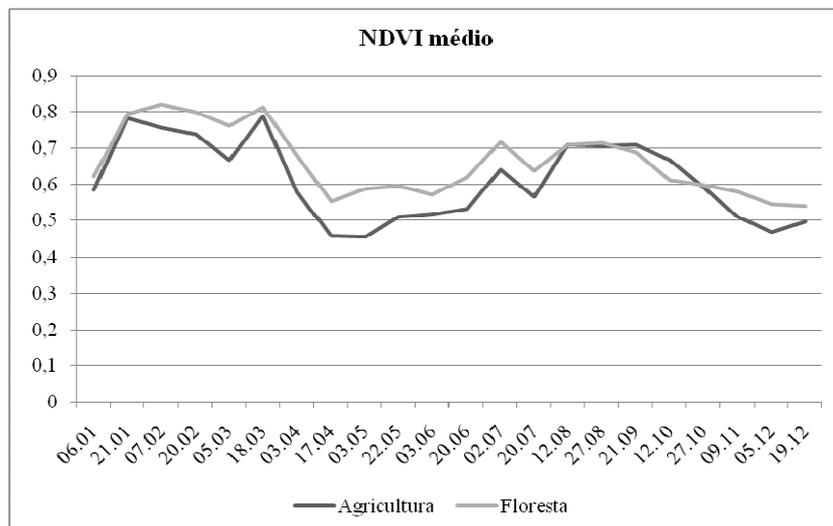
A PCD instalada em Júlio de Castilhos localiza-se a quase 515 m de altitude, sob as coordenadas 53,69° de longitude Oeste e 29,17° de latitude Sul. É também uma plataforma Agrometeorológica. Na Figura 21 podem ser visualizados a variação das médias de temperatura durante 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período.



**Figura 21 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de Júlio de Castilhos, em 2009.**

A curva de temperatura apresentada acima mostra uma amplitude térmica de 11,5°C, sendo a mínima de 7,8°C registrada em agosto e as máximas de 19,3°C registradas em março e novembro. Quanto aos dados de precipitação, observa-se uma queda no acúmulo de água no período inicial do ano, com período bastante seco entre março e maio. O maior acúmulo de águas acontece entre novembro e dezembro, ultrapassando 300 mm.

A análise da Figura 22 permite acompanhar a variação do NDVI durante o tempo avaliado, para a PCD Júlio de Castilhos. As curvas aí representadas são as que mais se diferenciam das demais, uma vez que há uma inversão das curvas entre agosto e setembro. Também são as curvas que apresentam maior amplitude nos valores de NDVI, de 0,3315 para a agricultura, e 0,2793 para a floresta.

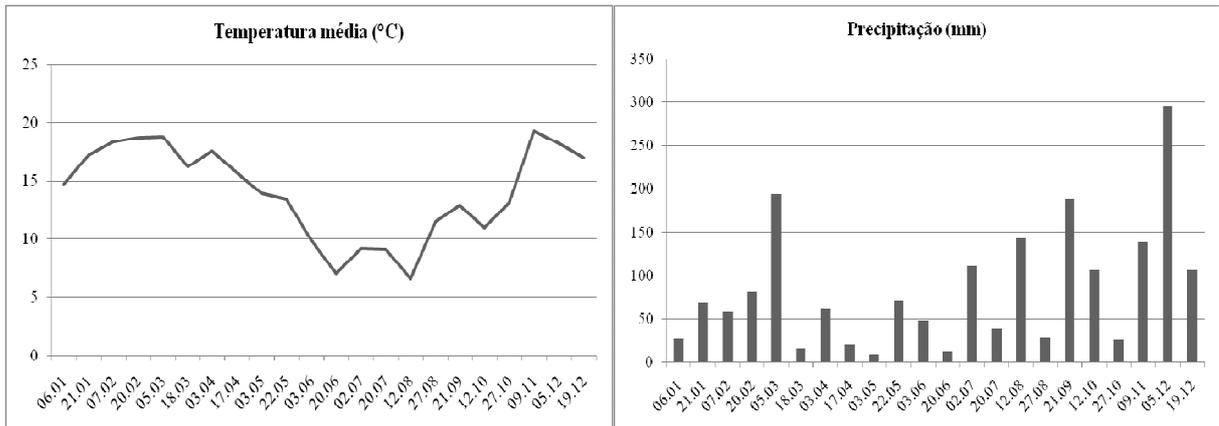


**Figura 22 – Valores médios de NDVI para o Município de Júlio de Castilhos, em 2009.**

A análise de correlação mostrou mais uma vez valores baixos, sendo que o mais significativo aconteceu para o par NDVI Floresta e Temperatura, 0,1957.

### 5.3.7 São Martinho da Serra

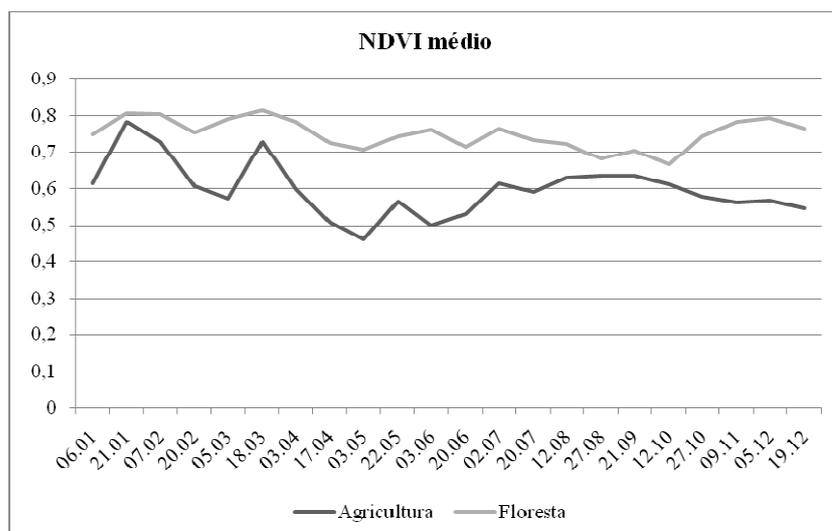
A PCD instalada em São Martinho da Serra encontra-se a 305 m de altitude, sob as coordenadas 53,49° de longitude Oeste e 29,26° de latitude Sul. Esta é única plataforma Meteorológica do Estado. Na Figura 23 são mostradas a variação das médias de temperatura durante o ano de 2009, bem como a precipitação acumulada em cada período.



**Figura 23 – Temperatura média e precipitação acumulada para o Município de São Martinho da Serra, em 2009.**

Relativo à temperatura, observam-se picos de calor novamente nos meses iniciais e finais do ano, e os meses de inverno como sendo os mais frios. As máximas atingiram 19,3°C, enquanto que as mínimas chegaram a 7°C, o que significa uma diferença de 12,3°C. Quanto aos dados pluviométricos, no período verão-outono percebe-se um acúmulo de chuvas maior que nas demais regiões. De maio até o final do ano percebe-se uma intercalação de entre quantidades maiores e menores de chuva, sendo o pico observado no início de dezembro, com quase 300 mm.

Na Figura 24 podem ser observadas as curvas referentes ao NDVI médio para as áreas de floresta e agricultura referentes a região de São Martinho da Serra. A curvas voltam a apresentar certa tendência, e a curva alusiva a floresta mantém-se acima da curva agricultura.



**Figura 24 – Valores médios de NDVI para o Município de São Martinho da Serra, em 2009.**

Para a análise de correlação, o NDVI Floresta apresentou uma correlação de 0,6244 com a Temperatura, e de 0,1946 com a Precipitação. Já o NDVI Agricultura apresentou uma correlação de 0,1907 com a Temperatura e de apenas 0,0181 com a Precipitação.

Os resultados apresentados até aqui, referentes ao NDVI, mostram que existem variações deste índice entre os períodos das imagens selecionadas, uma vez que eles refletem o estado da vegetação. Entretanto, parece não haver um fator que explique de forma satisfatória esses resultados. Conforme resultados obtidos com as correlações entre NDVI, Temperatura e Precipitação, apenas para São Borja e São Martinho da Serra houve uma boa correlação entre o NDVI Floresta e a Temperatura, e para Caxias do Sul houve boa correlação entre o NDVI Agricultura e Temperatura. Os demais valores de correlação resultaram entre 0,5 e -0,5, e, de acordo com o que foi estabelecido anteriormente, foram considerados insatisfatórios.

Alguns trabalhos realizados na área procuraram relacionar o NDVI principalmente a variações no regime de precipitação, entre eles destacam-se: Poelking et al. (2007), Silva et al. (2007) e Nicácio et al. (2009).

Poelking et al. (2007) estudaram a dinâmica da vegetação, pelo índice de vegetação de imagens CBERS, em dois períodos de verão, sendo um em período de estiagem e outro em época de chuvas normais, e concluíram, pela análise do NDVI das duas épocas, que houve significativa diminuição na atividade fotossintética da vegetação no período de estiagem.

Para Silva et al. (2007), que monitoraram estiagens com imagens MODIS no Estado do Paraná, apesar do índice de vegetação não ser uma medida direta da umidade do solo, em períodos de estiagem a cobertura vegetal sofre diretamente os impactos da queda da umidade do solo. Centeno et al. (1993), dizem que em situações de deficiência hídrica, a diferença entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo diminui, o que causa queda no valor do índice.

Por fim, Nicácio et al. (2009) analisaram a variabilidade espaço-temporal do NDVI e avaliaram a relação deste índice de vegetação com o regime pluviométrico da região da Bacia do Coxim (MS). Os resultados mostraram um padrão similar do comportamento pluviométrico e do índice de vegetação, que a resposta da vegetação à redução pluviométrica ocorre com uma defasagem de aproximadamente quatro meses e que a vegetação responde mais rapidamente a entrada de água no sistema que a sua redução.

O Estado Rio Grande do Sul, por apresentar características climatológicas diferenciadas das outras regiões do país, apresenta também resultados distintos dos estudos apresentados aqui. O regime pluviométrico característico do RS apresenta chuvas bem

distribuídas durante o ano, ou seja, não há um período prolongado de seca, como acontece no Estado do Mato Grosso do Sul. Assim, as correlações entre NDVI e Precipitação não foram significativas. Já a existência de quatro estações bem definidas (primavera, verão, outono e inverno), com invernos bastante rigorosos, faz com a temperatura seja um fator influente no desenvolvimento da vegetação, uma vez que no período frio a vegetação entra em dormência.

Ainda pode-se dizer que as correlações baixas podem ser devidas ao difícil estabelecimento de relação entre chuva e temperatura e o NDVI em regiões antropizadas por processos agrícolas, especialmente considerando-se culturas cíclicas. A multiplicidade de feições pode também promover uma maior miscigenação do pixel, o que se agrava quando do uso de sensores de resolução moderada a baixa.

Para Epiphanyo et al. (2006), a vegetação é um alvo complexo do Sensoriamento Remoto, apresenta várias propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta, múltiplos componentes refletores, não uniformidade de estrutura inter e entre plantas, além de assentar-se sobre um substrato constituído de solo ou restos vegetais que, por sua vez, apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo para o processo de medição para a modulação das propriedades de reflexão da vegetação.

## 6 CONCLUSÕES

Ao aplicar a equação que gerou o NDVI para o Estado do Rio Grande do Sul, considerando o ano de 2009, foi possível cumprir parte do objetivo principal deste trabalho. Os resultados obtidos mostram que a utilização do produto MOD09 para elaboração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), foi eficaz na visualização da variação do comportamento espectral da vegetação.

Análises exploratórias indicaram que o NDVI para áreas com florestas e agricultura comportaram-se de maneira semelhante, estando a curva relativa às florestas sempre em nível superior em relação a curva para agricultura, o que é comprovado pelos valores médios observados: 0,7263 para floresta e 0,6184 para agricultura.

As menores variabilidades nos valores médios do índice encontradas para agricultura e floresta foram, respectivamente, em Encruzilhada do Sul e Caxias do Sul, o que pode ser explicado pela maior homogeneidade das coberturas da terra.

A maior variabilidade, tanto para agricultura quanto para floresta, foi observada em Júlio de Castilhos, cujas culturas apresentam grande heterogeneidade quanto ao tipo e estágio de desenvolvimento.

As análises de correlação realizadas demonstraram resultados satisfatórios apenas entre o NDVI de áreas com florestas e temperatura para duas regiões estudadas, São Borja e São Martinho da Serra, e entre o NDVI de áreas agrícolas e temperatura para a região de Caxias do Sul.

As correlações levando em consideração o NDVI e a precipitação ficaram todas abaixo de 0,5, e foram consideradas insatisfatórias. Estes resultados evidenciaram que não foi possível correlacionar o NDVI às variáveis climáticas, como pretendido.

Destaca-se que o período estudado, o ano de 2009, foi atípico no que se refere a precipitação, uma vez que sofreu forte estiagem no seu início e chuvas acima da média ao seu final. A baixa resolução espacial da imagem também pode ter influenciado os resultados, já que cada pixel pode conter vários tipos usos e/ou cobertura da terra com comportamentos espectrais distintos.

Sugere-se assim que, para novos estudos neste sentido, sejam explorados dados de sensoriamento remoto de melhor resolução espacial, bem como um período maior de observação, visando minimizar o efeito de situações extremas (estiagens e chuvas excessivas).

A distinção entre as diferentes culturas (agricultura, campo, floresta nativa e plantada) presentes na área de estudo também podem ser interessantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF 2009. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-BR.pdf>>. Acesso em: 06 out 2009.
- AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; RIZZI, R.; SHIMABUKURO, Y.E. Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens MODIS. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p. 375-383, 2008.
- AL-BAKRI, J.T.; SULEIMAN, A.S. NDVI response to rainfall in different ecological zones in Jordan. **International Journal of Remote Sensing**, n. 25, v.19, p. 3897-3912, 2004.
- ANDERSON, L. O. et al. Sensor MODIS: uma abordagem geral. São José dos Campos: INPE, 2003. 58 p.
- ASSAD, E. D.; SETZER, A.; MOREIRA, L. Estimativa da precipitação através do índice de vegetação do satélite NOAA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1988. p. 425-429.
- BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; LAWRENCE, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 30-37.
- BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**. Tese (Doutorado em Geografia) – University of Aegean, Lesvos, Greece, 2000. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2009.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução ao geoprocessamento**. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acesso em: 02 nov. 2009.
- CENTENO, J.A.S.; KISHI, R.T.; TOLEDO FILHO, M.R. Monitoramento do período seco na zona da mata do Estado de Alagoas utilizando dados do sensor AVHRR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 1993.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Plataformas de coleta de dados**. Cachoeira Paulista, 2009. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/>>. Acesso em: 05 dez. 2009.
- CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170 p.
- D'ARCO, E.; RUDORFF, B.R.T.; RIZZI, R. Índice de vegetação para estimativa de área plantada com arroz irrigado In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.): **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 123 – 131.

EIPHANIO, J.C.N. et al. Índice de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FRASER, R. H.; Li, Z.; CIHLAR, J. Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS); a new technique for burned area mapping over boreal forest. **Remote Sensing Environment**, v. 74, p.327-640, 2000.

GOLTZ, E. Avaliação do produto MOD09 (reflectância da superfície) fornecido pelo sensor MODIS/TERRA através de radiometria de campo em uma área de soja. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 2007.

GONÇALVES, J. L. de G. **Classificação da capacidade de uso de terra nos municípios de Alagoa Grande e Alagoinha (PB) através de Sensoriamento Remoto**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2004.

HAMADA, E. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC 24 - Tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens NOAAVHRR**. 2000. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, Campinas, 2000.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing a remote sensing perspective**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.

JUNGES, A.H.; ALVES, G.; FONTANA, D.C. Estudo indicativo do comportamento do NDVI e EVI em lavouras de cereais de inverno da região norte do Estado do Rio Grande do Sul, através de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis, **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007. p. 241-248.

JUSTICE, C.O. et al. An overview of MODIS Land data processing and products status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 244-26, 2002.

LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O. Produtos para ecossistemas terrestres – MODLAND. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 2007. p. 23-35.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. United States of América: Marketing Manager, 1994.

MARQUES, V.L. da S.; QUEVEDO, J.R. Relação entre as variáveis meteorológicas e a produtividade de trigo no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10., 2008, Pelotas, RS, **Anais...** Pelotas, RS: [s.n], 2008

MENEZES, P.R.; MADEIRA NETO, J. da S. **Sensoriamento remoto: reflectância de alvos naturais**. Brasília: UnB, 2001. 262 p.

MOREIRA, I.A.G.; COSTA, R.H. da. **Espaço & sociedade no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1995.

NEZLIN, N.P.; KOSTIANOY, A.G.; BAI-LIAN, L.I. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. **Journal of Arid Environments**, v. 62, n. 4, p. 677-700, 2005.

NICÁCIO, R.M. et al. Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim – MS. In: 2º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá, MS, **Anais...** Corumbá, MS: [s.n.], 2009.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos, SP: E. Blücher, 1989. 308 p.

POELKING, E.L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R.S.D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: [s.n.], 2007.

PONZONI, F.P.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007. 135 p.

RAFAELLI, D.R.; MOREIRA, A.M. Detecção de geada em lavouras de café. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 145-151.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. Porto Alegre: Imprensa Oficial, 1942.

RIBEIRO, G. N. R. **Mapeamento do uso atual da terra e cobertura vegetal em área do agreste paraibano utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo e água) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento e Gestão. **Atlas sócio econômico Rio Grande do Sul**. 2009. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>>. Acesso em: 30 nov. 2009.

RIZZI, R.; FONSECA, E.L.da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001. Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n.], 2001.

\_\_\_\_\_. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 212 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 2004.

\_\_\_\_\_; RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Avaliação do IAF para soja no Rio Grande do Sul. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 133-143.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2. ed. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2002. 220 p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Edef, 1990. 135 p.

ROSA, V.G.C. **Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região sul/sudoeste do estado de Minas Gerais**. 2007. 142 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2007.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE – 1 SYMPOSIUM, 1974, Washington. **Proceedings...** Washington: [s.n.], 1974, v.1, sec.A, p. 309-317.

SANTOS, R.F.; CARVAÇAIS, H.B.; PIRES, F. **Planejamento ambiental e sistemas de informações geográficas**. Campinas. v. 1, n. 2, 1997. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.cpa.inicamp.br/revista/cigv1n2a2.htm>>. Acesso em: 18 nov 2009.

SANTOS, W.J.R. dos et al. Variação temporal do índice de vegetação de lavouras cafeeiras utilizando produtos do sensor MODIS/TERRA. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória, ES, **Anais...** Vitória, ES: [s.n.], 2009.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada a engenharia florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM : CEPEF, 1998. 236 p.

SILVA, D.A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE-CTA, 1995. 69 p.

SILVA, M.R.; RIBEIRO, M.G.; CENTENO, J.A.S. Monitoramento de estiagens com imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. Florianópolis, SC, **Anais...** Florianópolis, SC: [s.n.], 2007.

SIMÕES, R.M.A. Notas sobre o clima do Sul do Brasil: (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). In: XI Congresso Brasileiro de Geografia. **Anais**. Porto Alegre, 1954.

SKOLE, D.L. **Data on global land-cover change: acquisition, assessment, and analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

SOARES, J.V.; BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. p. 03-21.

TEIXEIRA, M. **Introdução ao geoprocessamento.** In: SIMPÓSIO SOBRE GEOPROCESSAMENTO, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Espus, 1997. p 1-26.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul.** Convênio UFSM/SEMA, 2002. 706 p. (Relatório final original). Disponível em: <<http://www.coralx.ufsm.br/ifcrs>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

VOLPATO, M.M.L. **Imagens AVHRR-NOAA para determinação do potencial de incêndios em pastagens.** 2002. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, Campinas, 2002.