

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Trabalho de Conclusão do Curso - Bacharelado em Geografia**

**Análise de tendências em séries temporais de dados meteorológicos e dados de
sensoriamento remoto orbital em áreas de vegetação campestre natural do bioma
Pampa, localizadas na Depressão Central do RS**

Fernando Comerlato Scottá

Porto Alegre

2012/2

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Trabalho de Conclusão do Curso - Bacharelado em Geografia**

Análise de tendências em séries temporais de dados meteorológicos e dados de sensoramento remoto orbital em áreas de vegetação campestre natural do bioma Pampa, localizadas na Depressão Central do RS

Fernando Comerlato Scottá

Orientadora: Prof. Eliana Lima da Fonseca

Banca Examinadora: Prof. Francisco Eliseu Aquino

Prof. Denílson Ribeiro Viana

Trabalho apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

Porto Alegre

2012/2

*Dedico aos meus amigos, os que estão comigo
e os que também já partiram.*

AGRADECIMENTOS

A pessoa mais responsável pela motivação e realização desse trabalho foi minha orientadora, a Prof. Eliana Lima da Fonseca. Ela também foi responsável pela criação do projeto, orientação do trabalho com muita qualidade e disponibilidade. Muito obrigado!

Quero agradecer aos meus pais, Alcides e Elisabete, por todos os esforços realizados para minha educação fosse a melhor possível desde quando era criança. Com certeza esse trabalho foi fruto de esforços passados na qual meus pais são responsáveis. Agradeço a minha namorada, Amanda, pela paciência e apoio por todo esse tempo. Agradeço também aos meus parentes que sabem que não sou geólogo e realmente se interessam pelo meu trabalho.

Agradeço ao Departamento de Geografia, em especial aos professores Francisco Eliseu Aquino, Jefferson Cardia Simões e Ulisses Franz Bremer. Agradeço meus colegas durante o tempo que estive no CPC, especialmente a Luiz Felipe Velho. Também agradeço ao professor Paulo Roberto Rodrigues Soares pela bolsa de intercâmbio para os Estados Unidos que me foi concedida em 2009. Agradeço aos amigos que fiz durante minha caminhada na graduação, Thiago Espindula, Vinícius Cardia, Fernando Moraes, Daniel Vallerius, Stefan Rout e vários outros.

Agradeço a todos que possuem interesse por este trabalho.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi de analisar as tendências em séries temporais de dados meteorológicos e de dados de sensoriamento remoto orbital coletados sobre áreas de vegetação campestre natural do bioma Pampa, localizadas na Depressão Central do RS. Para a análise do clima, foi utilizada uma estação meteorológica localizada no município de Eldorado do Sul. Foram utilizados os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 1970-2011. Para a análise dos dados de sensoriamento remoto orbital em áreas de vegetação campestre natural, seis áreas foram identificadas no município de Rio Pardo. Foram utilizadas as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e também dados de NDVI do produto VGT-S 10, sensor Vegetation, para o período de 04/1998 até 12/2011. Para analisar a tendência das séries temporais, foi realizado um ajuste de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. A significância da tendência linear foi testada através da ANOVA e do teste t. Tendência de aumento para precipitação pluvial acumulada e diminuição da evapotranspiração acumulada foram observadas. A temperatura mínima do ar mostrou tendência de diminuição para todo o conjunto de dados e para a estação fria, enquanto a temperatura média do ar e a temperatura máxima do ar apresentaram estabilidade. As mudanças de reflectância nas áreas de vegetação campestre na Depressão Central apontam para tendência de diminuição de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho médio, indicando maior quantidade de água no dossel e menor ocorrência de estresse foliar. Não foi observada existência de tendência das séries de reflectância na banda do infravermelho próximo e nos valores de NDVI, sendo essas séries temporais as que respondem de forma direta ao acúmulo de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças do clima; sensor Vegetation; biomassa; modelo linear.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze trends in time series of meteorological data and remote sensing data collected over areas of natural grassland biome Pampa, located in the Central Depression, RS. For climate analysis, a meteorological station located in Eldorado do Sul was used. Monthly data of air temperature (minimum, average and maximum), cumulative rainfall and evapotranspiration accumulated were used for the period 1970-2011. For the analysis of remote sensing data in areas of natural grassland, six areas were identified in Rio Pardo. Bands of blue, red, near infrared, mid-infrared and also NDVI data of the product VGT S-10, sensor Vegetation, were used for the period from 04/1998 to 12/2011. To analyze the time series trend, a linear regression was performed by the least squares method. The significance of the linear trend was tested by ANOVA and t test. Increasing trend for cumulative rainfall and decreasing trend evapotranspiration accumulated were observed. The minimum air temperature showed downward trend for the entire data set and for the cold season, while the mean air temperature and maximum air temperature remained stable. The reflectance changes in the areas of grassland in the Central Depression indicate downward trend reflectance in red and mid-infrared bands, indicating a greater amount of water in the canopy and fewer stress leaf. There was no existence of trend reflectance series in the near infrared band and NDVI values, these being the series that respond directly to the biomass accumulation.

KEYWORDS: Climate Change, Vegetation sensor; biomass; linear model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2. 1. Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul.	16
Figura 2. 2. Temperatura média anual do Rio Grande do Sul.	19
Figura 2. 3. Precipitação pluvial anual no Rio Grande do Sul para o período de 1976-2005..	20
Figura 2. 4. Diagrama de uma célula vegetal. Os cloroplastos são destacados em verde.	22
Figura 2. 5. Mecanismos de absorção e dissipação de energia	23
Figura 2. 6. Curva de produção média de pastagem nativa no período de 84 a 89.	25
Figura 2. 7. Curva espectral de uma folha verde.	27
Figura 2. 8. Média de NDVI (1981-2000) nos campos da Depressão Central do Rio Grande do Sul.	30
Figura 3. 1. Mapas das Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.	35
Figura 3. 2. A- Localização das áreas de vegetação campestre analisadas no Rio Grande do Sul. B- Seis áreas de vegetação campestre selecionadas para composição da série temporal em amarelo.	36
Figura 4. 1. Exemplo de planilha com dados para o mês de janeiro de 2003.	39
Figura 4. 2. Etapas da composição das séries temporais.	41
Figura 5. 1. Tendência da série temporal para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.	46
Figura 5. 2. Tendência da série temporal para a estação quente para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.	48
Figura 5. 3. Tendência da série temporal para a estação fria para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.	50
Figura 5. 4. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.	53
Figura 5. 5. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.	56

Figura 5. 6. Tendência da série temporal da estação fria para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1. Características dos satélites SPOT 4 e SPOT 5.....	33
Tabela 2. 2. Informações sobre o sensor Vegetation.....	33
Tabela 2. 3. Informações sobre o sensor TM	34
Tabela 4. 1. Localização das seis áreas escolhidas para análise.....	38
Tabela 5. 1. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada.	43
Tabela 5. 2. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente.	44
Tabela 5. 3. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação fria.	44
Tabela 5. 4. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos.	45
Tabela 5. 5. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação quente.	47
Tabela 5. 6. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação fria.	49
Tabela 5. 7. Estatísticas descritivas dos dados decendiais do sensor Vegetation produto VGT-S10.....	51
Tabela 5. 8. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10.....	52
Tabela 5. 9. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação quente.....	55
Tabela 5. 10. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação fria.....	57

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	13
2.1 Objetivo Geral	14
2.1.1 Objetivos Específicos	14
CAPÍTULO 2	15
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Bioma Pampa	15
2.2 Tempo, Clima e Mudança do Clima	17
2.3 Clima do Rio Grande do Sul	18
2.4 Aquisição de dados meteorológicos utilizando estações de superfície	21
2.5 Crescimento da vegetação	21
2.5.1 Influência do clima no crescimento da vegetação	22
2.5.2 Outros fatores físicos que influenciam o crescimento da vegetação	24
2.5.3 Efeito do clima na vegetação do bioma Pampa	25
2.5.4 El Niño e La Niña e sua associação com o crescimento da vegetação do Rio Grande do Sul	26
2.6 Sensoriamento remoto para estudos de vegetação	26
2.6.1 Comportamento espectral da vegetação	26
2.6.2 Fatores ambientais que alteram o comportamento espectral da vegetação	28
2.6.3 Índice de vegetação por diferença normalizada	29
2.7 Estudos de vegetação com sensoriamento remoto no Bioma Pampa	30
2.8 Análises em Séries Temporais	31
2.8.1 Séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital para o monitoramento da vegetação	32

2.9 Sensor Vegetation	33
2.10 Sensor TM	34
CAPÍTULO 3	35
ÁREA DE ESTUDO	35
3.1 Áreas de vegetação campestre natural no município de Rio Pardo	36
CAPÍTULO 4	38
MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Identificação das áreas monitoradas	38
4.2 Montagem da série temporal com dados meteorológicos	38
4.3 Montagem da série temporal com dados sensoriamento remoto orbital	40
4.4 Análises estatísticas	41
CAPÍTULO 5	43
RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 Análise do Clima	43
5.1.1 Estatísticas Descritivas	43
5.1.2 Análise de tendências	45
5.1.3 Estação Quente	47
5.1.3.2 Análise da Tendência	47
5.1.4 Estação Fria	49
5.1.4.1 Análise da Tendência	49
5.2 Análise de áreas de vegetação campestre com dados do sensor Vegetation	50
5.2.1 Estatísticas Descritivas	50
5.2.1 Análise de Tendência	52
5.2.2 Análise de Tendência da Estação Quente	54
5.2.3 Análise de Tendência da Estação Fria	56
5.3 Comparação das tendências do clima e do sensor Vegetation	58
CAPÍTULO 6	60

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
Referências Bibliográficas:	61
Apêndice A	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O crescimento da vegetação é dependente dos elementos do clima, pois as espécies vegetais precisam basicamente de radiação solar e água para crescerem. Cada espécie vegetal também está adaptada para crescer em determinados intervalos de temperatura (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Dessa forma, o clima de determinada região terá papel crucial no desenvolvimento vegetal, pois determina como os elementos físicos que vão interagir com as espécies vegetais.

Com o aumento da concentração de dióxido de carbono, aumento da temperatura e outras mudanças nos elementos do clima em um contexto de mudanças ambientais globais (IPCC, 2007), a alteração da dinâmica do crescimento da vegetação e acúmulo de biomassa do planeta é esperada. Apesar disso, o impacto da mudança climática no sistema terrestre ainda não é totalmente compreendido (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono (CO₂) é o principal gás estufa causador do aumento médio de temperatura registrado de 0,76°C entre o período de 1850-1899 a 2001-2005 no planeta (IPCC, 2007). O CO₂ é também fonte primária para crescimento da vegetação através da fotossíntese. Supõe-se que uma das consequências que o aumento da concentração de dióxido de carbono poderá provocar é um maior crescimento da vegetação no planeta e maior acúmulo de biomassa (SALZER et al., 2009; MYNENI et al., 2001; BETTS et al., 1997; FIELD et al., 1995). Apesar disso, uma diminuição da produção agrícola no planeta durante 1980 a 2008 é registrada (LOBELL et al., 2011), o que mostra que o impacto do CO₂ na crescimento da vegetação do planeta ainda não foi completamente entendido.

O bioma Pampa, localizado no sul do Rio Grande do Sul, possui como característica principal a vegetação campestre, também possuindo áreas de vegetação arbustiva e formações florestais (OVERBECK et al., 2007). Sua biodiversidade é considerada alta, estando na ordem de 2200 espécies vegetais (BOLDRINI, 2009). Uma das principais atividades econômicas nesse bioma é a agropecuária, ocupando as regiões da Fronteira Oeste, Sul e Campanha a maior concentração de rebanho do Rio Grande do Sul, de 24,2%, 12,7% e 10,7%, respectivamente (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2012). A pastagem nativa é fundamental para a agropecuária, pois é fonte de alimento para os animais, fazendo com que o sistema produtivo seja dependente da produção vegetal. Apesar disso,

existem poucos estudos que analisam a variação da produção vegetal de espécies nativas do bioma Pampa com a variação do clima do Rio Grande do Sul.

2.1 Objetivo Geral

Analisar as tendências em séries temporais de dados meteorológicos e de dados de sensoriamento remoto orbital coletados sobre áreas de vegetação campestre natural do bioma Pampa, localizadas na Depressão Central do RS.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a tendência temporal dos dados climatológicos da EEA-UFRGS para os anos de 1970 a 2011, utilizando os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada.

- Analisar a tendência temporal em áreas de vegetação campestre natural com dados do satélite SPOT, sensor Vegetation, para os anos de 1998 a 2011, utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI);

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioma Pampa

O bioma Pampa possui uma área de aproximadamente 176.496 km², ocupando 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2012) e 63% do Estado do Rio Grande do Sul (OVERBECK et al., 2007) (Figura 2.1). Também possui continuidade em todo o Uruguai e parte da Argentina (BOLDRINI, 2009). Esse bioma é dominado por vegetação campestre, porém também apresenta vegetação arbustiva e áreas florestais (OVERBECK et al., 2007). Os campos possuem como fisionomia característica a presença de gramíneas, apresentando diversidade na ordem de 2200 espécies (BOLDRINI, 2009), sendo 450 espécies forrageiras (NABINGER et al., 2009).

Uma característica peculiar dos campos no Rio Grande do Sul é a coexistência de espécies dos grupos fotossintéticos C3 e C4 (OVERBECK et al., 2007). As espécies do grupo fotossintético C4 possuem como característica o crescimento no período das estações quentes do ano (período estival), enquanto o grupo C3 apresenta crescimento no período de estações frias (período hibernar). Apesar da coexistência desses dois grupos de espécies, o predomínio de espécies do grupo C4 é maior (BOLDRINI, 2009; MARASCHIN, 2009), explicando o característico aumento de biomassa nas estações quentes do ano (BETTOLLI et al., 2010; MARASCHIN, 2009; NABINGER et al., 2009; GOMES, 1996).



Figura 2. 1. Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

Os campos do bioma Pampa apresentam subdivisões relacionadas com a área de localização. O noroeste do Estado é caracterizado por campos de barba de bode, com o estrato superior caracterizado por *Aristida jubata* e o inferior por gramíneas rizomatosas, como o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), a grama-missioneira (*Axonopus jesuiticus*) e *P. nicorae* em áreas mais secas. Em locais úmidos, é comum a presença da grama-tapete (*A. affinis*) e *P. pumilum*. Os campos de solos rasos localizam-se na fronteira Oeste do Estado, onde vegetam gramíneas cespitosas de porte baixo como *Aristida murina*, *A. uruguayensis*, *Bouteloua megapotamica*, *Eustachys brevipila*, *Microchloa indica*, *Tridens hackelii* e *Tripogon spicatus*. Também encontram-se compostas como *Berroa gnaphalioides* e *Sommerfeltia spinulosa* e leguminosas como *Adesmia incana*, *Indigofera asperifolia*, *Mimosa amphigena* e *Rhynchosia diversifolia*. No sudoeste do Estado são presentes os campos de solos profundos, na qual a quantidade de gramíneas é marcante. São presentes as gramíneas estivais como o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), cola-de-lagarto (*Coelorachis selloana*), e capim-melador (*Paspalum dilatatum*), e as hibernais como a flechilha (*Stipa setigera*) e o cabelo-de-porco (*Piptochaetium stipoides*).

Nos campos dos areais, situada no centro-oeste do Rio Grande do Sul, destacam-se *Axonopus argentinus*, *Elyonurus* sp. (o capim-limão) e *Paspalum nicorae*, além dessas, também se desenvolvem espécies endêmicas e relictual. Na região do planalto sul-riograndense é presente a vegetação savanóide, que apresenta um maior equilíbrio entre gramíneas e compostas sendo comuns espécies de gramíneas cespitosas eretas, como as barbas-de-bode (*Aristida jubata*, *A. filifolia*, *A. spegazzini*, *A. circinalis* e *A. venustula*), *Andropogon ternatus*, *A. selloanus* e *Stipa filifolia*. Nos campos do centro do estado ocorrem a presença de vegetação tropical e subtropical, com vegetação compostas muito presentes entremeadas às gramíneas. Espécies como capim-forquilha (*Paspalum notatum*) e grama-tapete (*Axonopus affinis*) são presentes. Nos campos litorâneos, espécies de porte baixo estão presentes, representadas por *Ischaemum minus*, *Axonopus affinis*, *A. obtusifolius*, *Paspalum dilatatum*, *P. pauciciliatum*, *P. modestum*, *P. pumilum* e *Panicum aquaticum*. Também destacam-se as leguminosas *Stylosanthes leiocarpa*, *Indigofera sabulicola*, *Desmodium adscendens*, *D. barbatum*, *D. incanum*, *Adesmia latifolia*, *Vigna longifolia* e *V. luteola* (BOLDRINI, 2009).

O bioma Pampa é produto de cerca de quatro séculos de intervenção do homem (NABINGER et al., 2009), com a agropecuária ocupando uma das principais atividades econômicas. Como a cobertura vegetal condicionada pelo ambiente físico elabora diariamente, através da fotossíntese, a matéria seca (MS) que serve de alimento e compõe a dieta animal em pastejo (MARASCHIN, 2009), o sistema produtivo é dependente da produção de forragem. Entende-se forragem como partes comestíveis das plantas, além de grãos separados, que podem ser fornecidos para animais de pasto ou que podem ser colhidos para alimentação (ALLEN et al, 2011).

2.2 Tempo, Clima e Mudança do Clima

Apesar de tempo e clima estarem relacionados, não são conceitos idênticos. Tempo é o estado da atmosfera em um local e instante, sendo caracterizado pelas condições de temperatura, precipitação, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Clima refere-se a um regime mais duradouro da atmosfera. Representa uma composição das condições de tempo dos dias e dos elementos atmosféricos, dentro de uma área especificada por um longo período de tempo (TREWARTHA; HORN, 1980). O clima não pode não pode ser considerado uma média das condições do tempo, pois a variabilidade

do tempo é importante no estudo do clima (TREWARTHA; HORN, 1980). O período de tempo mais comum para caracterizar o clima de uma área é de 30 anos.

Segundo EPA (2012) (em inglês, United States Environmental Protection Agency, EPA), o conceito de mudança do clima pode ser definido como uma mudança significativa nas medições do clima (como temperatura, precipitação pluvial ou vento) durante um longo período (décadas ou mais). As mudanças do clima podem resultar de:

- Os fatores naturais, tais como alterações na intensidade do sol ou mudanças lentas na órbita da Terra em torno do sol;
- Os processos naturais no sistema climático (por exemplo, mudanças na circulação oceânica);
- As atividades humanas que alteram a composição da atmosfera (por exemplo: através da queima de combustíveis fósseis) e da superfície terrestres (por exemplo: desmatamento, reflorestamento, urbanização, desertificação, entre outros)

2.3 Clima do Rio Grande do Sul

O clima do Rio Grande do Sul é subtropical, possuindo climas Cfa (temperado úmido sem estação seca, com verão quente) e Cfb (temperado úmido sem estação seca, com verão ameno) na classificação de Köppen (BRASIL, 1972). Nesta classificação, a primeira letra representa característica da temperatura, sendo a letra “C” um clima que em o mês mais frio apresenta temperatura média maior que -3°C , porém menor que 18°C . A segunda letra representa o regime de precipitação pluvial, na qual a letra “f” corresponde à ausência de estações secas. A terceira letra revela o regime de temperatura dentro de uma estação, na qual a letra “a” representa ocorrência de verões quentes e a letra “b” a ocorrência de verões amenos (AGUADO; BURT, 2007).

Como a temperatura diminui aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$ a cada 100 metros de altura (AYOADE, 1983), pode-se observar que apenas as áreas do Rio Grande do Sul com maior altitude, localizadas no Planalto Meridional e Serra do Sudeste, são as áreas classificadas com o clima Cfb (KUICHTNER; BURIOL, 2001), pois as temperaturas são menores e os verões nessas áreas são amenos. As áreas de clima Cfa ocorrem nas altitudes menores, sendo essa classificação climática a predominante no RS (KUICHTNER; BURIOL, 2001). O mapa de temperatura média anual do Rio Grande do Sul pode ser observado na Figura 2.2.

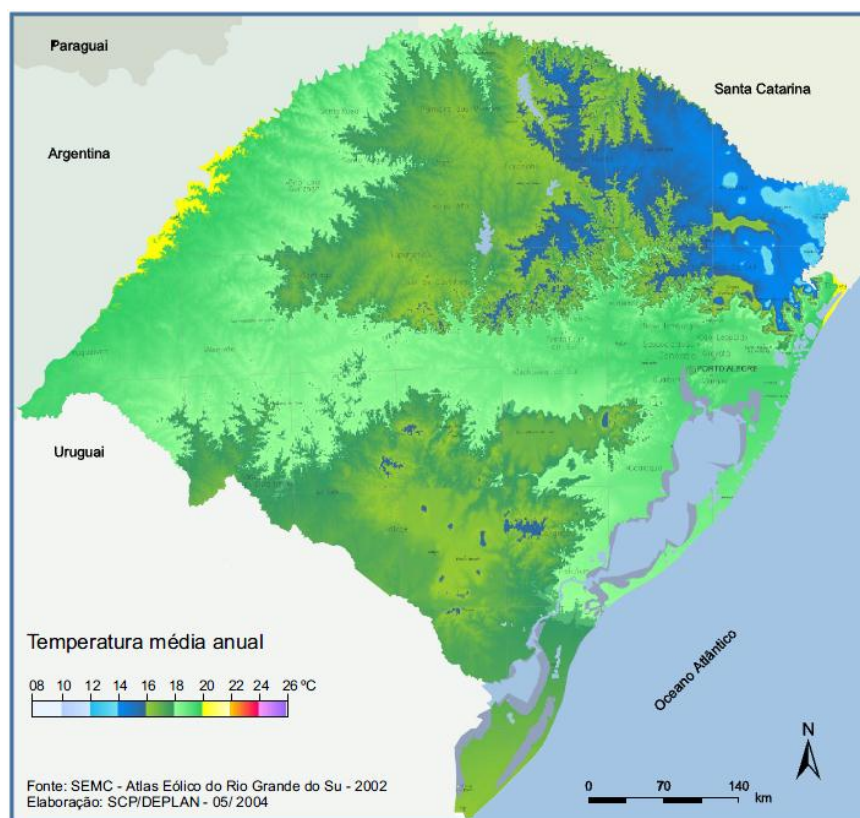


Figura 2. 2. Temperatura média anual do Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

A normal climatológica da temperatura média do ar para o Rio Grande do Sul é de 18,8°C para o período 1961-1990 (VIANA; MATZENAUER; AQUINO, 2006). Uma das características da temperatura do Estado é de possuir grande variabilidade intra-anual, com os meses de janeiro e julho registrando as maiores e menores temperaturas, respectivamente (CAVALCANTI et al., 2009; NIMER, 1979). As principais razões para a ocorrência da variabilidade intra-anual da temperatura do ar é que, durante o verão, a inclinação dos raios solares é muito pequena e os dias são longos (NIMER, 1979). Durante o inverno, a inclinação dos raios solares é maior e os dias são mais curtos, porém o estado também sofre influência da Massa Polar Atlântica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), provocando a redução de temperaturas principalmente nos meses de junho, julho e agosto (NIMER, 1979).

Para o Rio Grande do Sul, estudos apontam o aumento da temperatura mínima do ar (CORDEIRO, 2010; BERLATO; ALTHAUS, 2010; SANSIGOLO; KAYANO, 2010; COSTA; MARQUES, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008; SILVEIRA; GAN, 2006), aumento da temperatura máxima do ar (CORDEIRO, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008) e redução da amplitude térmica diária (MARENGO; CAMARGO, 2008). Aumento da temperatura mínima do ar também foi relatado na Argentina (RUSTICUCCI; BARRUCAND,

2004) e Uruguai (RUSTICUCCI; RENOM, 2008). Esses resultados são consistentes com estudos que indicaram para o aumento de temperatura na América do Sul (VINCENT et al., 2005).

A média registrada da precipitação pluvial anual acumulada no Estado do Rio Grande do Sul é de 1613mm para o período de 1975-2004 (VIANA; AQUINO; MATZENAUER, 2006). O regime de precipitação pluvial possui distribuição regular entre as quatro estações do ano (VIANA; FERREIRA; CONFORTE, 2009), sendo uma característica que distingue o clima da região Sul das demais regiões do Brasil (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Outra característica importante sobre o regime pluviométrico no Rio Grande do Sul é a maior ocorrência de precipitação pluvial no norte do Estado (MATZENAUER et al., 2007; BERLATO, 1992) (Figura 2.3).

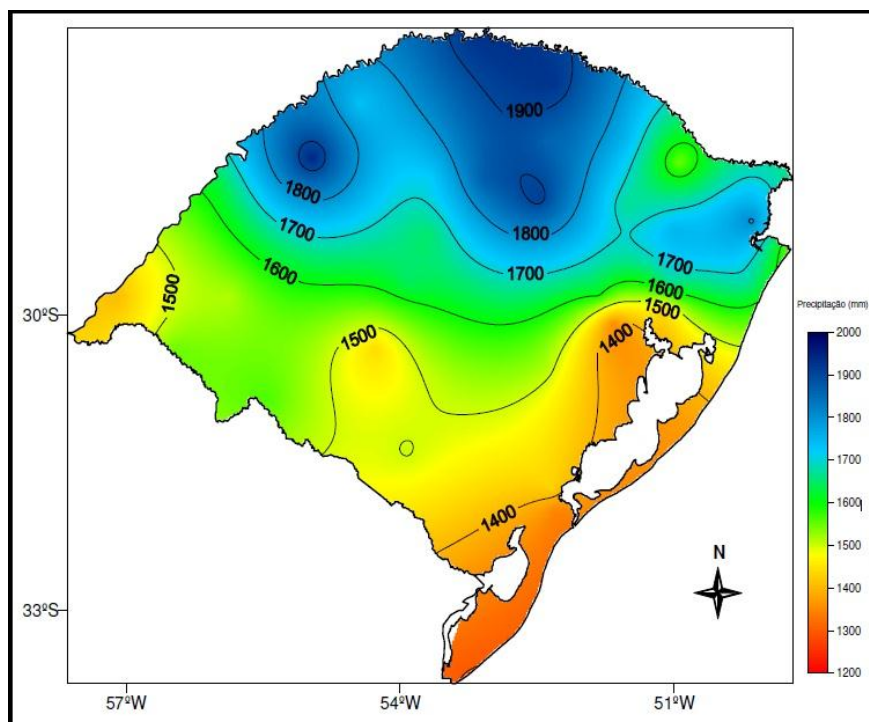


Figura 2. 3. Precipitação pluvial anual no Rio Grande do Sul para o período de 1976-2005. Fonte: Matzenauer et al. (2007).

Analisando a tendência da precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, observa-se a tendência de aumento (CORDEIRO, 2010; BARROS; DOYLE; CAMILLONI, 2008; BERLATO et al., 2007; HAYLOCK et al., 2006) e aumento do número de dias com registro de precipitação pluvial, sendo o número de dias de precipitação pluvial maior no leste do Estado (FONTANA; ALMEIDA, 2002). O aumento da precipitação pluvial é semelhante ao documentado por Haylock et al. (2006) na América do Sul para o período 1960-2000.

2.4 Aquisição de dados meteorológicos utilizando estações de superfície

Uma observação meteorológica de superfície consiste de procedimentos sistemáticos e padronizados, visando à obtenção de informações qualitativas e quantitativas referentes aos parâmetros meteorológicos, capazes de caracterizar plenamente o estado instantâneo da atmosfera (VIANELLO; ALVES; 1991).

As padronizações são determinadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), com o objetivo da comparatividade das estações. Tal padronização inclui: tipos de equipamentos usados, técnicas de calibração, aferição, ajustes, manuseio e procedimentos observacionais (VIANELLO; ALVES; 1991).

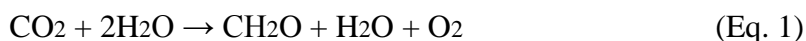
Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), a superfície onde são feitas as medições é o gramado. O gramado deve ser mantido bem aparado e em boas condições de crescimento. As dimensões da área gramada da estação meteorológica devem ser suficientes para acomodar adequadamente os equipamentos. A área também deve ser cercada, para evitar o acesso de animais.

Quanto ao sistema de coleta de dados, existem basicamente dois tipos de sistemas:

- 1) Estações Meteorológicas Convencionais (EMC): estação que exige a presença diária do observador meteorológico para a coleta de dados. Os equipamentos são normalmente de leitura direta, como o termômetro, o pluviógrafo, anemógrafo, entre outros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).
- 2) Estação Meteorológica Automática (EMA): é o tipo de estação que tem a coleta de dados totalmente automatizada. Os sensores operam com princípios que permitem a emissão de sinais elétricos, que são captados por um sistema de aquisição de dados, possibilitando o armazenamento e o processamento informatizado dos dados. A principal vantagem é o registro contínuo de todos os elementos do clima (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

2.5 Crescimento da vegetação

O crescimento da vegetação e produção de biomassa ocorre através do processo de fotossíntese. O processo de fotossíntese envolve várias reações bioquímicas e pode ser resumido pela Equação 1:



O dióxido de carbono (CO_2) é obtido da atmosfera pela abertura dos estômatos da folha. A água (H_2O) é absorvida pelas raízes no solo. Utilizando como fonte de energia a radiação solar, água e dióxido de carbono formam os compostos orgânicos (CH_2O) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A absorção da luz solar ocorre nos pigmentos da célula da planta, estando esses pigmentos localizados nos cloroplastos (Figura 2.4). Diferentes tipos de pigmentos fotossintetizantes, como clorofila, carotenos e xantofilas são presentes em uma célula vegetal. Cada tipo de pigmento possui sua própria estrutura molecular e desempenha uma função específica dentro do processo de fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

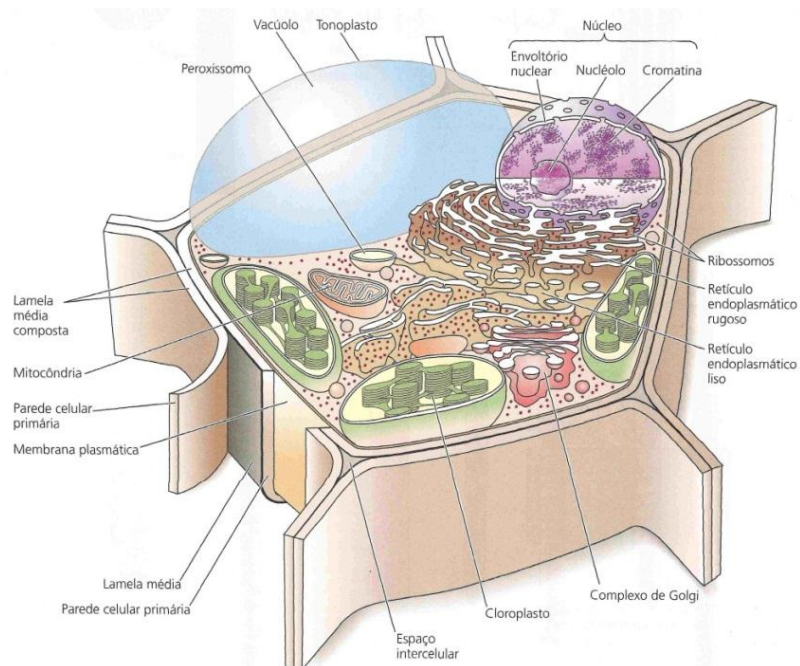


Figura 2. 4. Diagrama de uma célula vegetal. Os cloroplastos são destacados em verde. Fonte: adaptado de Taiz e Zeiger (2009).

2.5.1 Influência do clima no crescimento da vegetação

O desenvolvimento vegetal é dependente dos elementos do clima, como radiação solar, água, temperatura do ar. A quantidade de radiação solar na região do visível ($0,4 - 0,72\mu\text{m}$) que incide no dossel é fundamental, pois é esta a faixa do espectro eletromagnético que é utilizada pelas plantas para a realização do processo de fotossíntese, sendo chamada de Radiação Fotossinteticamente Ativa (em inglês, PAR), correspondendo à 39,8% da radiação emitida pelo sol (MONTEITH; UNSWORTH, 1990).

Apesar de um dossel necessitar de energia luminosa para a realização da fotossíntese, o excesso ou falta de radiação eletromagnética pode ser um fator limitante. O excesso de luz

pode levar ao processo de fotoinibição (TAIZ; ZEIGER, 2009). A falta da luz incidente em um dossel também é um fator limitante, pois não haverá energia externa para a ocorrência da Equação 1. Apesar disso, mesmo em condições ideais de radiação eletromagnética que incide em um dossel, o processo de fotossíntese pode ser limitado por outros determinantes do meio como água, temperatura ou disponibilidade de minerais (NABINGER, 1998).

A disponibilidade de água em um dossel é fundamental para o desenvolvimento vegetal. Aproximadamente 97% da quantidade de água absorvida pelas raízes é transportada pela planta e evaporada pelas superfícies foliares, sendo esse processo denominado transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2009). As demais quantidades de água são utilizadas para processos de crescimento (~2%) e para a fotossíntese e demais processos metabólicos (~1%). O processo de transpiração é necessário para que a planta dissipe o calor das folhas e mantenha a temperatura das folhas resfriadas (Figura 2.5) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

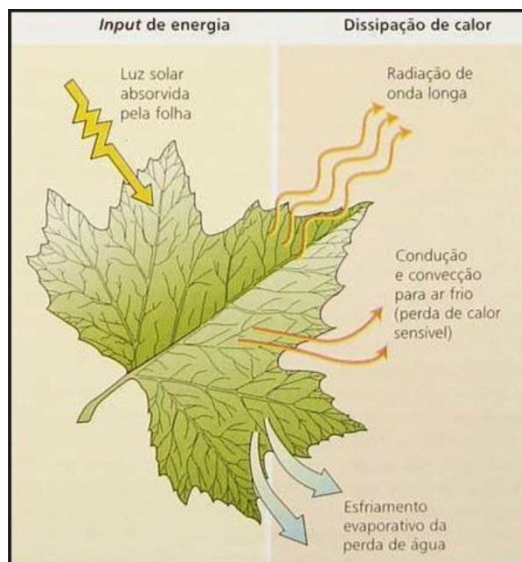


Figura 2. 5. Mecanismos de absorção e dissipação de energia. Fonte: adaptado de Taiz e Zeiger (2009).

A disponibilidade de água no dossel é dependente da precipitação pluvial, da capacidade de armazenamento de água pelo solo e a evaporação causada pela atmosfera. A absorção de água pelas raízes das plantas é extremamente dependente do solo onde o dossel está situado, pois o conteúdo de água e sua taxa de movimentação dependem do tipo e estrutura do solo (TAIZ; ZEIGER, 2009). As espécies vegetais também possuem seus próprios mecanismos de absorção de água pelas raízes e mecanismos para evitar perda de água para a atmosfera. Dessa forma, o balanço hídrico do dossel dependerá da interação do

sistema solo-planta-atmosfera, em que a condição hídrica do dossel dependerá de uma combinação desses três segmentos (BERGAMASCHI, 1992).

A ocorrência de déficit hídrico provoca perda de turgidez da planta, ocorrendo o fechamento parcial ou total dos estômatos (BERGAMASCHI, 1992). Com o estômato apresentando menor abertura e sendo responsável pela entrada de dióxido de carbono, a absorção de CO₂ é reduzida e o processo de fotossíntese diminui (CHAPIN III et al., 1987). Outro processo resultante da perda da turgidez é a redução da área foliar, que são mecanismos da planta de compensar a baixa disponibilidade hídrica, também provocando a diminuição da fotossíntese (BERGAMASCHI, 1992) e conseqüentemente redução da biomassa.

A temperatura é outro elemento do clima que influencia o crescimento de um dossel. A temperatura regula a transpiração e o processo de fotossíntese da planta. Períodos de altas temperaturas provocam maior transpiração, causando maior perda de água para a atmosfera (PILLAR, 1995) e maior probabilidade de ocorrência de déficit hídrico. O estresse térmico em uma planta pode inibir o processo de fotossíntese e prejudicar as funções das membranas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim cada espécie vegetal possui uma temperatura considerada ideal para que a taxa líquida de fotossíntese seja máxima, sendo chamada região de temperatura ótima. Pode-se assumir como região de temperatura ótima para a fotossíntese aquela em que os valores de fotossíntese atingem mais de 90% da capacidade fotossintética, sendo a região de temperatura ótima característica própria de cada espécie (LARCHER, 2000).

2.5.2 Outros fatores físicos que influenciam o crescimento da vegetação

O desenvolvimento de um dossel não depende apenas os elementos do clima para seu crescimento, pois depende de outros fatores relacionados ao solo e o ambiente em que o dossel está inserido, como a disponibilidade de nitrogênio, disponibilidade de minerais e distribuição e variabilidade de patógenos e parasitas (MONTEITH; UNSWORTH, 1990).

Em termos de nutrição mineral, o nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades e que frequentemente limita o seu crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2009; CHAPIN III et al., 1987). Como nitrogênio constitui componentes de aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos, sua falta é um dos grandes inibidores do crescimento vegetal crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2009).

2.5.3 Efeito do clima na vegetação do bioma Pampa

O efeito do clima na cobertura vegetal do bioma Pampa provoca basicamente duas épocas de crescimento da vegetação, denominadas de estação quente e estação fria (MACHADO, 1999). Na estação quente, que corresponde as estações da primavera, do verão e início do outono, o aumento de temperatura e do fotoperíodo aliado ao predomínio de espécies C4 no bioma Pampa provocam a maior produção vegetal e acúmulo de biomassa durante o ano (Figura 2.6). Durante essa estação, a falta de água pode afetar o crescimento da vegetação (MACHADO, 1999), fazendo com a precipitação pluvial tenha influência fundamental nesse período.

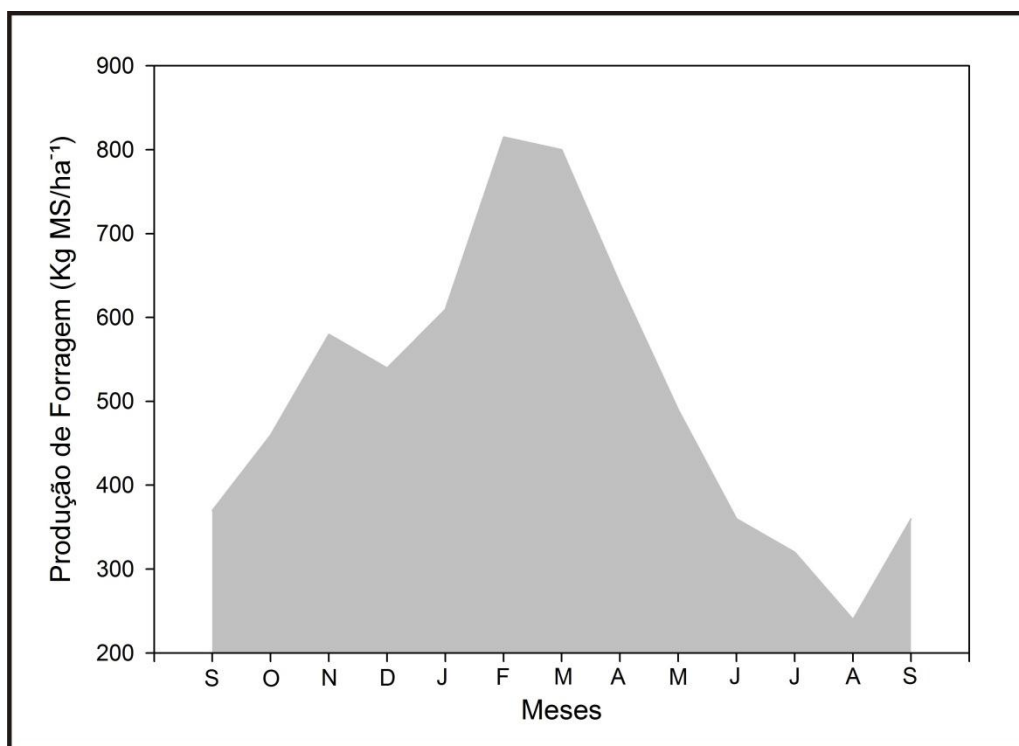


Figura 2. 6. Curva de produção média de pastagem nativa no período de 84 a 89. Fonte: Adaptado de Machado (1999).

Na estação fria, que corresponde as estações do final outono e inverno, as temperaturas baixas limitam o crescimento das espécies C4, provocando a diminuição da biomassa. Nesse período, a menor disponibilidade de radiação solar aliada às frequentes massas polares que avançam sobre o Estado determinam a ocorrência de geadas (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003). Dependendo da intensidade, duração e época de ocorrência, as geadas podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da vegetação (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

2.5.4 El Niño e La Niña e sua associação com o crescimento da vegetação do Rio Grande do Sul

As condições hídricas e térmicas do Rio Grande do Sul são alteradas em anos de El Niño e La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003; FONTANA; BERLATO, 1997). Para precipitação pluvial, em períodos de El Niño, ocorrem anomalias positivas em praticamente todos os meses do ano (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003), especialmente de outubro a janeiro (BERLATO; FONTANA, 2003). Por consequência, as anomalias positivas de precipitação pluvial na estação quente tende a favorecer o crescimento da vegetação, visto que a falta de água pode ser fator limitante nesse período (MACHADO, 1999).

Em períodos de La Niña, o oposto é observado para a precipitação pluvial. Verifica-se que as anomalias negativas de precipitação pluvial predominam na maior parte do Estado ao longo de todo o ano, mas principalmente nos meses de novembro, dezembro, maio e junho (BERLATO; FONTANA, 2003). Dessa forma, o desenvolvimento da cobertura vegetal pode ser comprometido em virtude dessas anomalias negativas principalmente para os meses de novembro e dezembro, pois a falta d'água pode ser o fator limitante ao desenvolvimento vegetal no período do verão (MACHADO, 1999).

Com relação a temperatura do ar, os impactos de El Niño e La Niña tendem a ser maiores na temperatura de média mínima quando comparado com as temperaturas médias máximas. Para os anos de La Niña, as temperaturas médias mínimas apresentam anomalias negativas, com destaque para outubro e novembro. Para os anos de El Niño, as temperaturas médias mínimas tendem a ser superiores principalmente no outono e início do inverno (BERLATO; FONTANA, 2003).

2.6 Sensoriamento remoto para estudos de vegetação

2.6.1 Comportamento espectral da vegetação

Os sensores ópticos a bordo de aeronaves e satélites produziram dados sobre a superfície terrestre, permitindo importantes aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto para estudos ambientais, agrícolas e monitoramento e detecção de mudanças globais (SCHOWENGERDT, 2007). O sensoriamento remoto da vegetação permite a realização diversas aplicações, entre elas o monitoramento temporal da vegetação com a combinação de dados meteorológicos (COSTA; KUPLICH, 2011; TRENTIN, 2011; BISSO et al., 2009; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2004; JACÓBSEN; FONTANA;

SHIMABUKURO, 2003) e de estimativa da biomassa aérea da vegetação (WULDER et al., 2008; FONSECA; FORMAGGIO; PONZONI, 2007; LU et al., 2005).

A estrutura interna e externa das plantas e suas interações com a radiação eletromagnética tem um impacto direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais aparecem espectralmente quando registrados usando instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009). Essa interação é distinta para as diferentes faixas do espectro eletromagnético, fazendo com que a reflectância tenha grande variação para diferentes comprimentos de onda, permitindo que informações diferentes sobre as propriedades da vegetação possam ser detectadas (Figura 2.7).

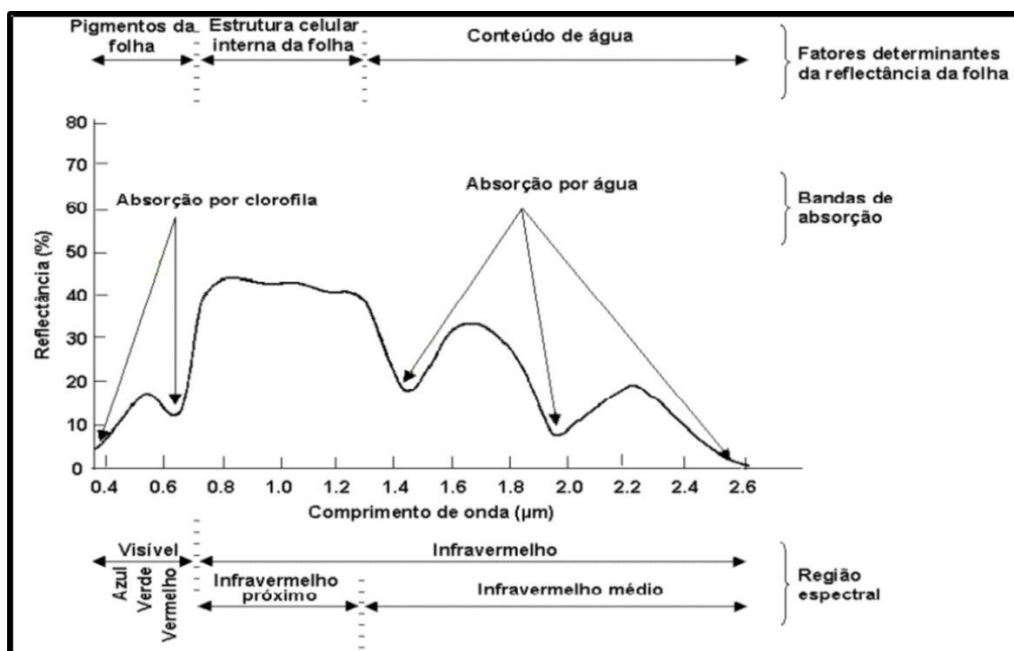


Figura 2. 7. Curva espectral de uma folha verde. Fonte: Modificada de Swain e Davis (1978).

A região do visível (0,4 – 0,72μm) é caracterizada pela absorção da radiação eletromagnética, causada pela presença dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila, carotenos e xantofilas) existentes nas folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Através disso, baixos valores de reflectância são caracterizados nesta faixa do espectro eletromagnético (Figura 2.8). Apesar de apresentar baixos valores de reflectância nessa faixa do espectro eletromagnético, a região do visível não é totalmente homogênea. As plantas absorvem a radiação eletromagnética principalmente nas regiões do azul (0,45μm) e vermelho (0,67μm), havendo um pico de reflectância na região do verde (ASHRAF; MAAH; YUSOFF, 2011). Como a reflectância é resultado da presença de pigmentos fotossintetizantes que absorvem

radiação eletromagnética, é esperada uma relação inversa de biomassa e reflectância nessa faixa do espectro eletromagnético (JENSEN, 2009).

Para a região do infravermelho próximo (0,72 – 1,10 μm), a radiação eletromagnética que atinge a vegetação é espalhada internamente, sendo resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por alta reflectância, com os valores acima de 40% (Figura 2.8). Ao contrário da região do visível, é esperada uma relação direta da reflectância com a biomassa de um dossel (JENSEN, 2009).

Na região do infravermelho médio (1,10 – 3,20 μm), a reflectância é reduzida pela presença de água no dossel, na qual provoca a absorção da radiação eletromagnética (Figura 2.8). Apesar disso, a influência da água não é totalmente homogênea nessa região. Em termos mais pontuais, a absorção da radiação eletromagnética pela água ocorre em 1,1 μm , 1,45 μm , 1,95 μm e 2,7 μm (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

2.6.2 Fatores ambientais que alteram o comportamento espectral da vegetação

Mudanças na reflectância de uma folha ou em um dossel induzidos por stress ambiental podem ser detectados com dados de sensoriamento remoto e utilizados como indicadores do estado fisiológico das plantas (JIANG e CARROW, 2005). Carter (1993) mostra que a reflectância no visível é mais sensível ao estresse foliar que o infravermelho. A reflectância no infravermelho é um indicador consistente de estresse somente quando ocorre severa desidratação foliar (JENSEN, 2009).

A falta água pode ser uma dos causadores de estresse foliar. Nas regiões do visível e infravermelho próximo, a região do vermelho é mais sensível a desidratação das folhas (SUPLICK-PLOENSE; ALSHAMMARY; QIAN, 2011; CARTER, 1993). Jiang e Carrow (2005) mostram que o intervalo do vermelho, de 664 a 687nm, possibilitou caracterizar as variações de reflectância de quatro espécies em um processo de déficit hídrico controlado. Para ocorrer variações significativas da reflectância por desidratação na região do infravermelho próximo, a falta d'água deve ser suficiente para causar severa desidratação foliar, sendo necessária alterações na estrutura da célula (SUPLICK-PLOENSE, ALSHAMMARY, QIAN, 2011).

No infravermelho médio, pela presença de água diminuir a reflectância, essa faixa do espectro eletromagnético é boa provedora de informações sobre a turgidez das folhas e do

conteúdo de umidade dos dosséis. Assim, quanto maior a turgidez das folhas, menor a reflectância no infravermelho médio (JENSEN, 2009).

2.6.3 Índice de vegetação por diferença normalizada

Para o monitoramento da vegetação, diversos índices de vegetação foram propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A maioria desses índices são baseados nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. Um dos índices mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (em inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI). O NDVI pode ser representado pela Equação 2:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}) / (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, sendo os valores negativos associados aos corpos d'água e nuvens e os valores positivos estão associados aos alvos terrestres. O NDVI está correlacionado com as propriedades biofísicas da cobertura vegetal, tais como índice de área foliar (IAF), condições da vegetação e biomassa (JIANG et al., 2006). O NDVI é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações inter-anuais desses perfis (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Outra importância desse índice é a redução de ruídos (diferenças na iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas e algumas variações topográficas) presentes nas bandas de imagens de múltiplas datas (JENSEN, 2009).

Dessa forma, O NDVI é uma ferramenta amplamente utilizada para o monitoramento da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Apesar disso, possui problemas no seu uso (PETTORELLI et al, 2005). O NDVI não expressa corretamente a correlação com IAF quando os valores desses são altos (JIANG et al., 2006, WANG et al., 2005, HUETE et al., 2002). Outro problema comum é sensibilidade do NDVI com variações do solo em um dossel, sendo os valores particularmente mais altos em solos mais escuros (JENSEN, 2009). Assim a relação esperada entre o NDVI e biomassa pode não ser identificada para alguns tipos de cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

2.7 Estudos de vegetação com sensoriamento remoto no Bioma Pampa

Diversos estudos utilizando dados de sensoriamento remoto permitiram mostrar a dinâmica do crescimento espacial e temporal da vegetação no bioma Pampa (COSTA e KUPLICH, 2011; MOREIRA; KUPLICH; FONSECA, 2011; TRENTIN, 2011; BISSO et al., 2009; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2004; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

Trentim (2011) utilizou dados MODIS utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio para monitorar a fenologia da Área de Proteção Permanente do Ibirapuitã. Os resultados mostraram que os três diferentes tipos de solos (Argissolo, Neossolo e Planossolo) analisados não influenciaram significativamente nos valores de reflectância.

Utilizando dados NDVI com imagens AVHRR/NOAA para diferentes macrozonas no Rio Grande do Sul entre julho de 1981 a junho de 2000, Jacóbsen; Fontana; Shimabukuro (2003) observaram que a tendência geral observada nos valores de NDVI seguem a curva de disponibilidade de radiação solar e temperatura, apresentado valores máximos no verão e mínimos no inverno. Para as macrozonas campos, estes mostram redução do NDVI nos meses de dezembro e janeiro em regiões ocupadas por campos (Figura 2.8). Além disso, mencionam que a provável causa para a redução do NDVI ocorre em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera.

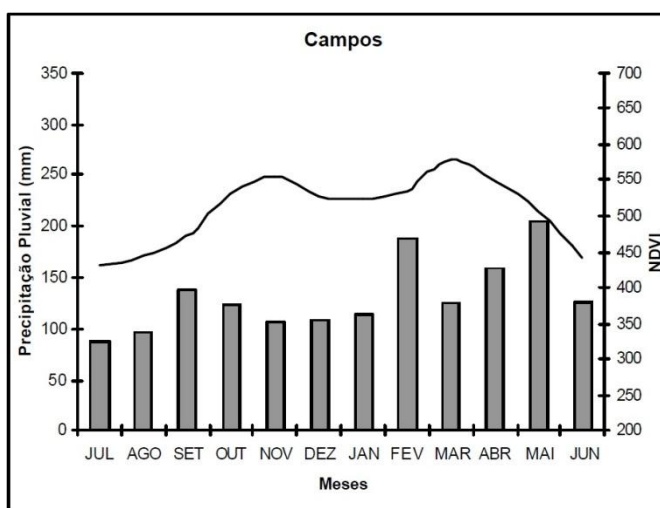


Figura 2. 8. Média de NDVI (1981-2000) nos campos da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Fonte: Jacóbsen; Fontana; Shimabukuro (2003).

Os mesmos dados de NDVI foram utilizados para analisar os efeitos em períodos de El Niño e La Niña no crescimento da vegetação. Jacóbsen; Fontana e Shimabukuro (2004)

concluíram que parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI possui relação com o fenômeno El Niño e La Niña, tendo influência principalmente na precipitação pluvial do Estado, com o maior impacto sobre o NDVI ocorrendo entre novembro e fevereiro. Durante esses meses as macrozonas campos são as que apresentaram maiores variações de NDVI (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

Moreira; Kuplich e Fonseca (2011) utilizando o NDVI do sensor MODIS, identificaram que diferentes tipologias campestres possuem comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento das espécies durante a primavera e verão. Períodos com grandes variações no comportamento do NDVI puderam ser identificados utilizando a abordagem da ondaleta.

Abordagem semelhante foi realizada por Costa e Kuplich (2011), na qual também mostraram que a ondaleta é eficiente para mostrar as variações de NDVI que ocorrem em áreas de campo nativo. Bisso et al. (2009), também utilizou dados NDVI do sensor MODIS para o ano de 2007. Os dados de NDVI foram correlacionados com dados de precipitação pluvial e temperatura, com os dados de temperatura tendo maior correlação que os dados de precipitação pluvial.

Através de uma busca de quantificar a produtividade, Paruelo et al. (1999) utilizou o sensor NOAA-AVHRR para quantificar a produção de forragem em áreas temperadas da Argentina. Os resultados encontrados indicaram grande variabilidade espacial de biomassa e também grande variabilidade interanual nos campos da Argentina.

2.8 Análises em Séries Temporais

Uma série temporal é definida como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo (MORETTIN; TOLOI, 2006). Uma análise de dados de séries temporais possuem quatro objetivos (MORETTIN; TOLOI, 2006), a saber:

- 1) Investigação do mecanismo gerador da série temporal;
- 2) previsões de valores futuros da série a curto e longo prazo;
- 3) descrição apenas o comportamento da série com a construção de gráficos para a verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais;
- 4) procurar periodicidades relevantes nos dados.

Diversas análises estatísticas são realizadas para atingir esses objetivos, como a utilização de análise de tendências, sazonalidade e análise espectral (MORETTIN; TOLOI,

2006), apenas para citar algumas. Uma análise estatística frequentemente utilizada em séries temporais é a de verificação de tendência linear.

A tendência linear é uma reta que se ajusta em um conjunto de dados, mostrando tendência de aumento, diminuição ou estagnação desse conjunto de dados em um determinado tempo. Para que a reta se ajuste no conjunto de dados, o ajuste por mínimos quadrados é um dos métodos que podem ser utilizados para o cálculo de tendência linear (MORETTIN; TOLOI, 2006).

2.8.1 Séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital para o monitoramento da vegetação

O conjunto de dados contínuos de sensoriamento remoto orbital consiste em um tipo de dado de série temporal. Os dados constituem uma série temporal de reflectância e mudanças dessa variável são respostas de alterações ocorridas na superfície terrestre. Assim, os satélites não fornecem apenas informações espaciais dos processos ecológicos, mas também fornecem informações das mudanças temporais (ZHAO; RUNNING, 2008).

Com acúmulo de dados de sensoriamento remoto orbital com o lançamento do satélite Landsat desde 1972 e do AVHRR/NOAA desde 1981, existem mais de três décadas de dados de satélite, permitindo o monitoramento dos ecossistemas terrestres (ZHAO; RUNNING, 2008). Outro sensor com lançamento mais recente, como o sensor Vegetation, por exemplo, também é amplamente utilizado como um conjunto de dados de séries temporais para o monitoramento do sistema terrestre (XIE; SHA; YU, 2008). Apesar disso, cada sensor possui resoluções próprias e constitui uma série temporal separada. Para que diferentes sensores possam ser utilizados conjuntamente como série temporal, a calibração dos sensores deve ser realizada (BROWN et al., 2006; TUCKER et al., 2005).

Tucker et al. (1985) foi o primeiro a mostrar que, entre o período de 1982 e 1983, ocorriam variações temporais no valor do NDVI do sensor AVHRR para os diferentes biomas do continente africano, estando estas variações relacionadas com as condições climáticas. No mesmo ano, Justice et al. (1985) mostrou a eficácia do monitoramento das mudanças temporais da vegetação no planeta com o uso do NDVI do sensor AVHRR. Posteriormente, diversos trabalhos foram realizados monitorando as variações temporais do crescimento da vegetação com dados de sensoriamento remoto (e.g. ZHAO; RUNNING, 2008; HUETE et al., 2006; NEMANI et al., 2003; MYNENI et al., 2001; MYNENI et al., 1997).

2.9 Sensor Vegetation

Os sensores Vegetation 1 e 2 estão a bordo dos Satélites SPOT 4 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) e SPOT 5, respectivamente. O objetivo desse sensor é de monitorar globalmente toda a biosfera continental (VEGETATION, 2012). O satélite SPOT4 foi lançado em 24 de março de 1998, enquanto o satélite SPOT5 foi colocado em órbita em 4 de maio de 2002 (Tabela 2.1).

Tabela 2. 1. Características dos satélites SPOT 4 e SPOT 5.

Missão	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>	
Instituições Responsáveis	Centre National d'Etudes Spatiales (CNES); Spot Image Corp.	
Satélite	SPOT-4	SPOT-5
Lançamento	24/03/1998	04/05/2002
Órbita	Circular, heliossíncrona e polar	
Altitude	830 km	
Inclinação	98,7°	
Tempo de Duração da Órbita	101,4 min	
Horário de Passagem	10:30	
Tempo de Vida Projetado	5 anos	5 anos

Fonte: Adaptado de <http://smc.cnes.fr/SPOT/>

Os dados do sensor Vegetation são contínuos desde abril de 1998, possuindo resolução espacial de 1000 metros e largura da faixa imageada de 2250 km. O instrumento Vegetation disponibiliza dados nas bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio (Tabela 2.2).

Tabela 2. 2. Informações sobre o sensor Vegetation.

Bandas Espectrais	Bandas Espectrais (µm)	Resolução espacial (m)	Largura da faixa imageada (km)
AZUL (B0)	0.430 - 0.470 µm	1000	2250
VERMELHO (B2)	0.610 - 0.680 µm		
INFRAVERMELHO PRÓXIMO (B3)	0.780 - 0.890 µm		
INFRAVERMELHO MÉDIO (MIR)	1.580 - 1.750 µm		

Os dados do sensor Vegetation são disponibilizados em produtos. Os produtos do instrumento Vegetation são: produto VGT-P, produto VGT-S1, produto VGT-S10 e produto VGT-D10. O produto VGT-P oferece valores de reflectância do topo da atmosfera e são adaptados para usuários interessados na qual a qualidade física dos dados é importante (VEGETATION, 2012). O produto VGT-S1 possui correção atmosférica pelo método SMAC (RAHMAN; DEDIEU, 1994) e é uma síntese diária do melhor valor disponível em um dia para um local específico baseado no critério de máximo NDVI (VEGETATION, 2012).

O produto VGT-S 10 é semelhante ao produto VGT-S1, porém consiste em uma síntese de 10 dias, também baseado no critério de máximo NDVI. O produto VGT-D10 também é uma síntese de dez dias, mas os valores dos pixels são processados baseados na função de distribuição bidirecional de reflectância.

As aplicações do sensor Vegetation são para estudos ambientais, monitoramento agrícola, monitoramento de florestas e estudos de mudanças globais. Os produtos desse instrumento estão disponíveis gratuitamente através do site: <http://free.vgt.vito.be/>.

2.10 Sensor TM

O sensor TM (Thematic Mapper) está a bordo do satélite Landsat 5, lançado em 01/03/1984. Sete bandas espectrais são disponibilizadas (Tabela 2.3), com as bandas 1-5 e 7 com resolução espacial de 30 metros e banda 6 com resolução espacial de 120 metros (NASA, 2012). O sensor TM esteve em operação até novembro de 2011, onde ocorreu a suspensão de fornecimento das imagens devido a degradação dos componentes eletrônicos (NASA, 2012).

Tabela 2. 3. Informações sobre o sensor TM.

Bandas Espectrais	Bandas Espectrais (μm)	Resolução espacial (m)	Largura da faixa imageada (km)
Banda 1	0.45-0.52 μm	30	185 x 172
Banda 2	0.52-0.60 μm	30	
Banda 3	0.63-0.69 μm	30	
Banda 4	0.76-0.90 μm	30	
Banda 5	1.55-1.75 μm	30	
Banda 6	10.4-12.5 μm	120	
Banda 7	2.08-2.35 μm	30	

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo desse trabalho estão localizadas na Depressão Central do Rio Grande do Sul (Figura 3.1). Seis áreas de vegetação campestre em Rio Pardo foram analisadas com dados de sensoriamento remoto orbital. Para a análise do clima, a estação meteorológica utilizada nesse trabalho localiza-se no município de Eldorado do Sul, na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS).

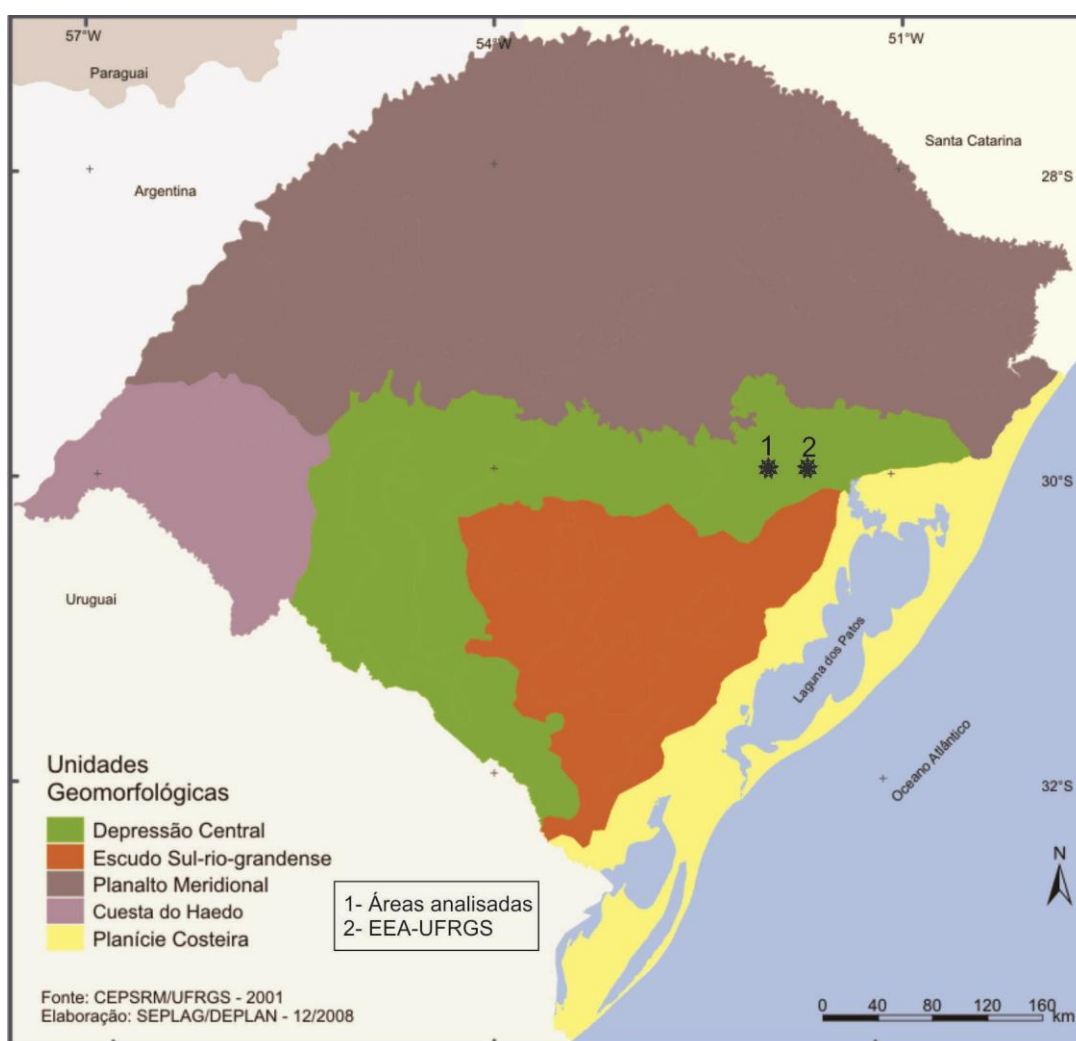


Figura 3. 1. Mapas das Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. A Depressão Central é destacada em verde. As duas áreas que serão analisadas na Depressão Central são marcadas (de forma aproximada) pelas estrelas pretas.

Fonte: Adaptado de Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

Segundo Bergamaschi et al. (2003), o clima na área de estudo apresenta temperatura média de 19,2°C, com médias mensais oscilando de 9 a 25°C no meses de inverno e verão,

respectivamente. A precipitação pluvial média é da ordem de 1446 mm ao ano, com os meses de junho, julho e agosto apresentando os maiores registros (BERGAMASCHI et al., 2003). A radiação solar e duração do brilho solar é maior no mês de dezembro, com média de 509 cal.cm⁻².mês⁻¹ para a radiação solar. O mês de junho é o que apresenta menor radiação solar e duração do brilho solar durante o ano, tendo média de 206 cal.cm⁻².mês⁻¹ (BERGAMASCHI et al., 2003).

3.1 Áreas de vegetação campestre natural no município de Rio Pardo

As seis áreas de vegetação campestre natural analisadas com dados de sensoriamento remoto orbital estão localizadas no município de Rio Pardo (30°08'S, 52°15'O e altitude de aproximadamente 60 metros). Está área se encontra a leste da BR-471 e a norte BR-290 (Figura 3.3).

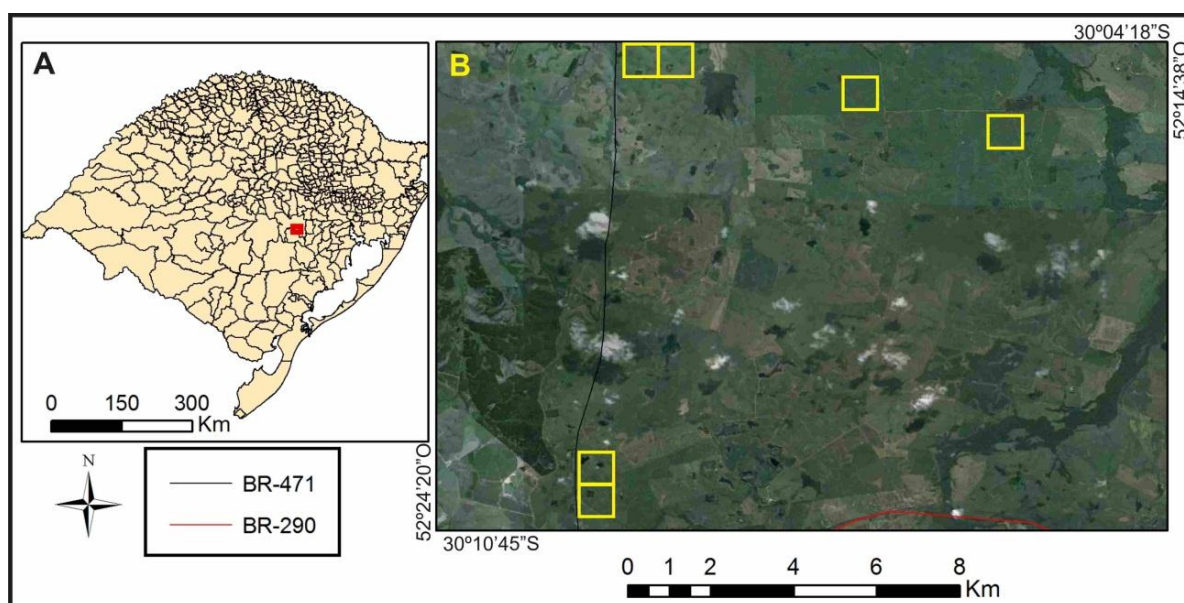


Figura 3. 2. A- Localização das áreas de vegetação campestre analisadas no Rio Grande do Sul. B- Seis áreas de vegetação campestre selecionadas para composição da série temporal em amarelo.

Nas áreas de vegetação campestre natural, as diferentes pressões de pastejo presentes produzem diferenciação fisionômica entre os poteiros (BOLDRINI,1993). Segundo Boldrini (2009), campos bem manejados possuem pouco solo descoberto, pois o estrato inferior possui o predomínio de espécies rizomatosas. Essas espécies são representadas pelo capim-forquilha (*Paspalum notatum*) e grama-tapete (*Axonopus affinis*). No estrato superior é comum é

presença do capim-caninha (*Andropogon lateralis*). Diferentemente de campos bem manejados, os campos com sobrepastoreio possuem comunidade vegetal rala e com grande presença de solo descoberto. Nestes espaços se instalam sementes das compostas, como a roseta (*Soliva pterosperma*), o alecrim-do-campo (*Vernonia nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*), *S. selloi* e *S. heterotrichius*. No estrato superior, as barbas-de-bode (*Aristida jubata* e *A. filifolia*) formam touceiras em áreas bem drenadas (BOLDRINI, 2009).

CAPÍTULO 4

MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Identificação das áreas monitoradas

Foram realizados dois trabalhos de campo, em de 16 de dezembro de 2011 e 29 de junho de 2012 para identificar áreas de vegetação campestre na Depressão Central. Oito áreas de vegetação campestre foram identificadas no município de Rio Pardo, maiores que 1000x1000 metros.

A partir disso, foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, do período de 10/09/1997 a 04/11/2011, totalizando 62 cenas (Apêndice A). Essa análise não foi possível de ser feita com as imagens do sensor Vegetation em virtude da baixa resolução espacial desse sensor. Os dados do sensor TM foram adquiridos no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

A partir de uma análise visual das imagens Landsat 5, duas áreas foram excluídas por apresentarem mudanças no uso da terra durante o período analisado. Para as outras seis áreas, não foi identificada nenhuma alteração do uso da terra, sendo selecionadas para compor a série temporal de dados de sensoriamento remoto orbital. A localização das áreas analisadas pode ser visualizada na Figura 3.3 e na Tabela 4.1. Para esse trabalho, a pressão de pastejo existente nas áreas identificadas e também a variação temporal da pressão de pastejo durante o período não foi avaliada.

Tabela 4. 1. Localização das seis áreas escolhidas para análise.

Áreas	Latitude	Longitude
Área 1	30°09'22" S	52°22'14" W
Área 2	30°09'54" S	52°22'14" W
Área 3	30°04'01" S	52°21'41" W
Área 4	30°04'01" S	52°21'09" W
Área 5	30°04'33" S	52°19'01" W
Área 6	30°05'05" S	52°16'52" W

4.2 Montagem da série temporal com dados meteorológicos

Os dados climatológicos foram coletados pela estação meteorológica que está instalada na área física da EEA-UFRGS, com observações são diárias desde 1970. Os dados de 1970 até 1995 são medições realizadas através de estação meteorológica convencional (BERGAMASCHI, 2003). A partir de 1995 foi instalada uma estação meteorológica

automática (marca Campbell), registrando dados meteorológicos de 15 em 15 minutos (BERGAMASCHI, 2003).

Planilhas com dados diários, médias e totais decendiais e mensais são produzidos pelo Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS (Figura 4.1) estando disponíveis dados de radiação solar global, temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial, umidade relativa, velocidade do vento, evaporação e evapotranspiração (método de Penman).

ELEMENTOS METEOROLÓGICOS OBSERVADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL AGRONÔMICA - UFRGS									
Dados oriundos da base física do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia									
JANEIRO - 2003									
DIA	Rs calcm ² /dia	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA mm	UR %	Eo mm	VENTO m/s	ETo mm
		MÉDIA	MAX	MIN					
1	427	24,2	30,1	19,2	0,0	83,4	5,0	1,2	3,8
2	498	23,2	27,7	19,3	0,0	78,8	6,9	2,3	4,7
3	451	23,8	28,9	19,9	1,0	82,6	4,8	2,6	4,3
4	372	25,1	30,3	21,3	0,0	83,6	6,6	1,3	3,4
5	601	24,8	32,6	18,3	0,0	73,9	4,7	0,9	5,5
6	559	24,2	32,3	18,1	0,0	72,7	7,8	1,5	5,3
7	621	22,9	31,7	15,2	0,0	72,1	7,7	1,9	5,8
8	665	23,9	32,2	15,5	0,0	73,3	7,1	1,7	6,3
9	436	25,4	34,3	19,3	2,0	74,0	5,2	1,3	4,2
10	102	21,1	23,2	18,4	14,1	95,5	5,4	1,2	0,7
11	574	22,6	30,7	16,9	1,1	78,0	6,0	0,9	5,0
12	543	23,6	29,8	17,7	0,0	74,8	6,2	1,5	5,1
13	607	24,4	30,3	18,1	0,0	72,2	8,2	1,5	5,8
14	680	25,3	32,3	18,3	0,0	74,1	8,1	1,6	6,4
15	658	25,4	32,6	18,3	0,0	74,7	9,0	2,0	6,4
16	610	24,7	33,2	18,8	0,6	75,8	7,4	1,3	5,7
17	660	25,3	33,9	17,6	0,0	74,5	6,4	1,1	6,1
18	486	24,6	30,0	20,2	0,0	78,8	8,9	2,7	4,8
19	643	25,1	32,9	18,6	22,4	72,5	15,2	2,1	6,3
20	332	23,4	29,5	20,1	0,0	83,9	4,0	1,1	2,9
21	628	24,4	30,0	18,6	0,0	76,3	6,5	1,6	5,8
22	553	25,2	32,0	19,1	16,1	74,8	8,4	1,8	5,4
23	215	22,8	26,0	18,8	7,2	85,3	2,5	1,4	1,9
24	671	20,7	26,5	16,0	0,0	69,1	9,0	1,5	6,0
25	614	21,6	29,9	12,4	0,0	77,3	6,7	1,2	5,4
26	564	24,0	30,8	18,0	0,0	78,4	5,6	1,6	5,2
27	548	25,1	31,3	20,3	0,0	78,8	7,6	1,8	5,2
28	604	24,1	31,0	17,6	0,0	74,2	3,2	1,4	5,6
29	674	23,9	30,9	16,3	0,0	71,2	8,2	1,6	6,4
30	655	25,6	35,3	16,4	0,0	64,1	6,5	0,8	6,2
31	652	27,6	36,6	19,3	0,0	67,4	9,3	0,9	6,3
DEC 1	473	23,9	30,3	18,5	17,1	79,0	61,2	1,6	44,1
DEC 2	579	24,4	31,5	18,5	24,1	75,9	79,3	1,6	54,5
DEC 3	580	24,1	30,9	17,5	23,3	74,3	73,4	1,4	59,4
MED/TOT	544	24,1	30,9	18,1	64,5	76,4	213,9	1,5	158,1

RS - Radiação solar global (actinógrafo) - (Cal/cm2.dia)
 Temperatura do ar em um abrigo meteor. - média ponderada
 UR - Umidade relativa (psicrômetro) abr. met. - média ponderada
 Eo - Evaporação do tanque "classe A"
 Vento - velocidade média a 2 m acima do solo (anemômetro totalizador)
 ETo - Evapotranspiração calculada pelo método de Penman

Figura 4. 1. Exemplo de planilha com dados para o mês de janeiro de 2003.

Para analisar o clima da Depressão Central, foram utilizados os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 1970-2011, totalizando cinco séries temporais. Para a montagem das séries temporais, os dados mensais foram organizados em uma planilha eletrônica no Microsoft Office Excel 2010.

4.3 Montagem da série temporal com dados sensoriamento remoto orbital

Foram utilizados dados do satélite SPOT4 e SPOT5, sendo utilizado os instrumentos Vegetation 1 e 2, respectivamente. Esses dados são contínuos desde abril de 1998, possuindo resolução espacial de 1000 metros e largura da faixa imageada de 2250 km.

Foram utilizadas as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e também dados de NDVI, totalizando cinco séries temporais. O produto que foi utilizado neste trabalho é o VGT-S 10, na qual consiste em uma síntese de 10 dias baseado no critério de máximo valor. Os dados do sensor Vegetation foram adquiridos no endereço eletrônico <http://free.vgt.vito.be/>.

Os dados adquiridos do sensor Vegetation são disponibilizados em formato RAR (Roshal ARchive) e foram descompactados utilizando o aplicativo VGTEExtract versão 1.4.1 (JACOBS et al., 2010). Esse aplicativo foi utilizado porque permite descompactar um conjunto de imagens de forma automática, podendo ser modificado o formato do arquivo e delimitada a área de interesse do usuário. As imagens foram convertidas do formato HDF para o formato nativo do aplicativo Envi e a área de interesse delimitada foram os limites territoriais do Brasil.

Utilizando o aplicativo Envi, versão 4.5, a função *Region Of Interest* foi utilizada, pois permite delimitar áreas na imagem para a extração dos valores (ENVI, 2004). As seis áreas de campo nativo foram delimitadas como ponto, onde foi realizada a extração dos dados de reflectância das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e dos valores de NDVI para o período de 04/1998 até 12/2011. Esses dados foram exportados para uma planilha eletrônica no Microsoft Office Excel 2010.

Como algumas datas não estavam disponíveis para compor a série temporal quando os dados foram adquiridos (B2_20110501; B3_20090711; MIR_20040201; MIR_20100911; NVDI_20081121), foi realizada a média do valor anterior e posterior para esses decêndios faltantes.

Como os valores extraídos não possuem amplitude dos valores de reflectância e NDVI, a conversão dos valores foi realizada conforme a equação indicada por Vegetation (2012):

$$\rho = 0,0005 \times \text{valor extraído} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para o NDVI, foi utilizada a equação (VEGETATION, 2012):

$$NDVI = (0,004 \times \text{valor extraído}) - 0,1 \quad (\text{Eq. 3})$$

Posteriormente, foi realizado o cálculo de média dos valores de reflectância das bandas e dos valores de NDVI nas seis áreas de vegetação campestre, compondo as séries temporais para serem avaliadas. As etapas da construção dessas séries temporais podem ser visualizadas na Figura 4.2.

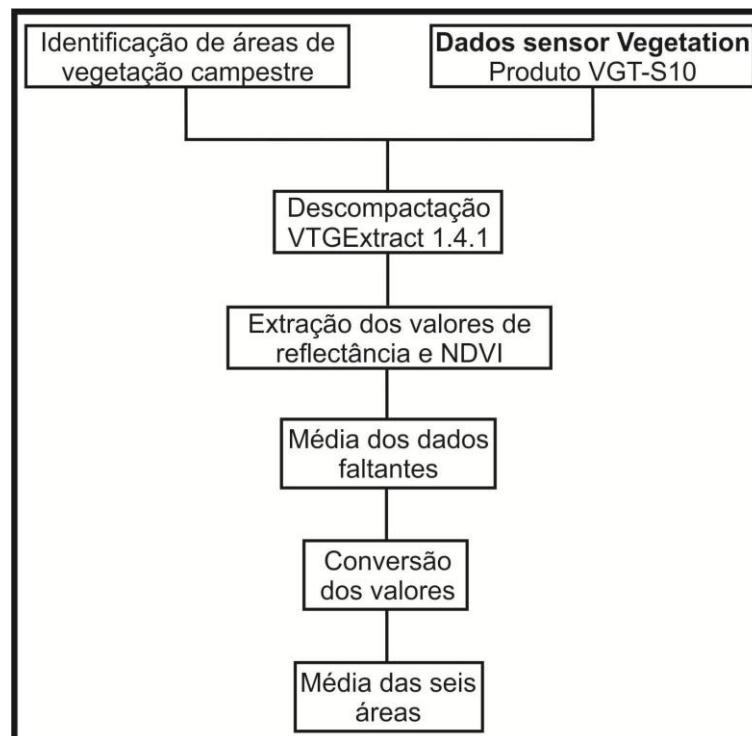


Figura 4. 2. Etapas da composição das séries temporais.

4.4 Análises estatísticas

Para as séries temporais dos dados meteorológicos, foram realizadas as estatísticas descritivas e a análise de tendências dos dados mensais de 01/1970 até 12/2011. Nas séries temporais dos dados de sensoriamento remoto orbital, também foram realizadas as estatísticas descritivas e a análise de tendência dos dados decendiais de 04/1998 até 12/2011.

Para realizar a análise de tendência dos dois conjuntos de dados, foi realizado um ajuste de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. A variável independente selecionada foi o tempo (meses ou decêndios) e a variável dependente foi a série temporal analisada.

A significância da tendência linear foi testada através da ANOVA (Análise de Variância) para indicar se o modelo linear gerado possui grau de previsão significativa (FIELD, 2009). A significância utilizada foi de $\alpha=5\%$ para as séries temporais com dados meteorológicos e $\alpha=10\%$ para as séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital. Os 10% de significância foram utilizados em virtude da grande heterogeneidade das espécies nas áreas do bioma Pampa baseados no trabalho de Fonseca et al. (2007).

Para os modelos que foram significativos pela ANOVA, o teste t de Student foi utilizado para testar se a hipótese do valor do coeficiente angular é zero ou diferente de zero (FIELD, 2009). Os mesmos valores de α realizados na ANOVA foram utilizados no teste t. As análises estatísticas desse trabalho foram realizadas no aplicativo SPSS 18.0.

Considerando que a vegetação no bioma Pampa interrompe o crescimento de espécies C4 no final do outono e no inverno (FONSECA; SILVEIRA; SALOMONI, 2006; MACHADO, 1999) associada as variações da temperatura do ar e ocorrência de geadas, também foram analisadas as estatísticas descritivas e análises de tendências para as estações quente (setembro – abril) e fria (maio a agosto) para os dados meteorológicos. Para os dados de sensoriamento remoto orbital, as análises de tendências para a estação quente e estação fria também foram realizadas.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do Clima

5.1.1 Estatísticas Descritivas

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam as estatísticas descritivas dos elementos do clima para todo o período, estação quente e estação fria, respectivamente. Na Tabela 5.1, a temperatura média mensal média do ar possui média similar a normal climatológica de 18,8°C para o período 1961-1990 encontrada por Viana; Matzenauer e Aquino (2006). Comparando as Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, observou-se que a maior amplitude registrada para as temperaturas do ar ocorreu na temperatura mínima nos três períodos avaliados. A estação fria possui os menores valores do desvio padrão das temperaturas do ar para os três períodos, mostrando menor variabilidade.

Tabela 5. 1. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Temperatura Mínima (°C)	13,87	4,19	3,78 (07/2000)	22,71 (01/1988)	18,93
Temperatura Média (°C)	18,78	4,18	9,78 (07/2000)	26,18 (02/1970)	16,4
Temperatura Máxima (°C)	24,53	4,29	16,03 (07/2000)	32,11 (01/2005)	16,08
Precipitação Pluvial Acumulada (mm)	122,6	70,36	1,4 (01/1982)	406,07 (11/2009)	404,67
Evapotranspiração Acumulada (mm)	106,19	46,62	27,99 (07/2011)	276,87 (01/1982)	248,88

Tabela 5. 2. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Temperatura Mínima (°C)	16,05	3,010	8,63 (09/2003)	22,71 (01/1988)	14,08
Temperatura Média (°C)	21,06	2,889	13,94 (10/1980)	26,18 (02/1970)	12,24
Temperatura Máxima (°C)	26,86	3,049	18,38 (10/1993)	32,11 (01/2005)	12,73
Precipitação Pluvial Acumulada (mm)	114,74	66,74	1,4 (01/1982)	406,07 (11/2009)	404,67
Evapotranspiração Acumulada (mm)	129,68	38,64	54,80 (04/1990)	276,87 (01/1982)	222,07

Tabela 5. 3. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação fria.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Temperatura Mínima (°C)	9,48	2,42	3,78 (07/2000)	18,30 (05/1993)	14,52
Temperatura Média (°C)	14,22	2,14	9,78 (07/2000)	22,88 (05/1993)	13,1
Temperatura Máxima (°C)	19,90	2,08	16,03 (07/2000)	28,4 (05/1993)	12,39
Precipitação Pluvial Acumulada (mm)	138,32	74,86	8,04 (05/1996)	365,10 (05/1984)	357,06
Evapotranspiração Acumulada (mm)	59,07	14,42	27,99 (07/2011)	107,97 (08/1981)	79,98

A precipitação pluvial acumulada apresentou maior média e desvio padrão na estação fria do que na estação quente. Comparando a evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente e fria, a estação quente apresentou maior, desvio padrão e amplitude do que a estação fria.

5.1.2 Análise de tendências

A Figura 5.1 e Tabela 5.4 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima. Para a temperatura média mensal mínima do ar, o modelo linear gerado foi significativo a 95% de probabilidade, com coeficiente de inclinação de -0,0029. A tendência de diminuição dessa área é diferente das tendências encontradas em outros trabalhos que analisaram estações no Rio Grande do Sul, que apontam tendência de aumento da temperatura mínima do ar (CORDEIRO, 2010; BERLATO; ALTHAUS, 2010; SANSIGOLO; KAYANO, 2010; COSTA; MARQUES, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008; SILVEIRA; GAN, 2006). Uma das prováveis causas para essa estação não ter registrado aumento é a localização da área, que não apresentou mudanças no uso e cobertura do solo no seu entorno.

Tabela 5. 4. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos.

	Equação	Nível de significância
Temp. Mínima	$y = -0,0029x + 14,597$	0,022
Temp. Média	$y = -0,0012x + 19,072$	0,347
Temp. Máxima	$y = +0,0006x + 24,379$	0,678
Prec. Pluvial	$y = +0,0634x + 106,34$	0,003
Evapotranspiração	$y = -0,0739x + 124,93$	0,0001

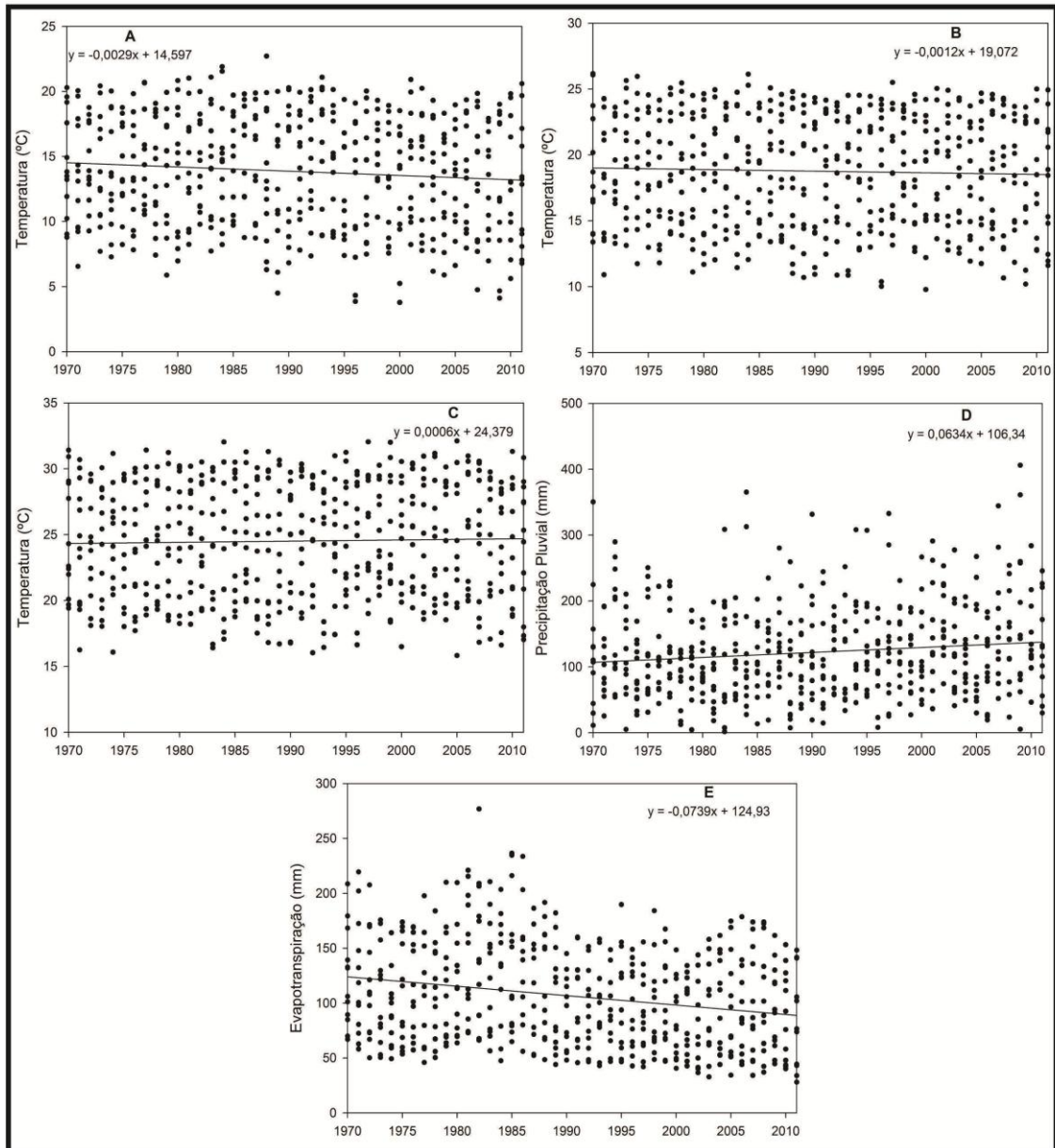


Figura 5. 1. Tendência da série temporal para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

Para a temperatura média mensal do ar, o modelo linear não foi significativo a 95% de probabilidade pela ANOVA e teste t. Assim, a temperatura média mostrou estabilidade para esse período, sendo um resultado diferente ao resultado apresentado por Cordeiro (2010), que aponta tendência de aumento da temperatura média para o Rio Grande do Sul.

A tendência da série temporal da temperatura média mensal máxima do ar não foi significativa a 95% de probabilidade. A estabilidade dessa série temporal difere do resultado de Cordeiro (2010) para o Rio Grande do Sul, que mostra uma tendência de aumento da temperatura máxima para 1950-2009. O resultado desse trabalho também difere do

encontrado por Marengo e Camargo (2008), que mostram tendência de aumento da temperatura máxima do ar para a região Sul do Brasil.

Para a precipitação pluvial acumulada, observou-se tendência linear positiva, com o coeficiente angular sendo +0,0634. O modelo mostrou significância a 95% de probabilidade, indicando haver um incremento da precipitação pluvial mensal acumulada durante 1970-2011. O resultado para essa estação meteorológica é semelhante aos resultados encontrados para o Rio Grande do Sul, indicando aumento de precipitação pluvial no estado (CORDEIRO, 2010; BARROS; DOYLE; CAMILLONI, 2008; BERLATO et al., 2007; HAYLOCK et al., 2006).

A tendência linear dos dados da evapotranspiração mensal acumulada foi significativa a 95% de probabilidade, com o coeficiente angular sendo de -0,0739. Tendência negativa para a evapotranspiração também foi encontrada para o Rio Grande do Sul por Cordeiro (2010), que também aponta tendência negativa dos valores de radiação solar global, sendo um dos elementos considerados para o cálculo da evapotranspiração.

5.1.3 Estação Quente

5.1.3.2 Análise da Tendência

A Tabela 5.5 e Figura 5.2 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima para a estação quente. O modelo linear gerado não foi significativo para as séries temporais de temperaturas médias mensais mínima, média e máxima do ar, apresentando estabilidade para a estação quente. Para a temperatura mínima e média do ar, resultados diferentes foram apresentados por Cordeiro (2010) no Rio Grande do Sul, na qual apontou para tendência de aumento nas estações da primavera, verão e outono. Para a temperatura máxima do ar, as estações de primavera e outono apresentaram tendência de aumento e para o verão foi registrada estabilidade.

Tabela 5. 5. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação quente.

	Equação	Nível de significância
Temp. Mínima	$y = -0,0031x + 16,753$	0,066
Temp. Média	$y = -0,0013x + 21,284$	0,42
Temp. Máxima	$y = +0,0011x + 26,671$	0,516
Prec. Pluvial	$y = +0,135x + 91,99$	0,0001
Evapotranspiração	$y = -0,1255x + 150,92$	0,0001

Para a precipitação pluvial mensal acumulada, foi encontrada tendência de aumento, sendo significativa a 95% de probabilidade. Para o Rio Grande do Sul, Cordeiro (2010) verificou tendência de aumento na primavera e outono, tendo a estação verão estabilidade. Tendência negativa foi encontrada para a evapotranspiração mensal acumulada, com o coeficiente angular de $-0,1255$. Resultado similar para o Rio Grande do Sul também foi verificado por Cordeiro (2010), na qual apontou para tendência de redução da evapotranspiração no período do verão e primavera. Dessa forma, para a estação quente existe maior ocorrência da precipitação pluvial e diminuição da evapotranspiração, enquanto que as temperaturas do ar possuem estabilidade.

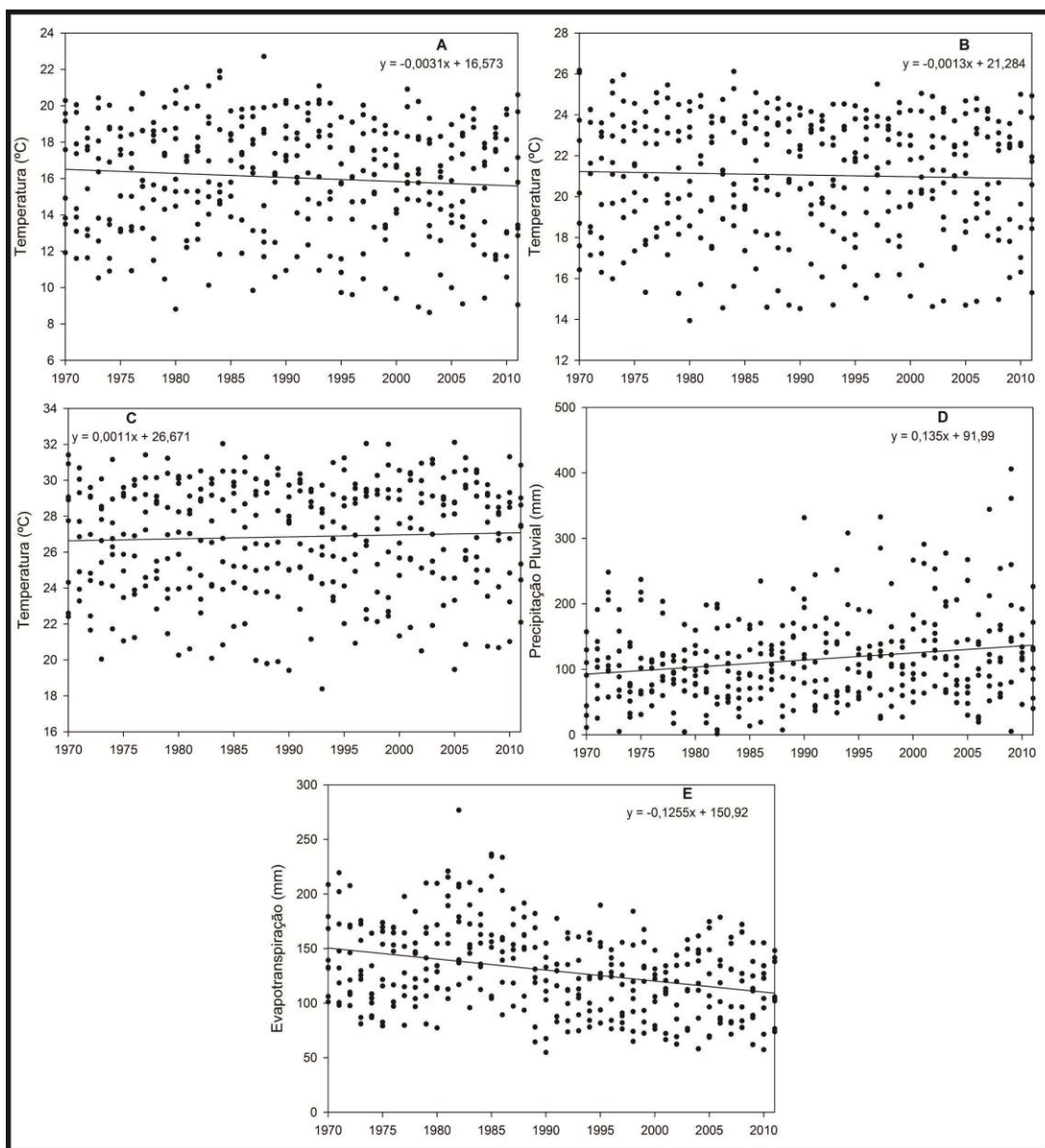


Figura 5. 2. Tendência da série temporal para a estação quente para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

5.1.4 Estação Fria

5.1.4.1 Análise da Tendência

A Tabela 5.6 e Figura 5.3 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima para a estação fria. Para a temperatura média mensal mínima do ar, tendência negativa foi encontrada, com coeficiente angular de -0,0124. Resultado diferente foi encontrado por Cordeiro (2010), que aponta para a estabilidade da temperatura mínima do ar no inverno para todo o Rio Grande do Sul. Para as temperaturas médias mensais média e máxima do ar, o modelo não foi significativo a 95% de probabilidade, com essas séries apresentando estabilidade. Estabilidade semelhante foi documentada por Cordeiro (2010) para a temperatura média e máxima do ar no Rio Grande do Sul na estação do inverno.

Tabela 5. 6. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação fria.

	Equação	Nível de significância
Temp. Mínima	$y = -0,0124x + 10,527$	0,001
Temp. Média	$y = -0,004x + 14,551$	0,245
Temp. Máxima	$y = +0,0017x + 19,75$	0,6
Prec. Pluvial	$y = +0,0459x + 134,44$	0,7
Evapotranspiração	$y = -0,166x + 73,142$	0,0001

Para a precipitação pluvial mensal acumulada, o modelo não foi significativo pelos testes estatísticos, sendo resultado semelhante ao verificado por Cordeiro (2010) para o inverno. Esse resultado difere da tendência de aumento para todo o conjunto de dados e estação quente. Como essa série apresenta estabilidade, a tendência de aumento da precipitação pluvial registrada para todo o conjunto de dados é função da tendência de aumento da estação quente.

Da mesma forma que para a estação quente e para todo o conjunto de dados, tendência negativa foi verificada para a evapotranspiração mensal acumulada, com coeficiente angular de -0,166. Tendência negativa da evapotranspiração para o inverno também foi verificada por Cordeiro (2010) no Rio Grande do Sul. Dessa forma, para a estação fria foi registrada tendência negativa da temperatura mínima do ar e da evapotranspiração. Para as séries de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar e precipitação pluvial foi verificada estabilidade.

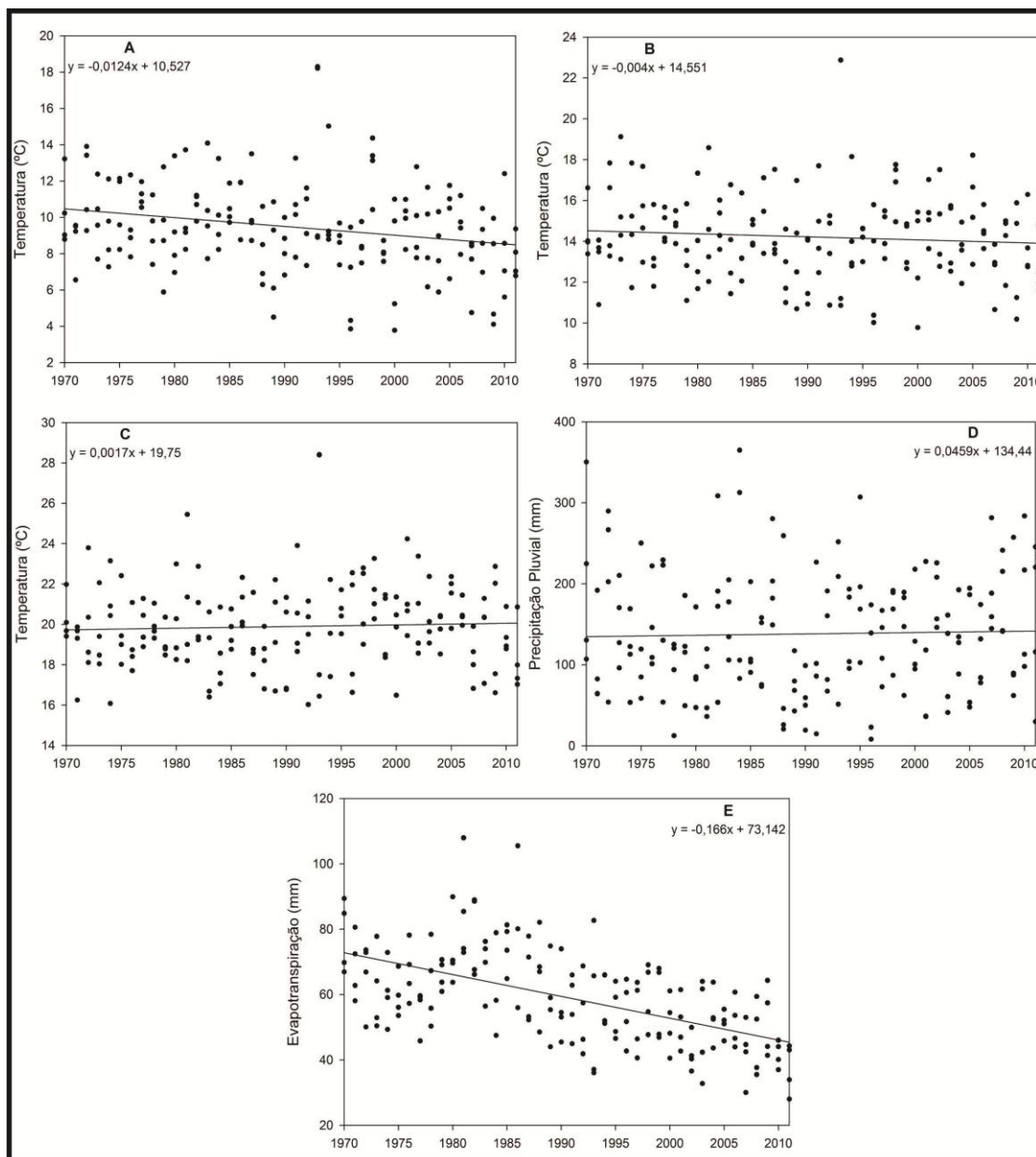


Figura 5. 3. Tendência da série temporal para a estação fria para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

5.2 Análise de áreas de vegetação campestre com dados do sensor Vegetation

5.2.1 Estatísticas Descritivas

A Tabela 5.7 apresenta a média, desvio padrão, mínimo, máximo e amplitude dos dados decendiais do sensor Vegetation. A média da reflectância da banda do azul é de 0,024, sendo a menor média das bandas. Os valores encontrados pelo produto VGT-S10 do sensor Vegetation possuem maior amplitude do que os valores apresentados no trabalho de Trentim (2011), que utilizou o sensor MODIS em áreas de campo nativo na Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã, com os valores de reflectância variando de 0,02 a 0,05.

Tabela 5. 7. Estatísticas descritivas dos dados decendiais do sensor Vegetation produto VGT-S10.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Amplitude
Azul (B0)	0,024	0,010	0,002	0,063	0,061
Vermelho (B2)	0,056	0,012	0,035	0,109	0,074
Infravermelho Próximo (B3)	0,257	0,036	0,189	0,372	0,183
Infravermelho Médio (MIR)	0,227	0,026	0,184	0,340	0,156
NDVI	0,635	0,071	0,415	0,792	0,377

Para a banda do vermelho, os valores de reflectância tiveram média de 0,056. Os resultados encontrados por Trentim (2011) com o sensor MODIS mostram valores de reflectância similares, porém diferem nos valores máximos encontrados. Em alguns anos, os valores de reflectância do sensor MODIS chegam a 0,12. Para o produto VGT-S10, observa-se que o valor de reflectância máximo foi de 0,109.

Para a banda do infravermelho próximo, os valores de reflectância tiveram média de 0,257. Uma maior reflectância no infravermelho próximo do que no visível é esperada pela grande espalhamento interno da radiação que ocorre na folha pela presença do mesófilo (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). Comparando com os dados MODIS do trabalho de Trentin (2011), observa-se que os valores de reflectância são semelhantes, mas possuem variação nos valores mínimos encontrados. Para o sensor MODIS, o intervalo de variação não é inferior a 0,22, enquanto que para o produto VGT-S10 possui valor mínimo de 0,189.

A média da reflectância da banda do infravermelho médio é de 0,227. Comparando com o trabalho de Trentin (2011), observa-se que os valores do sensor MODIS são inferiores, estando entre 0,09 a 0,18. A razão para essa ocorrência é a diferença de intervalo espectral das bandas do infravermelho médio entre esses sensores. Para o sensor Vegetation, a banda do infravermelho médio se localiza entre 1.580 - 1.750 μ m, enquanto que para o sensor MODIS o intervalo da banda do infravermelho médio é de 2.105-2.155 μ m, onde os valores de reflectância esperados para a vegetação são menores.

Para o NDVI, a média para o período analisado é de 0,635. O NDVI apresentou o maior desvio padrão dos dados do produto VGT-S10, com valor de 0,071. A amplitude dos valores é semelhante aos encontrados com o sensor MODIS por Bisso et al. (2009) e Wagner

et al. (2011) na Depressão Central. Comparando esses valores com o sensor AVHRR, Jacobsen; Fontana e Shimabukuro (2003) apresentam valores de NDVI menores, variando entre 0,45 e 0,6. Uma possível razão para essa diferença é porque esses autores apresentam apenas as médias para os anos de 1981 a 2000 para grandes áreas de campo nativo. Dessa forma, a média de várias áreas de campo nativo pode ter suavizado a amplitude dos valores de NDVI.

5.2.1 Análise de Tendência

A Tabela 5.8 e a Figura 5.4 apresentam as tendências das séries temporais dos dados de sensoriamento remoto orbital nas áreas de vegetação campestre natural. Tendência de aumento foi encontrada na série temporal da banda do azul com significância estatística a 90%, tendo o coeficiente angular valor de 0,00001. Na banda do vermelho, o modelo também apresentou significância estatística, com o valor do coeficiente angular sendo de -0,00001.

Tabela 5. 8. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10.

	Equação	Nível de significância
Azul	$y = 0,000001x + 0,022$	0,009
Vermelho	$y = -0,00001x + 0,058$	0,079
Infravermelho Próximo	$y = -0,0000055x + 0,27$	0,624
Infravermelho Médio	$y = -0,000025x + 0,23$	0,002
NDVI	$y = 0,000022x + 0,63$	0,334

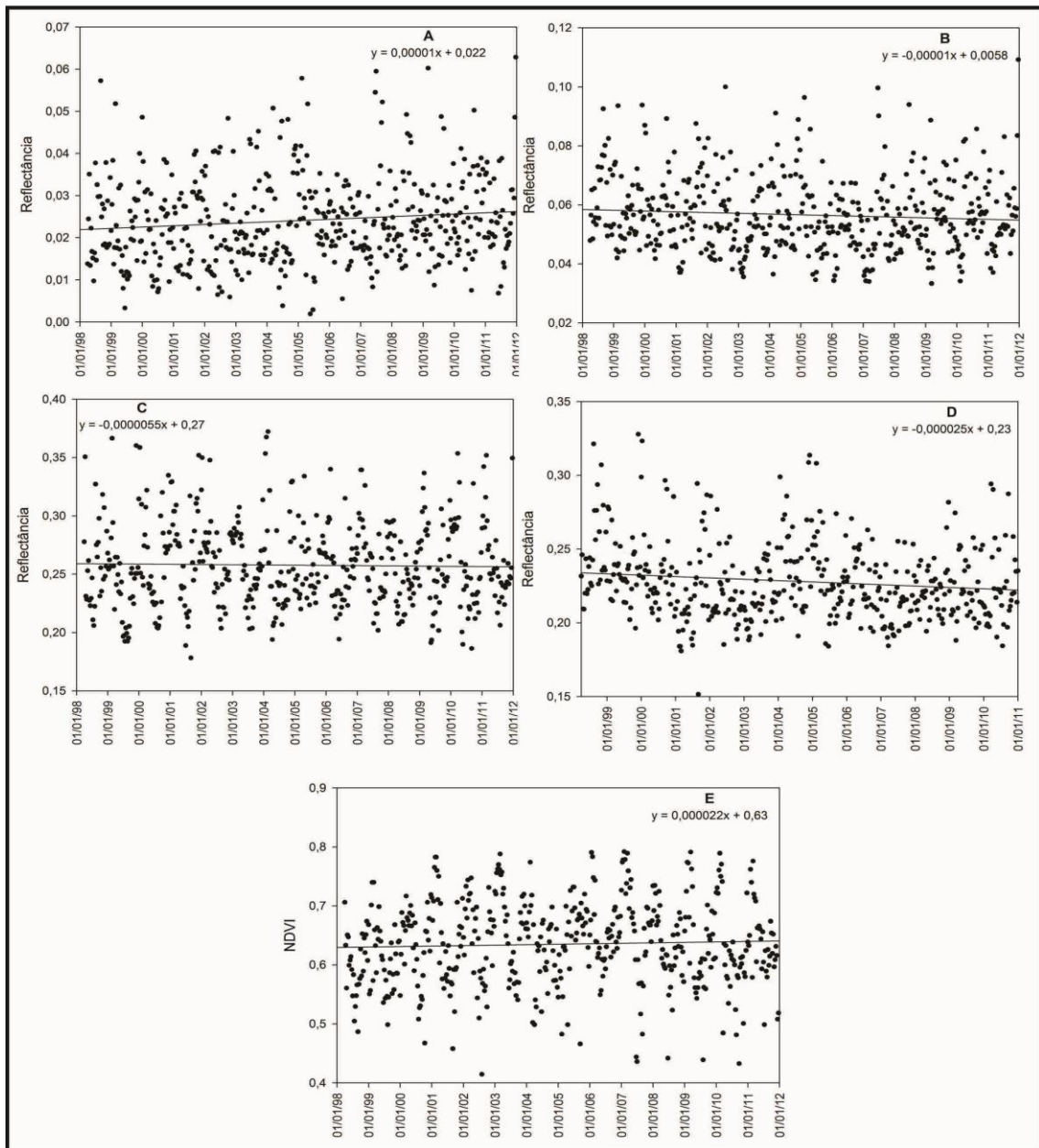


Figura 5. 4. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.

A tendência da banda do infravermelho próximo não apresentou significância estatística a 90% de confiança, com essa série mostrando estabilidade para o período analisado. Como a banda do infravermelho próximo possui relação direta da reflectância com a biomassa de um dossel (JENSEN, 2009), observa-se que não houve mudança significativa durante o período de 04/1998 a 12/2011.

Na série temporal da banda do infravermelho médio, o modelo apresentou tendência negativa. O valor do coeficiente angular foi de -0,000025, sendo significativo a 90% de

confiança pelo teste t. Como a reflectância nessa banda diminui com a quantidade água presente no dossel, a tendência negativa apresentada mostra maior a turgidez das folhas nas áreas avaliadas.

A série temporal no NDVI não apresentou tendência significativa a 90% de probabilidade. Como o NDVI está correlacionado com as propriedades biofísicas da cobertura vegetal, IAF e biomassa (JIANG et al., 2006), observa-se que não houve mudança significativa desses parâmetros durante o período de 04/1998 a 12/2011. A tendência do NDVI nesse trabalho é diferente da verificada por Wagner et al. (2011) com o sensor MODIS para o período de 2000 a 2009 na Depressão Central, que apresenta uma tendência negativa de -0,000011. Uma possível razão para essa diferença seria pelas distintas resoluções de cada sensor ou pelas diferentes áreas de campo nativo analisadas em cada trabalho, que podem ter apresentado diferente crescimento em função das condições meteorológicas. Outra possível causa seria a diferença dos anos analisados, enquanto o trabalho de Wagner et al. (2011) analisou o período 2000 a 2009, este trabalho analisou o período de abril de 1998 até dezembro de 2011.

O resultado do NDVI também é oposto aos trabalhos que relataram aumento de biomassa com o uso desse índice em grandes escalas com a série de dados do NDVI do sensor AVHRR (NEMANI et al., 2006; HUETE et al., 2006; ZHOU et al., 2003; MYNENI et al., 1997). Em um trabalho mais recente, Zhao e Running (2010) apontam para diminuição global de biomassa durante o período de 2000 até 2009 com a série de dados do sensor MODIS, sendo a principal causa da redução de biomassa a maior ocorrência de eventos de seca em grandes escalas. Assim, os resultados encontrados para o NDVI nesse trabalho diferem dos resultados encontrados em escala global.

5.2.2 Análise de Tendência da Estação Quente

A Tabela 5.9 e Figura 5.5 apresentam as tendências da série da reflectância das bandas e dos valores de NDVI para a estação quente. A tendência para a banda do azul não foi significativa, apresentando estabilidade e sendo diferente quando comparado para todo o conjunto de dados. Para a banda do vermelho, o coeficiente angular foi significativo ($p=0,014$), com essa série apresentando tendência de diminuição dos valores de reflectância. Tendência negativa também foi verificada para a banda do vermelho quando analisado todo o conjunto de dados.

Tabela 5. 9. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação quente.

	Equação	Nível de significância
Azul	$y = 0,0000035x + 0,025$	0,53
Vermelho	$y = -0,000019x + 0,059$	0,014
Infravermelho Próximo	$y = -0,0000225x + 0,27$	0,274
Infravermelho Médio	$y = -0,0000437x + 0,23$	0,009
NDVI	$y = 0,0000529x + 0,645$	0,2

Para a banda do infravermelho próximo e para o NDVI, o modelo linear gerado não foi significativo. A estabilidade dessas séries também foi verificada para a análise de todo o conjunto de dados. A banda do infravermelho médio apresentou tendência de diminuição para a estação quente, sendo significativa a 90% de confiança. Esse resultado aponta para maior conteúdo de água nas áreas de campo nativo avaliadas.

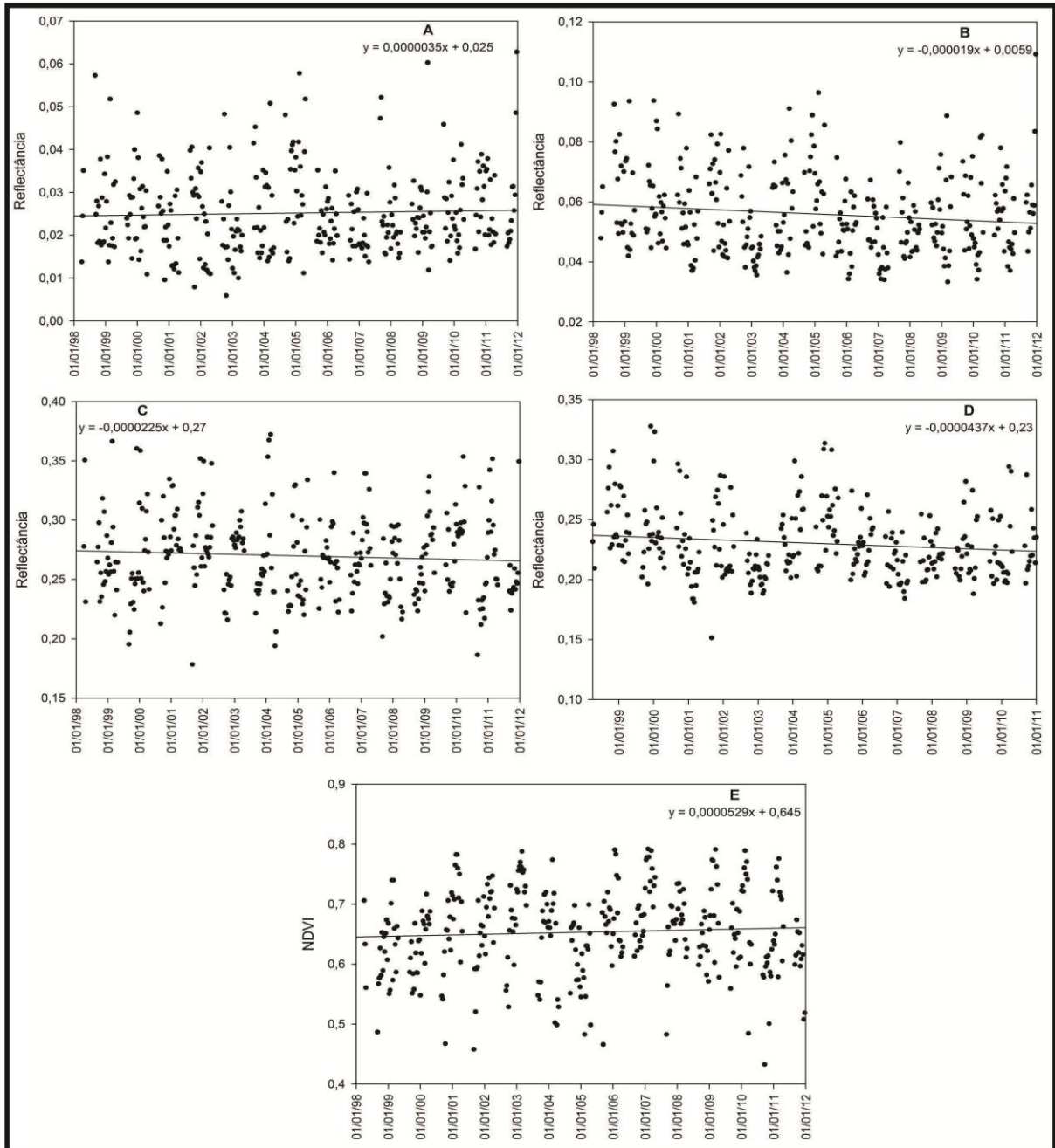


Figura 5. 5. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.

5.2.3 Análise de Tendência da Estação Fria

As tendências das séries temporais da reflectância das bandas e dos valores de NDVI para a estação fria são apresentadas na Tabela 5.10 e Figura 5.6. Diferentemente da estação quente, a banda do azul apresentou tendência de aumento, com o coeficiente angular de 0,0000057 sendo estatisticamente significativo. Para a banda do vermelho, o coeficiente

angular não foi significativo, diferentemente da estação quente e para todo o conjunto de dados, que apresentaram tendência negativa.

Tabela 5. 10. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação fria.

	Equação	Nível de significância
Azul	$y = 0,0000057x + 0,017$	0,0001
Vermelho	$y = -0,000013x + 0,057$	0,443
Infravermelho Próximo	$y = 0,000023x + 0,23$	0,59
Infravermelho Médio	$y = -0,000059x + 0,23$	0,065
NDVI	$y = -0,000037x + 0,6$	0,69

Exatamente como para a estação quente e para todo o conjunto de dados, a banda do infravermelho próximo e para o NDVI apresentaram estabilidade, pois o modelo não foi significativo pela ANOVA e pelo teste t. A banda do infravermelho médio tendência de diminuição a 90% de probabilidade, como foi apresentado para a estação quente e para todo o conjunto de dados. Dessa forma, os resultados desse trabalho mostram maior presença de água no dossel independente da estação analisada.

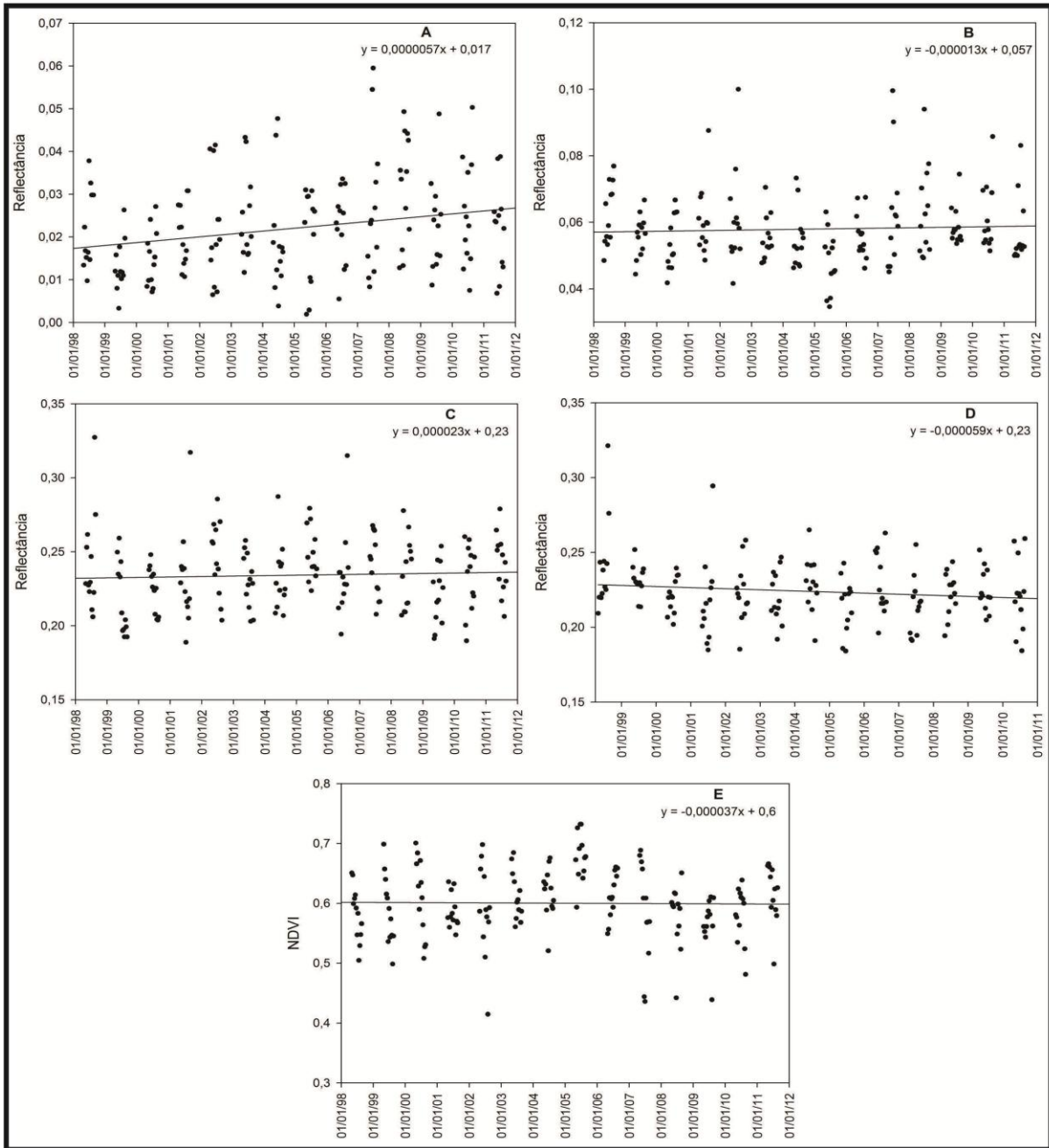


Figura 5. 6. Tendência da série temporal da estação fria para os dados espectrais: A – Banda do azul. B – Banda do vermelho. C - Banda do infravermelho próximo. D – Banda do infravermelho médio. E – NDVI.

5.3 Comparação das tendências do clima e do sensor Vegetation

Das mudanças observadas nas temperaturas do ar, os resultados apontam tendência de negativa da temperatura mínima do ar e estabilidade para as temperaturas média e máxima do ar. Os resultados das temperaturas do ar não alteraram significativamente o acúmulo de biomassa das áreas analisadas, pois as séries temporais da banda do infravermelho próximo e do NDVI apresentaram estabilidade.

Os resultados também registram tendência de aumento da precipitação pluvial e redução da evapotranspiração, promovendo maior presença de água no solo. A tendência negativa de reflectância apresentada para a banda do infravermelho médio para todo o conjunto de dados, estação quente e estação fria é um resultado consistente com a maior presença de água nos dosséis das áreas analisadas.

Na faixa do visível, as bandas do azul e vermelho tiveram tendências opostas, sendo a reflectância desta faixa do espectro eletromagnético sensível ao estresse foliar da planta (CARTER, 1993). A banda do vermelho também apresentou tendência de diminuição nos valores de reflectância para todo o conjunto de dados e estação quente. Esse resultado também é consistente com a maior presença de água no solo encontrada nas tendências do clima, levando os dosséis das áreas analisadas a menores períodos desidratação das folhas.

A banda do azul apresentou tendência de aumento nos valores de reflectância para todo o conjunto de dados e para a estação fria, tendo resultado oposto da banda do vermelho. Apesar do produto VGT-S10 possuir correção atmosférica, os resultados dessa banda podem ter influenciados pelos efeitos da atmosfera, em virtude que o efeito do espalhamento atmosférico da banda do azul é maior do que nas outras bandas (LIANG et al., 2002).

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças do clima observadas foram de aumento da precipitação pluvial acumulada e diminuição da evapotranspiração acumulada. A temperatura mínima do ar mostrou tendência de diminuição para todo o conjunto de dados e para a estação fria, enquanto a temperatura média do ar e a temperatura máxima do ar apresentaram estabilidade.

As mudanças de reflectância nas áreas de vegetação campestre na Depressão Central apontam para tendência de diminuição de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho médio, indicando maior quantidade de água no dossel e menor ocorrência de estresse foliar. Não foi observada existência de tendência das séries de reflectância na banda do infravermelho próximo e nos valores de NDVI, sendo essas séries temporais as que respondem de forma direta ao acúmulo de biomassa.

Comparando os dois conjuntos de dados, observa-se que a tendência negativa dos valores de reflectância da banda do vermelho e do infravermelho médio, que indicam maior presença de água nas áreas avaliadas. Esses resultados são consistentes com a tendência de aumento da precipitação pluvial e com a tendência da diminuição da evapotranspiração acumulada.

A utilização de bandas espectrais é uma proposta alternativa da maioria dos trabalhos encontrados na literatura que utilizam apenas o NDVI para monitorar a vegetação. Essa proposta foi satisfatória tendo em vista que as tendências significativas encontradas foram nas bandas espectrais, contribuindo com diferentes resultados sobre as condições da vegetação campestre natural na Depressão Central do RS.

Referências Bibliográficas:

AGUADO, E; BURT, J. E. **Understanding Weather & Climate**. 4. ed. Upper Saddle River: Pearson/prentice Hall, 2007. 562 p.

ALLEN, V. G. et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 1, p.2-28, 2011.

ASHRAF, M. A.; MAAH, M. J.; YUSOFF, I. Introduction to Remote Sensing of Biomass. In: ATAZADEH, I. **Introduction to Remote Sensing of Biomass**. Rijeka: Intech, 2011. Cap. 8, p. 129-170.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2012. **Características do território**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 27 fev. 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 332 p.

BARROS, V. A.; DOYLE, M. E.; CAMILLONI, I. A. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. **Theoretical Applied Climatology**, v. 93, p.19-33, 2008.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico nas culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. Cap. 2, p. 25-32.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. **Clima da Estação Experimental da UFRGS** (e Região de Abrangência). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 78p.

BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 16, n.1 , p.7-16, 2010.

BERLATO, M. A.; MARTINS, E. J.; CORDEIRO, A. P. A.; ODERICH, E. H. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do Estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracaju. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2007.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**. Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2003.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. Cap. 1, p. 11-24.

BETTOLLI, M. L.; et al. Pastura natural de salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 2010. p.248 - 259.

BETTS, R. A.; et al. Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. **Nature**, v. 387, n.1, p.796-799, 1997.

BISSO, A. B. A.; et al. Análise da variação da resposta espectral da vegetação do bioma pampa, frente às variações da fenologia. **Anais...** XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Belo Horizonte, 2009. CD-ROM.

BRASIL, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Aspectos Gerais do Clima do Estado**. Porto Alegre: INCRA, 1972.

BROWN, M. E. et al. Evaluation of the Consistency of Long-Term NDVI Time Series Derived From AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ Sensors. **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing**, v. 44, n. 7, p.1787-1793, 2006.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

BOLDRINI, I.I. **Dinâmica da vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de MS e tipos de solo, Depressão Central, RS**. 1993. 262 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

CARTER. G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v. 90, n.3, p239-243, 1993.

CAVALCANTI, I. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 464 p.

CHAPIN III, F. S. et al. Plant response to multiple environmental factors. **BioScience**, v.37, n.1, p.49-57, 1987.

CORDEIRO, A. P.. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do Balanço Hídrico Seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 296 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COSTA, B. S. C.; KUPLICH T. M. Análise da dinâmica campestre em série temporal de índice de vegetação e dados meteorológicos. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Curitiba, 2011. p. 5638-5645.

COSTA, C.; MARQUES, J. R. Tendência sazonal das temperaturas mínimas e máximas no Rio Grande do Sul. *In*: Congresso brasileiro de Meteorologia, 16., 2010, Belém. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

ENVI. **ENVI User's Guide**. 2004. 1150 p.

EPA. **Climate Change**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/basicinfo.html>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

FIELD, A. **Descobrendo a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FIELD, C. B., et al. Stomatal responses to increase CO₂: implications from the plant to global scale. **Plant, Cell And Environment**, v. 18, p.1214-1225, 1995.

FONSECA, E. L.; FORMAGGIO, A.R.; PONZONI, F. J. Estimativa da disponibilidade de forragem do bioma Campos Sulinos a partir de dados radiométricos orbitais: parametrização do submodelo espectral. **Ciência Rural**, v. 37, 2007. p. 1668-1674.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. E.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p.656-659, 2006.

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p.135-145, 2002.

FONTANA, D. C.; A BERLATO, M. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.127-132, 1997.

GOMES, K.E. **Dinâmica e produtividade de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul após seis anos da aplicação de adubos, diferimentos e níveis de oferta de MS**. 1996. 223 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal Of Climate**, v. 329, p.1490-1512, 15 abr. 2006.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforest green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 06405, p.1-4, 2006.

HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.195–213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em: 27 fev. 2012.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. New York: Cambridge University Press, 996 p. 2007.

JACOBS, T. et al. **VGTEExtract: Software User Guide**. 2010. 52 p.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p.129-140, 2004.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p.361-374, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José Dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JIANG, Y; CARROW, R. N. Assessment of Narrow-band Canopy Spectral Reflectance and Turfgrass Performance under Drought Stress. **HortScience**, v. 40, n.1, p242-245, 2005.

JIANG, Z. et al. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p.366–378, 2006.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p.171-182, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p

LIANG, S. et al. Atmospheric Correction of Landsat ETM+ Land Surface Imagery: II. Validation and Applications. **Ieee Transactions On Geoscience And Remote Sensing**, v. 40, p.2736-2746, 2002.

LOBELL, D. B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. **Science**, v. 333, n. , p.616-620, 29 jul. 2011.

LU, D.; BATTISTELLA, M.; MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, v. 71, n. 8 , p.967-974, 2005.

MACHADO, L.A.Z. **Manejo da pastagem nativa**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 158 p.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C.. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal Of Climatology**, Porto Alegre, v. 28, p.893-904, 2008.

MATZENAUER, R. et al. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracaju: Universidade Federal do Sergipe, 2007.

MARASCHIN, G. E. Manejo do campo nativo, produtividade animal, dinâmica da vegetação e adubação de pastagens nativas do sul do Brasil. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções Básicas dos Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. 2. ed. London: Edward Arnold, 1990. 291 p.

MOREIRA, A.; KUPLICH T. M.; FONSECA, E. L. A variação fenológica de tipologias campestres do bioma Pampa pela abordagem ondaleta. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Curitiba, 2011. p. 1584-1591.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 538 p.

MYNENI, R. B. et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. **Proceedings of The National Academy Of Sciences**, v. 98, n. 26, p.14784-14789, 2001.

MYNENI, R. B. et al. Increasing plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1997. **Nature**, v. 386, n. 17, p.698-702, 1997.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. D.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P. C. F.; SANT'ANNA, D. M. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

NABINGER, C.. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONE SUL (ZONA CAMPOS) EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL, 16., 1998, Porto Alegre. **Relatório da XVI Reunião do Grupo Técnico Regional do Cone Sul (Zona Campos) em Melhoramento e Utilização dos Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical**. Porto Alegre: Fao/Ufrgs/emater-rs/Fepagro, 1998. p. 17 - 61.

NASA. **The Landsat Program**. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979. 422p.

NEMANI, R. R. et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, n. 5625, p.1560-1563, 2003.

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

PARUELO, J. M. Caracterización Regional de los recursos forrajeros de las zonas templadas de Argentina. **Revista Argentina de Producción Animal**, v. 19, n. 1, p.125-131, 1999.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PETTORELLI et al.,. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological response to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v.20, n.9, p.503-510, 2005.

PILLAR, V. D. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica. 1995.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José Dos Campos: Parêntese, 2010. 135 p.

RAHMAN, H.; DEDIEU, G. SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 1, p.123-143, 1994.

ROSS, J. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. **Geografia do Brasil**. 5. ed. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2008. 549p.

SALZER, M. W.; et al. Recent unprecedented tree-ring growth in bristlecone. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, v.106, n.48, p.20348-20353, 2009.

SANSIGOLO, C. A; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical Applied Climatology**, v. 101, n.1, p.209-216, 2010.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3. ed. San Diego: Elsevier (Academic Press), 2007. 515 p.

SILVEIRA, V. P.; GUN, M. A. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

SUPLICK-PLOENSE, M. R.; ALSHAMMARY, S.F.; QIAN, Y. L. Spectral Reflectance Response of Three Turfgrasses to Leaf Dehydration. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.10, n.1, p67-73, 2011.

SWAIN, P. H.; S. M. DAVIS, (ed.), 1978. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGraw-Hill Book Company.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed, Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TRENTIM, C. **Análise da Resposta Espectral da Vegetação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã em Imagens do Sensor EOS/MODIS Associadas ao Solo e aos Elementos do Clima**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TREWARTHA, G. L; HORN, L. H. **An Introduction to Climate**. 5. ed. New York: Mcgraw-hill, 1980. 416 p.

TUCKER, C. J. et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 26, n. 20, p.4485-4498, 20 set. 2005.

TUCKER, C. J. et al. African Land-Cover Classification Using Satellite Data. **Science**, v. 227, n. 4685, p.369-375, 25 jan. 1985.

VEGETATION. **Spot-Vegetation programme.** Disponível em: <<http://www.vgt.vito.be/index.html>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

VIANA, D.; FERREIRA, N. J.; CONFORTE, J. C. Aspectos Climatológicos da Precipitação na Região Sul do Brasil:. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 3., 2009, Canela. **Simpósio Internacional de Climatologia.** Rio de Janeiro: SBMET, 2009.

VIANA, D.; AQUINO, F. E.; MATZENAUER, R. Comportamento Espaço-Temporal da Precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Florianópolis: SBMET, 2006. p. 1 - 6.

VIANA, D.; MATZENAUER, R.; AQUINO, F. E. Desvios de Temperatura Média no Estado do Rio Grande do Sul em 2005. In: ENCONTRO SUL-BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1., 2006, Pelotas. **Encontro Sul-Brasileiro De Meteorologia.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2006. p. 1 - 6.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449 p.

WAGNER, A. P. L.; et al. Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** INPE. Curitiba, 2011. p. 5600-5606.

WANG, Q. et al. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, p.244–255, 2005.

WULDER, M. A. et al. Spatially Explicit Large Area Biomass Estimation: Three Approaches Using Forest Inventory and Remotely Sensed Imagery in a GIS. **Sensors**, v. 8, n. 1, p.529-560, 2008.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M.. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p.9-23, mar. 2008.

ZHAO, M.; RUNNING, S. T. Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. **Science**, v. 329, p.940-943, 20 ago. 2010.

ZHAO, M.; RUNNING, S. T. Remote Sensing of Terrestrial Primary Production and Carbon Cycle. In: LIANG, S. **Advances in Land Remote Sensing: System, Modelling, Inversion and Application.** College Park: Springer, 2008. p. 423-444.

ZHOU, L. et al. Relation between interannual variations in satellite measures of northern forest greenness and climate between 1982 and 1999. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. 1, p.1-19, 2003.

Apêndice A

Datas das 62 cenas Landsat 5 (Órbita 222/Ponto 81) utilizadas:

10/09/1997	02/12/2004
25/06/1998	18/12/2004
28/08/1998	27/05/2005
29/09/1998	30/07/2005
02/12/1998	02/10/2005
03/01/1999	07/02/2006
20/02/1999	11/03/2006
27/05/1999	12/04/2006
18/10/1999	28/04/2006
03/11/1999	02/08/2006
21/12/1999	19/09/2006
27/04/2000	21/10/2006
13/05/2000	02/06/2007
14/06/2000	18/06/2007
02/09/2000	16/03/2008
05/11/2000	10/10/2008
07/12/2000	15/02/2009
29/03/2001	19/03/2009
04/08/2001	20/04/2009
26/12/2001	06/05/2009
28/02/2002	22/05/2009
09/07/2003	25/07/2009
26/08/2003	26/08/2009
11/09/2003	13/10/2009
18/02/2004	29/10/2009
06/04/2004	18/02/2010
11/07/2004	07/04/2010
27/07/2004	01/11/2010
12/08/2004	01/09/2011
29/09/2004	03/10/2011
15/10/2004	04/11/2011



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DE GEOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA

ALUNO: Fernando Comerlato Scottá

CARTÃO: 150422

Curso (Bacharelado ou Licenciatura): Bacharelado em Geografia

Banca Examinadora:

1º) Orientador: Eliana Lima da Fonseca

2º) Prof. Examinador: Francisco Eliseu Aquino

3º) Prof. Examinador: Denilson Ribeiro Viana

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

Análise de tendências em séries temporais de dados meteorológicos e dados de sensoriamento remoto orbital em áreas de vegetação campestre natural do bioma Pampa, localizadas na Depressão Central do RS

Data da Defesa do TCC: 16/jan/2013

Conceito: A

Parecer da Comissão Examinadora:

O ALUNO CUMPRIU COM OS REQUISITOS DE UM
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, TENDO SIDO
CLARO NA DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS, NA ESCOLHA E APLI-
CAÇÃO DA METODOLOGIA E DEMONSTRANDO PLENA HABILI-
DADE NA UTILIZAÇÃO DESTES MÉTODOS, ALCANÇANDO
OS RESULTADOS PROPOSTOS

Assinaturas dos Membros da Comissão

1) Eliana Fonseca

2) Bruno

3) Denilson Viana

Ciente do Aluno:

Fernando Scottá

Data:

16/JAN/2013