



CEPSRM
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS
EM SENSORIAMENTO REMOTO
E METEOROLOGIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

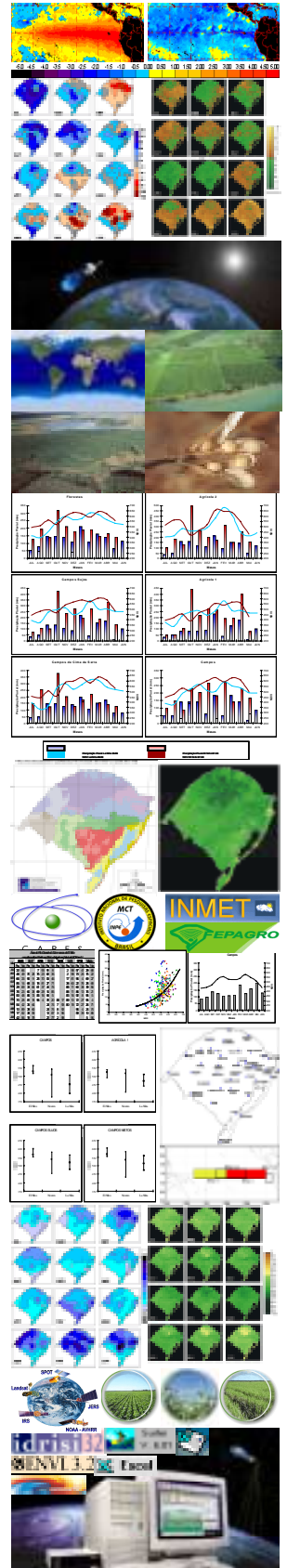
EFEITOS ASSOCIADOS A EL NIÑO E LA NIÑA NA VEGETAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

LIZANDRO OLIVEIRA JACÓBSEN

Meteorologista (UFPel)

Porto Alegre - RS, Brasil

Maio de 2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**EFEITOS ASSOCIADOS A EL NIÑO E LA NIÑA NA VEGETAÇÃO
DO ESTADO DO RIOGRANDE DO SUL**

Lizandro Oliveira Jacóbsen
Meteorologista (UFPel)

Orientador: Dr^a. Denise Cybis Fontana
Co-Orientador: Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de
Mestre em Sensoriamento Remoto

Porto Alegre – RS, Brasil
Maio de 2002

AGRADECIMENTOS

À minha amada MÃE que seja de onde estiver, desde sua partida, continua guiando minha vida. Sob a tua luz hei de encontrar o melhor caminho. Por ter sido uma pessoa única, foi a melhor MÃE do meu mundo e continuará sempre viva dentro de mim.

Ao meu Pai, Irmão, Dinda, Vô Etelvino, Vó Arlinda, Kellen, Lu, Vó Nalva, tios(as) e primos(as) que sempre me deram força, carinho e confiança para continuar mesmo nos momentos mais difíceis, sem vocês tudo ficaria ainda mais difícil.

À tio Tésio e tia Mara, que me deram as condições necessárias para que eu pudesse realizar meu estudo em Porto Alegre.

À professora Dr.^a Denise Cybis Fontana, pela orientação, amizade, dedicação e compreensão que teve comigo neste período de muita importância para minha formação profissional.

Ao professor Dr. Yosio Edemir Shimabukuro, pela co-orientação deste trabalho.

Aos professores, colegas, e amigos(as) do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia e também do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Faculdade de Agronomia, que, de uma forma ou de outra, ajudaram para que este trabalho fosse realizado da melhor maneira possível, em especial a Eliseu pelo auxílio e colega Corina pela amizade e companheirismo.

Ao INPE (Nadine), 8º DISME/INMET (Solismar) e FEPAGRO-RS (Ronaldo) que cederam as imagens de NDVI e dados meteorológicos necessários e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores, colegas e amigos(as) da Faculdade de Meteorologia da UFPel, em especial a Gilberto, Honorato e Simone pelo incentivo à pesquisa durante a graduação.

Aos amigos(as) santanenses e a Prefeitura Municipal de Santana da Boa Vista, pelo companheirismo e inúmeras caronas.

Aos amigos do SIMEPAR e IAPAR pela oportunidade e compreensão na reta final deste trabalho.

EFEITOS ASSOCIADOS A EL NIÑO E LA NIÑA NA VEGETAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

Autor: Lizandro Oliveira Jacóbsen
Orientador: Prof^a. Dr^a. Denise Cybis Fontana
Co-Orientador: Prof^o. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro

SINOPSE

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos associados a El Niño e La Niña sobre o crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal e sua evolução temporal no Estado do Rio Grande do Sul, utilizando imagens do satélite NOAA. Foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial e imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no período de julho de 1981 a junho de 2000, sendo as análises feitas para todo o Estado e para as diversas Zonas de Cobertura e Uso do Solo. Os dados, classificados como El Niño, La Niña e neutro, foram utilizados para confeccionar imagens médias, imagens de anomalias e para traçar gráficos de evolução temporal de NDVI. Por fim, foi feita a análise da relação entre precipitação pluvial e NDVI. Os resultados mostraram que as diversas Zonas de Cobertura e Uso do Solo apresentam padrões diferenciados de variação na cobertura vegetal ao longo do ano, o qual é determinado pela disponibilidade hídrica, de radiação solar e de temperatura, sendo possível quantificar as alterações do padrão, através do monitoramento com imagens de NDVI/NOAA. Parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI está associada à ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, como consequência, principalmente, do efeito deste fenômeno sobre a precipitação pluvial do Estado. Em anos de El Niño há um aumento na precipitação pluvial e conseqüentemente anomalias positivas de NDVI, enquanto que em anos de La Niña ocorre diminuição da precipitação pluvial a qual proporciona predominância de anomalias negativas de NDVI. Existe um tempo de resposta da vegetação às condições hídricas, ocasionado por uma defasagem entre o aumento ou diminuição da precipitação pluvial e o conseqüente aumento ou decréscimo de NDVI. O padrão e a intensidade dos efeitos no NDVI associados ao fenômeno El Niño e La Niña, estão relacionados às condições edafoclimáticas e de uso e cobertura do solo. As relações entre NDVI e precipitação pluvial evidenciam que este é um dos principais elementos que influi nas condições de crescimento vegetal para o Estado do Rio Grande do Sul.

1. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil. Maio, 2002.

EFFECTS ASSOCIATED WITH EL NIÑO AND LA NIÑA IN THE VEGETATION OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL¹

Author: Lizandro Oliveira Jacóbsen
Advisor: Denise Cybis Fontana
Co-Advisor: Yosio Edemir Shimabukuro

ABSTRACT

The purpose of this paper was to evaluate the effects associated with El Niño and La Niña on the growth and development of the plant cover, and their evolution over time in the state of Rio Grande do Sul, using NOAA satellite images. Monthly rainfall data and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images were used for the period from July 1981 to June 2000, the analyses having been performed for the whole state and for various Land Cover and Use Zones. The data classified as El Niño, La Niña and neutral, were used to make medium images, images of anomalies, and to trace graphs of the evolution of NDVI over time. Finally the relationship between rainfall and NDVI was analyzed. The results showed that the Land Cover and Use Zones present different patterns of variation in plant cover over the year, which are determined by the availability of water, solar radiation and temperature. It is possible to quantify the changes in pattern by monitoring, using NDVI/NOAA images. Part of the interannual variability of the NDVI evolution is associated to the occurrence of the El Niño and La Niña phenomenon mainly as a consequence of the effect of this phenomenon on rainfall in the State. In the years when El Niño occurs there is increased rainfall, and consequently positive NDVI anomalies, whereas during La Niña years there is less rainfall, and this leads to predominantly negative anomalies. There is a response time of vegetation to water conditions, due to a lag between the increase or decrease of rainfall, and consequent increase or decrease of NDVI. The pattern and intensity of effects on NDVI associated to the El Niño and La Niña phenomenon are related to the edafoclimatic conditions and land use and cover. The relationships between NDVI and rainfall show that this is one of the main elements that influence plant growth conditions in the state of Rio Grande do Sul.

1. M. Sc. Dissertation in Remote Sensing, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Graduate Program in Remote Sensing, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil, May 2002.

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO	1
II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1 - O FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA	3
1.1 - Descrição	3
1.2 - Efeitos associados ao clima global	6
1.3 - Efeitos associados ao clima do Brasil	8
1.4 - Efeitos associados ao clima do Rio Grande do Sul	10
2 - IMAGENS AVHRR/NOAA	12
3 - MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL	13
3.1 - Comportamento Espectral da Vegetação	13
3.2 - Índices de Vegetação	15
3.3 - Relação entre NDVI e Cobertura Vegetal	17
III – MATERIAL E MÉTODOS	21
1 - REGIÃO DE ESTUDO	21
2 - DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS	21
3 - IMAGENS AVHRR/NOAA	22
4 – PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	23
5 - ANÁLISES	25
5.1 - Condições médias de precipitação pluvial e do NDVI do Estado do Rio Grande do Sul	25
5.2 - Estudo de casos extremos	28
5.3 - Estabelecimento de relações entre NDVI e precipitação pluvial	28
IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
1 - CONDIÇÕES MÉDIAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E DO NDVI EM NÍVEL ESTADUAL	29
2 - CONDIÇÕES MÉDIAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E DO NDVI EM NÍVEL DE MACROZONAS	40
3 - ESTUDO DE CASOS EXTREMOS EM NÍVEL ESTADUAL	52
4 - ESTUDO DE CASOS EXTREMOS EM NÍVEL DE MACROZONAS	55
5 - RELAÇÃO ENTRE NDVI E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	61
V – CONCLUSÕES	72
VI – RECOMENDAÇÕES	73
VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICES	81
VITA	100

RELAÇÃO DE TABELAS

- Tabela 1. Bandas espectrais do sensor AVHRR. Fonte: Kidwell (1990). _____ 12
- Tabela 2. Meses de ocorrência de El Niño (EN), La Niña (LN) e neutros (N) no período de julho de 1981 a junho de 2000. Fonte: Adaptado de Trenberch (1997) e CPC-NCEP-NOAA (2002b). _____ 22
- Tabela 3. Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas e instituição fonte dos dados de precipitação pluvial utilizados. _____ 24
- Tabela 4. Descrição das características das Zonas de Cobertura e Uso do Solo (Macrozonas) nas diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) no Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Ducati et al. (2001). _____ 27
- Tabela 5. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas e negativas de NDVI em percentagem (%), em anos de El Niño (individuais e médio). _____ 38
- Tabela 6. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas e negativas de NDVI em percentagem (%), em anos de La Niña (individuais e médio). _____ 38
- Tabela 7. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, mensal obtido de forma simultânea em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 62
- Tabela 8. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, mensal obtido com defasagem de um mês em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 62
- Tabela 9. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, mensal obtido com defasagem de dois meses em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 63
- Tabela 10. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, bimestral obtido de forma simultânea em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 63
- Tabela 11. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, bimestral obtido com defasagem de um mês em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 64
- Tabela 12. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, bimestral obtido com defasagem de dois meses em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 64

- Tabela 13. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, trimestral obtido de forma simultânea em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 65*
- Tabela 14. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, trimestral obtido com defasagem de um mês em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 65*
- Tabela 15. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, trimestral obtido com defasagem de dois meses em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 66*
- Tabela 16. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI durante a primavera-verão obtido de forma simultânea e com defasagem de um mês em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 66*
- Tabela 17. Equações de ajuste e coeficientes de determinação entre precipitação pluvial e NDVI das Macrozonas caracterizadas por campos das diferentes Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, para os meses de novembro e dezembro e fevereiro e março. Período de 1981 a 2000. _____ 70*

RELAÇÃO DE FIGURAS

- Figura 1. Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar ($^{\circ}\text{C}$), para evento El Niño (a) e La Niña (b). Fonte: NOAA (2002). _____ 5
- Figura 2. Locais de observação da pressão atmosférica para monitoramento do Índice de Oscilação Sul (IOS) e regiões de monitoramento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico. Fonte: Adaptado de CPC-NCEP-NOAA (2002a). _____ 6
- Figura 3. Reflectância (%) uma folha verde típica em função do comprimento de onda. Fonte: Adaptado de Swain e Davis (1978). _____ 14
- Figura 4. Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul, mostrando as Unidades Morfológicas (UG) e Zonas de Cobertura e Uso do Solo (Macrozonas). Fonte: Ducati et al. (2001). _____ 26
- Figura 5. Precipitação pluvial (mm) média dos anos neutros no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 30
- Figura 6. NDVI médio dos anos neutros no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 31
- Figura 7. Anomalias de precipitação pluvial (mm) médias dos anos de El Niño no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000. _____ 33
- Figura 8. Anomalias de NDVI médio dos anos de El Niño no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000. _____ 34
- Figura 9. Anomalias de precipitação pluvial (mm) médias dos anos de La Niña no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000. _____ 35
- Figura 10. Anomalias de NDVI médio dos anos de La Niña no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000. _____ 36
- Figura 11. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), na média dos anos de El Niño. _____ 39
- Figura 12. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), na média dos anos de La Niña. _____ 39
- Figura 13. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul em anos neutros. _____ 41
- Figura 14. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Depressão Central e Planície Costeira do Estado do

	<i>Rio Grande do Sul em anos neutros.</i>	42
Figura 15.	<i>Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Cuesta de Haedo e Escudo Sul-rio-grandense do Estado do Rio Grande do Sul em anos neutros.</i>	43
Figura 16.	<i>Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.</i>	45
Figura 17.	<i>Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Depressão Central e Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.</i>	46
Figura 18.	<i>Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Cuesta de Haedo e Escudo Sul-rio-grandense do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.</i>	47
Figura 19.	<i>Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.</i>	49
Figura 20.	<i>Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Depressão Central e Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.</i>	50
Figura 21.	<i>Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Cuesta de Haedo e Escudo Sul-rio-grandense do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.</i>	51
Figura 22.	<i>Anomalias de precipitação pluvial (mm) no Estado do Rio Grande do Sul durante o El Niño de 1997-1998. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.</i>	53
Figura 23.	<i>Anomalias de NDVI no Estado do Rio Grande do Sul durante o El Niño de 1997-1998. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.</i>	54
Figura 24.	<i>Anomalias de precipitação pluvial (mm) no Estado do Rio Grande do Sul durante o La Niña de 1988-1989. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.</i>	56
Figura 25.	<i>Anomalias de NDVI no Estado do Rio Grande do Sul durante a La Niña de 1988-1989. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.</i>	57

- Figura 26. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989). __ 58
- Figura 27. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Depressão Central e Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989). _____ 59
- Figura 28. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Cuesta de Haedo e Escudo Sul-rio-grandense do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989). _____ 60
- Figura 29. Relação entre precipitação pluvial ocorrida em novembro e NDVI observado em dezembro para todas as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 68
- Figura 30. Relação entre precipitação pluvial ocorrida em fevereiro e NDVI observado em março para todas as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 68
- Figura 31. Relação entre precipitação pluvial ocorrida em novembro e NDVI observado em dezembro para as Macrozonas significativas ($r \geq 0,560$) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 69
- Figura 32. Relação entre precipitação pluvial ocorrida em fevereiro e NDVI observado em março para as Macrozonas significativas ($r \geq 0,560$) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000. _____ 69

I – INTRODUÇÃO

El Niño e La Niña é um fenômeno de grande escala, cujo berço é o Oceano Pacífico Equatorial, que interfere nas condições meteorológicas em diversas regiões do Globo. O Estado do Rio Grande do Sul situa-se numa das regiões de grande impacto deste fenômeno, estando associado a alterações principalmente na precipitação pluvial e, também, na temperatura. Em geral, ocorre aumento na precipitação pluvial, associado ao El Niño, e diminuição da precipitação pluvial, associada à La Niña.

A variabilidade do regime de precipitação pluvial e de temperatura influenciam o crescimento das plantas, alterando, assim, as condições da vegetação sobre a superfície.

Em grandes áreas, a análise do desenvolvimento da vegetação pode ser feita usando técnicas de sensoriamento remoto. Entende-se por sensoriamento remoto o conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção, à distância, de informações sobre alvos de interesse. Isto é conseguido pela detecção, quantificação e análise da energia eletromagnética refletida, absorvida e transmitida ou mesmo emitida pelos alvos. A radiação refletida é, entretanto, a informação mais freqüentemente utilizada para o monitoramento da vegetação presente na superfície da Terra.

Visto que atualmente estão disponíveis informações de sensores com alta resolução espacial e temporal, torna-se possível o uso de técnicas de sensoriamento remoto em estudos sobre os efeitos associados a eventos de grande escala, como é o caso do fenômeno El Niño e La Niña.

Neste contexto, a hipótese deste trabalho é que se as condições meteorológicas do Rio Grande do Sul em anos de El Niño e La Niña são alteradas, então, em decorrência, a evolução temporal da cobertura vegetal das áreas afetadas também será alterada, sendo possível a sua detecção através do sensoriamento remoto.

O objetivo principal desta dissertação é avaliar os efeitos associados ao El Niño e La Niña sobre o crescimento e desenvolvimento da cobertura vegetal e sua evolução temporal no Estado do Rio Grande do Sul.

E os objetivos secundários são:

- Determinar as áreas e épocas do ano de maior influência do El Niño e La Niña sobre a cobertura vegetal do Rio Grande do Sul;
- Definir padrões de evolução do índice de vegetação associados ao El Niño e La Niña no Rio Grande do Sul;
- Avaliar a relação entre índice de vegetação e precipitação pluvial no Rio Grande do Sul.

II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 - O FENÔMENO EL NIÑO E LA NIÑA

Existem registros de ocorrência do El Niño desde a época do descobrimento das Américas. Francisco Pizarro, por volta de 1527, já relatava a ocorrência da inversão das correntes oceânicas e da temperatura da água na costa do Peru. Em 1877, Sir Gilbert Walker tentou associar aquele fenômeno oceânico local com outros parâmetros atmosféricos de escala global. Entretanto, uma explicação mais clara e correta do mecanismo só surgiu em 1969, graças a J. Bjerknes. Hoje, sabe-se que o El Niño caracteriza-se por um aquecimento anormal das águas do Pacífico tropical centro-leste, em meados do ano e que se alastra para leste em direção à costa da América do Sul, atingindo principalmente o Peru, próximo do Natal (Marengo, 2001). Daí a denominação “El Niño”, em referência ao “menino Jesus”, para a fase quente do fenômeno, enquanto que para a fase oposta (fria) a denominação é “La Niña”, que significa “a menina” em espanhol (Trenberth, 1997). Outros nomes como “El Viejo” ou “anti-El Niño” também foram usados, mas os termos El Niño e La Niña ganharam maior popularidade (Marengo e Oliveira, 1998).

1.1 - Descrição

A denominação El Niño e La Niña se refere a um fenômeno de grande escala, cujo berço é a região equatorial do Oceano Pacífico tropical, região onde é evidenciado o vínculo entre oceano e atmosfera. O componente atmosférico expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica no centro e extremo oeste do Oceano Pacífico, também conhecida como “gangorra barométrica”. Já o componente oceânico está ligado às variações na temperatura da superfície do mar, em grande parte da região tropical deste Oceano.

El Niño e La Niña produzem variações na circulação termal dos trópicos, o que afeta a circulação atmosférica, causando impactos nas condições do

tempo regional e, também, fora dos trópicos (Li e Kafatos, 2000). O aquecimento e o subsequente resfriamento das águas do Oceano Pacífico, que ocorre num episódio típico de El Niño dura de 12 a 18 meses, iniciando em meados de um ano, atingindo sua máxima intensidade durante os meses de novembro e dezembro e terminando na metade do ano seguinte. Em seu estágio maduro (Figura 1a), as águas quentes ocupam uma região estreita e comprida, próxima do Equador, que se estende desde a costa do Peru até por volta de 180° (linha de data), com anomalias de temperatura de 3° a 5°C próximo à costa da América do Sul, reduzindo gradualmente para 1° ou 2°C próximo de 160°W (Oliveira e Satyamurty, 1998).

Há circulação térmica direta com movimentos ascendentes nas regiões convectivas e movimentos descendentes (subsistência) em outras regiões. Durante os eventos El Niño, os ventos alísios diminuem sensivelmente de intensidade e o centro da baixa pressão se desloca para o Pacífico Central, onde passa a ocorrer forte convecção (pela presença de águas quentes e convergência de umidade), aumentando a nebulosidade e a precipitação pluvial, enquanto que no Pacífico Oeste, com o aumento da pressão à superfície, há uma contribuição para a subsistência, reduzindo a precipitação pluvial (Varejão-Silva, 2000). Circulações térmicas diretas, com movimentos ascendentes nas regiões convectivas e movimentos descendentes em outras regiões, podem ser de dois tipos: Hadley no plano meridional e Walker no plano latitudinal (zonal). A intensificação da circulação regional de Hadley devido ao excesso de atividade convectiva sobre as águas anormalmente quentes (Pacífico Leste) provoca intensificação da corrente de jato subtropical, o que pode modificar a sua intensidade e posição. O deslocamento meridional da região convectiva para o Pacífico Leste provoca deslocamentos na circulação das células de Walker, causando uma mudança na posição do ramo descendente, o que inibe a formação de nuvens e precipitação pluvial (Philander, 1989 citado por Oliveira e Satyamurty, 1998).

De modo geral, pode-se dizer que La Niña é o oposto do El Niño. As temperaturas habituais da água do mar à superfície nesta região situam-se em torno de 25°C, ao passo que, durante o episódio La Niña, tais temperaturas diminuem para cerca de 22° a 23°C (Figura 1b). Durante os episódios de La Niña, os ventos alísios ficam mais intensos do que o normal. Assim como El

Niño, La Niña também pode variar em intensidade. O episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final daquele ano e dissipa-se em meados do ano seguinte. De acordo com as avaliações das características de tempo e clima, de eventos de La Niña ocorridos no passado, observa-se que La Niña mostra maior variabilidade, enquanto que os eventos de El Niño apresentam um padrão mais consistente (Marengo e Oliveira, 1998).

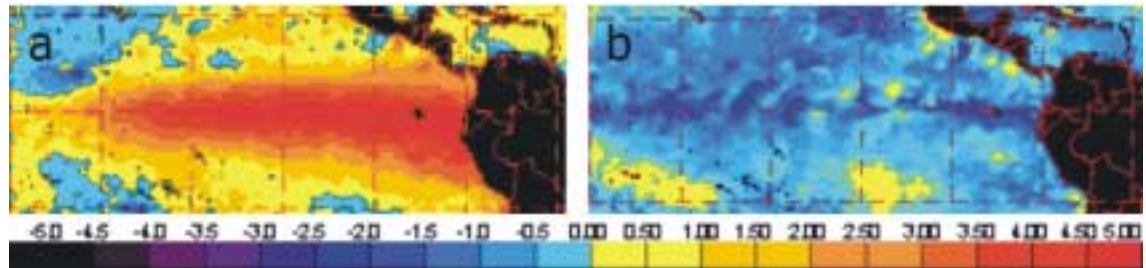


Figura 1. Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar ($^{\circ}\text{C}$), para evento El Niño (a) e La Niña (b). Fonte: NOAA (2002)

Ocorrem ocasiões em que o evento El Niño é sucedido rapidamente pela La Niña, ou seja, há uma rápida transição do episódio quente para o frio. Os padrões que contribuem para esta transição incluem: 1- A diminuição da quantidade de calor e profundidade da termoclina oceânica no Pacífico equatorial, que ocorre em eventos de El Niño e; 2- A intensificação dos alísios em baixos níveis no Pacífico equatorial (Oliveira et al., 1998). Nos últimos 19 anos, foram apenas quatro ocasiões em que El Niño foi sucedido pela La Niña. O episódio intenso do El Niño de 1982-1983 foi seguido de um evento fraco de La Niña em 1984-1985, e um El Niño menos intenso, ocorrido em 1986-1987, foi seguido de uma forte La Niña em 1988-1989. O El Niño longo, mas pouco intenso, de 1991-1994, foi seguido de um episódio fraco de La Niña em 1995-1996. Já recentemente, o El Niño intenso de 1997-1998 foi seguido quase imediatamente por La Niña de 1998-1999.

O fenômeno El Niño e La Niña é, mais comumente, monitorado através de dois indicadores, quais sejam: o Índice de Oscilação Sul (IOS) e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

O IOS é definido como a diferença das pressões atmosféricas na superfície do mar em Darwin, na Austrália, e no Taiti, no Pacífico Central (Li e

Kafatos, 2000 e Anyamba et al., 2001). Quando o IOS é negativo (5 meses consecutivos com valores de IOS menores ou iguais a -0,5) temos o episódio El Niño, que ocorre sempre que a pressão à superfície em Darwin é alta e baixa no Taiti. Quando o IOS é positivo (5 meses consecutivos com valores de IOS maiores ou iguais a 0,5) temos o episódio La Niña, que ocorre quando a pressão à superfície é baixa em Darwin e alta no Taiti (Figura 2).

A TSM é atualmente monitorada em 4 regiões definidas ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico, conhecidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4 (Figura 2). El Niño está associado ao aquecimento (média móvel de 5 meses com anomalia mensal de TSM de $+0,5^{\circ}\text{C}$ ou mais por no mínimo 6 meses consecutivos) e La Niña ao resfriamento (média móvel de 5 meses com anomalia mensal de TSM de $-0,5^{\circ}\text{C}$ ou mais por no mínimo 2 meses consecutivos) das águas do Oceano. Trenberth (1997) sugeriu o uso do limiar de $0,4^{\circ}\text{C}$ de anomalia na região do Niño 3.4 para a classificação dos eventos El Niño e La Niña, tendo boa aceitação pelos pesquisadores do fenômeno ENOS (El Niño/Oscilação Sul).

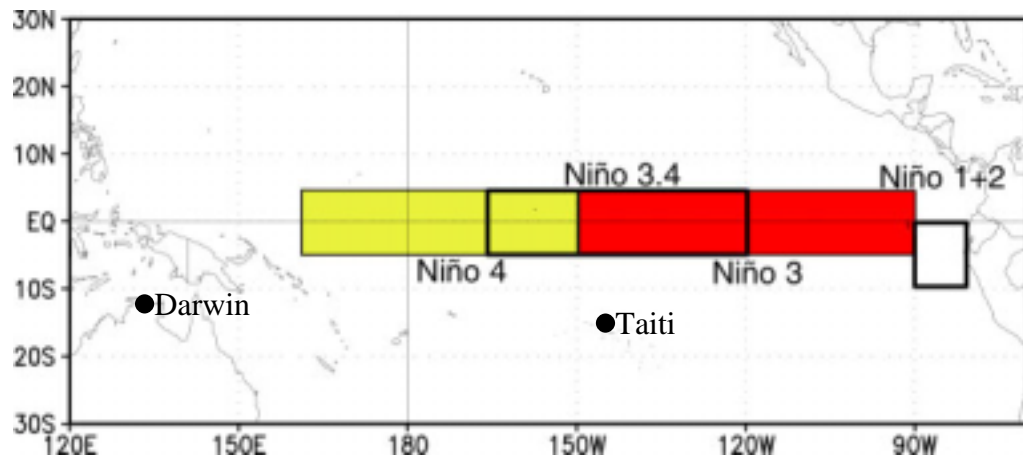


Figura 2. Locais de observação da pressão atmosférica para monitoramento do Índice de Oscilação Sul (IOS) e regiões de monitoramento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico. Fonte: Adaptado de CPC-NCEP-NOAA (2002a).

1.2 - Efeitos associados ao clima global

O aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico equatorial para a atmosfera provoca mudanças na

circulação atmosférica e na precipitação pluvial em escala regional e global. Estes, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas em várias partes do mundo (Philander, 1989 citado por Oliveira e Satyamurty, 1998).

Em termos globais, o El Niño afeta os Estados Unidos, sudeste da África, Austrália, Indonésia e América Central, que sofrem com as secas. O El Niño provoca tempestades no Golfo do México e no litoral sul da América do Sul, inundações no Peru e no sul dos Estados Unidos. Na América do Sul, ocorrem precipitações pluviais intensas nos meses de verão na costa ocidental, que afetam as costas do Equador e do norte do Peru; ocorrendo também secas nas regiões andinas do Equador, Peru e Bolívia; durante o inverno ocorrem precipitações pluviais intensas na região central do Chile; no sul do Brasil, ocorrem precipitações pluviais acima da normal climatológica, com enchentes na primavera e no período de maio a julho. Estudos indicam que duas regiões no Brasil, uma no semi-árido do Nordeste e as regiões a leste da Amazônia, e outra no extremo sul do Brasil e vizinhanças, são afetadas de maneiras inversas pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de El Niño. O extremo sul do Brasil é afetado por excesso de precipitação pluvial durante a primavera e verão, enquanto que o Nordeste do Brasil e leste da Amazônia pela diminuição da precipitação pluvial, principalmente durante a estação chuvosa de fevereiro a maio do semi-árido (CPTEC, 2002).

Durante episódios de La Niña, as temperaturas mais baixas do que as normais no Oceano Pacífico equatorial central, agem inibindo a formação de nuvens sobre esta região. Condições mais úmidas do que o normal se desenvolvem a oeste do Oceano Pacífico equatorial, sobre o norte da Austrália, Indonésia e Malásia, durante o verão, e sobre as Filipinas durante o inverno. Condições mais úmidas do que o normal também são observadas sobre o sudeste da África e norte do Brasil, durante o verão. Durante o inverno, as precipitações de monções na Índia tendem a ser maiores do que o normal, especialmente no noroeste. Condições mais secas do que o normal durante o fenômeno La Niña são observadas ao longo da costa oeste tropical da América do Sul e nas latitudes subtropicais das Américas do Norte (Costa do Golfo) e do Sul (sul do Brasil e centro da Argentina) durante o verão (INMET, 2002).

1.3 – Efeitos associados ao clima do Brasil

Segundo CPTEC (1998), citado por Marengo e Oliveira (1998), os principais efeitos de episódios de La Niña observados sobre o Brasil são: passagens rápidas de frentes frias sobre a Região Sul, com tendência de diminuição da precipitação pluvial nos meses de setembro a fevereiro, principalmente no Rio Grande do Sul, além do centro-nordeste da Argentina e Uruguai; temperaturas próximas ou ligeiramente abaixo da média climatológica sobre a Região Sudeste, durante o inverno; chegada das frentes frias até a Região Nordeste, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas; tendência de precipitações pluviais abundantes no norte e leste da Amazônia; possibilidade de precipitação pluvial acima da média sobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil (válido somente se, simultaneamente a La Niña, as condições atmosféricas e oceânicas no Atlântico mostrarem-se favoráveis, isto é, com TSM acima da média no Atlântico tropical sul e abaixo da média no Atlântico tropical norte).

Segundo Marengo (2001), o fenômeno El Niño e La Niña é, talvez, o mais importante aspecto da variabilidade do clima, juntamente com a variabilidade climática associada ao oceano Atlântico tropical, que pode afetar regiões como a Amazônia, o Nordeste e a Região Sul do País.

Porém, encontram-se também na literatura alguns autores que discordam parcialmente dos efeitos que o fenômeno pode causar sobre a precipitação pluvial. Kane (2000) encontrou efetividade no excesso de precipitação pluvial para o Sul do Brasil somente para os eventos de El Niño ativos durante a última metade do ano, considerando a relação El Niño precipitação pluvial fraca ou pouco significativa, destacando que efeitos devidos a outros fatores (TSM do Atlântico, frentes frias vindas da Antártida, etc) são provavelmente mais importantes; para o Nordeste do Brasil, a relação com o El Niño (secas esperadas) na principal estação chuvosa foi muito fraca ou muito pouco significativa; em São Paulo, o El Niño não provocou efeitos. Também, segundo Alves et al. (1997), os sistemas atmosféricos causadores de precipitações pluviais no setor leste do Nordeste do Brasil não sofrem influências diretas dos padrões oceano-atmosfera de grande escala, desencadeados pelo aparecimento dos eventos ENOS.

Já Pisnitchenko et al. (2000) confirmaram a ligação das anomalias regionais da precipitação pluvial com os padrões sinóticos mais ou menos estáveis sobre o Sul do Brasil e mostraram que a evolução dos parâmetros (velocidade vertical média, carga de vorticidade, divergência dos fluxos de umidade, pressão de superfície média) que caracterizam a circulação regional, está ligada firmemente com a precipitação pluvial e os coeficientes de correlação entre eles e a precipitação pluvial são sensíveis à fase do ciclo El Niño Oscilação Sul. Geralmente a precipitação pluvial anômala forte durante os anos de El Niño no Sul do Brasil é resultado de interação de ar frio do ciclone no Atlântico Sul com ar quente e úmido, quando este ciclone atinge a costa Sul do Brasil e Uruguai.

De acordo com Grimm e Sant'Anna (2000), a primavera é a estação de maior impacto médio de eventos El Niño e La Niña sobre a precipitação pluvial no Sul do Brasil. Durante eventos El Niño, tanto o aumento da precipitação pluvial média em dias chuvosos quanto o aumento do número de dias chuvosos parece contribuir ao aumento da precipitação pluvial sazonal. O primeiro fator parece predominar no oeste e o segundo no leste, especialmente no litoral de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e sobre os planaltos paranaenses e região serrana. Durante eventos La Niña, predomina a influência da diminuição do número de dias chuvosos, exceto no litoral. No verão, a variação da precipitação pluvial durante eventos El Niño e La Niña ocorre principalmente no sudoeste do Rio Grande do Sul, e deve-se principalmente à variação da quantidade de precipitação pluvial média nos dias chuvosos. Isto pode sugerir a importância do maior ou menor suprimento de umidade para a região. O impacto de eventos El Niño no sudeste da Região Sul no inverno do ano seguinte ao início do evento é claramente visível, tanto na quantidade de precipitação pluvial em dias chuvosos como no número de dias chuvosos, havendo relativa prevalência deste último fator.

Conforme Fedorova e Carvalho (2000), a ocorrência das frentes frias é maior nos anos de El Niño do que nos de La Niña (nas fases mais ativas destes fenômenos) e são observadas mais frequentemente sobre o Sul do continente da América do Sul. Em anos normais, as frentes quentes são mais frequentes sobre o oceano Atlântico e no Sul do continente da América do Sul durante o inverno. As frentes oclusas são observadas muito raramente no ano

de La Niña e um pouco mais freqüentemente nos anos de El Niño (formam-se com a mesma freqüência sobre todo o continente da América do Sul e oceano Atlântico ao sul da latitude 20°S) e normal sobre o Sul do oceano Atlântico. As frentes frias secundárias são observadas muito raramente nos anos de La Niña e normal, sendo um pouco mais freqüentes nos anos de El Niño, localizando-se em todos os anos somente sobre os oceanos.

1.4 – Efeitos associados ao clima do Rio Grande do Sul

Dos diversos fenômenos climáticos que afetam a Região Sul do Brasil, as enchentes e as estiagens são as que têm maior impacto socioeconômico. O Rio Grande do Sul, que possui uma economia baseada principalmente na agricultura e pecuária, é um dos Estados mais atingidos por estas adversidades climáticas, como do fenômeno El Niño e La Niña.

Segundo Fontana e Berlato (1997) para o Estado do Rio Grande do Sul o fenômeno La Niña determina precipitação pluvial inferior à média climatológica e muito inferior a precipitação pluvial média durante o fenômeno El Niño em dois períodos. O período de outubro a dezembro (principalmente outubro e novembro) é o que sofre a maior influência do fenômeno. O segundo período é de abril a junho do ano seguinte ao surgimento do fenômeno, principalmente maio e junho. Esses períodos são de grande importância agrícola, pois em outubro, novembro e dezembro as culturas de primavera-verão cultivadas no Estado estão no período de estabelecimento e desenvolvimento. Portanto, uma precipitação pluvial acima da média climatológica pode favorecer o rendimento final dessas culturas, ao passo que abaixo da média pode comprometer o rendimento final. Já para o segundo período, que coincide com a maturação e colheita das culturas de primavera-verão, ocorre exatamente o inverso. Fontana e Berlato (1997) mostraram, também, que no norte e oeste do Rio Grande do Sul, durante o El Niño há um aumento de 40 a 70 mm na precipitação pluvial de outubro e novembro, sendo que durante a La Niña, a parte oeste do Estado sofre uma redução superior a 80 mm, em outubro e novembro. Posteriormente, Puchalski (2000), trabalhando com as mesmas estações meteorológicas, porém introduzindo um maior número de anos de ocorrência do fenômeno, não encontrou a mesma relação para o segundo período, de abril a junho (chamado “repique” do fenômeno).

Existe também influência do fenômeno El Niño/La Niña no número de dias de precipitação pluvial do Estado do Rio Grande do Sul. A influência é maior na região nordeste do Estado, onde em anos de El Niño verifica-se um maior número de dias de precipitação pluvial, enquanto em anos de La Niña o número de dias de precipitação pluvial é reduzido (Almeida e Fontana, 2002).

As alterações nos totais e na distribuição da precipitação pluvial acarreta alterações em outros elementos meteorológicos. Carmona (2001), estudando a região orizícula do Rio Grande do Sul (metade sul do Estado), verificou que em anos de La Niña existe maior probabilidade de ocorrência de níveis mais elevados de insolação nos meses de outubro a março.

Puchalski (2000) verificou que em anos de La Niña a temperatura média no Rio Grande do Sul apresenta-se abaixo da normal climatológica em nove dos doze meses do ano, sendo que em cinco meses (julho e outubro do ano de início do fenômeno e março, maio e junho do ano seguinte) as anomalias têm magnitude iguais ou maiores do que $-0,5$ °C. Em relação aos anos de El Niño, não há uma tendência clara da temperatura média, pois são observados seis meses com anomalias positivas e seis meses com anomalias negativas. Nos meses de outubro e novembro (ano de início do fenômeno) e maio e junho (ano seguinte), a temperatura média tende a ser menor tanto em anos de El Niño como de La Niña. A região noroeste do Estado é a que apresenta os maiores efeitos associados do fenômeno El Niño e La Niña sobre a temperatura média.

Já Lopes e Berlato (2000) mostraram que a La Niña exerce maior influência nas temperaturas médias mínimas e temperaturas médias máximas do que o El Niño. Segundo os autores, em anos de La Niña o final da primavera, final do outono e inverno são relativamente mais frios do que o normal.

Quanto ao déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul, Puchalski (2000) mostrou que em anos de La Niña aumenta significativamente o risco de ocorrência no final da primavera e no início de verão, principalmente na metade sul do Estado. Já em anos de El Niño, as probabilidades de ocorrência de déficit hídrico diminuem drasticamente, praticamente desaparecendo em grandes áreas do norte e nordeste do Estado (Puchalski, 2000).

2 - IMAGENS AVHRR/NOAA

Os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) foram desenvolvidos inicialmente para aplicações meteorológicas e atmosféricas, tendo sido as imagens posteriormente utilizadas em outras áreas de conhecimento, como a do monitoramento da vegetação natural e agrícola.

Segundo Kidwell (1990), em 1982 a NOAA passou a produzir operacionalmente o produto conhecido como Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), usando as imagens do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). O AVHRR é um imageador que se encontra a bordo dos satélites operacionais de órbita polar da série NOAA. As imagens são obtidas em cinco bandas espectrais (intervalos de comprimento de ondas), as quais se situam nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal do espectro eletromagnético (Tabela 1), sendo a resolução espacial de cerca de 1,1 km no nadir. Estes satélites operam em pares, com órbitas em quadratura, o que permite imageamento completo do globo a cada seis horas, aproximadamente (Liu e Ming, 1998).

Tabela 1. Bandas espectrais do sensor AVHRR. Fonte: Kidwell (1990)

BANDA	Comprimento de onda (μm)
1	0,58 – 0,68
2	0,725 – 1,10
3	3,55 – 3,93
4	10,30 – 11,30
5	11,50 – 12,50

As imagens fornecidas pelo sensor AVHRR têm sido utilizadas em diversas áreas como, por exemplo, estudos de monitoramento da cobertura florestal, queimadas, produção agrícola, vegetação, períodos secos e úmidos e zoneamentos.

A principal vantagem do AVHRR/NOAA é a alta frequência de imageamento e a grande faixa imageada, que permite acompanhar a variação

fenológica da vegetação ao longo das estações do ano ou a variação devida a eventos episódicos (Batista et al., 1993), por um baixo custo e avaliação em tempo real (Kazmierczak, 1996).

3 – MONITORAMENTO DA COBERTURA VEGETAL

3.1 - Comportamento Espectral da Vegetação

No estudo da interação da radiação eletromagnética com a vegetação as propriedades espectrais são a reflectância, transmitância e absorptância, sendo que do ponto de vista do sensoriamento remoto a reflectância é a mais relevante. Portanto, o termo "comportamento espectral da vegetação" é freqüentemente relacionado com as características da radiação eletromagnética refletida por folhas, plantas individuais e conjunto de plantas.

De acordo com Steffen et al. (1996), a reflectância de uma folha verde individual é distinta e variável com o comprimento de ondas (Figura 3). Apresenta um comportamento típico de alta absorptância, baixa reflectância e baixa transmitância na parte visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7 μm). A absorção da radiação solar pela folha é alta nas bandas espectrais do azul (0,4 a 0,5 μm) e do vermelho (0,6 a 0,7 μm). A absorção aumenta com a atividade de pigmentos, particularmente, clorofila a, clorofila b e carotenóides. A reflectância da vegetação no espectro visível é tipicamente menor do que 10% da energia incidente .

Na banda do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (0,76 a 1,35 μm) a reflectância da vegetação tem seu valor típico em torno de 40%. Nesta região do espectro, os pigmentos são altamente transparentes à radiação, não assumindo papel relevante. Os valores típicos de reflectância são causados pelo efeito de espalhamento da radiação no mesófilo das folhas. A magnitude do espalhamento é proporcional à densidade celular e é consequência da diferença nos índices de refração das paredes celulares e espaços vazios.

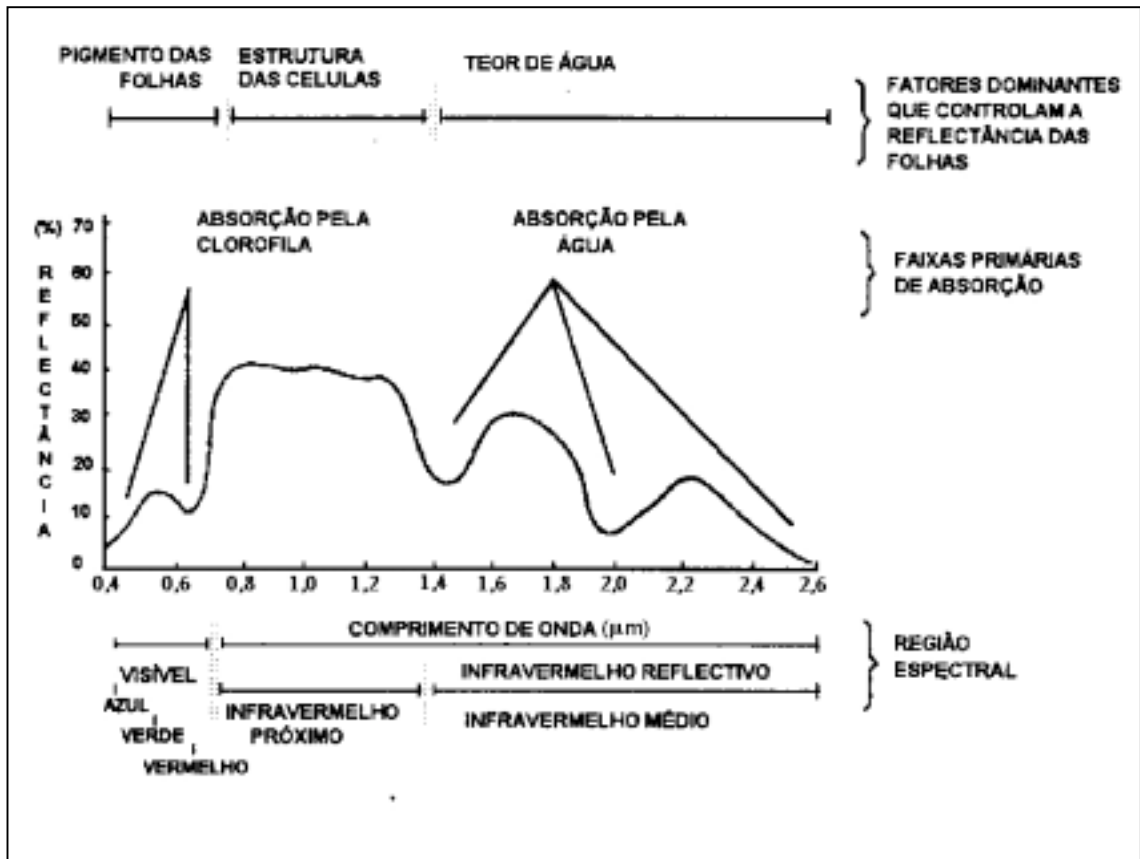


Figura 3. Reflectância (%) de uma folha verde típica em função do comprimento de onda. Fonte: Adaptado de Swain e Davis (1978).

Já na região do infravermelho médio (1,35 a 2,60 μm) uma folha sadia é caracterizada, principalmente, pelas bandas de absorção da água, cujos picos ocorrem em 1,4, 1,9 e 2,7 μm . Assim, a quantidade de energia solar incidente, que é absorvida, é função da quantidade total de água presente na folha, a qual é determinada pelo teor de umidade e espessura da mesma.

Conforme Steffen et al. (1996), a trajetória do fluxo solar incidente dentro do dossel vegetativo em direção ao solo e o fluxo radiante em direção ao sensor (radiância), não dependem somente das propriedades de reflexão e absorção dos elementos da vegetação, mas também da densidade e orientação dos mesmos. Um elemento da vegetação, por exemplo, uma folha presente no interior do dossel, recebe dois tipos de radiação: aquela que não é interceptada pelos demais elementos (radiação direta) e a radiação interceptada e espalhada por esses elementos (radiação difusa), cuja proporção depende da distribuição espacial, densidade e orientação, ou seja da arquitetura da vegetação.

De acordo com Fontana (1995), o conhecimento da curva espectral de uma folha individual é de extrema importância. Entretanto, isto não pode ser aplicado integralmente para uma comunidade vegetal, visto que a reflectância, nessa condição representa a integração de valores de reflectância da folha e da superfície de fundo. Alterações tanto na planta quanto na superfície de fundo acarretam variações na quantidade de radiação refletida pela cultura. Neste caso, a relação existente entre área de folha e superfície de fundo varia em função do tempo. Desde a sementeira até o completo desenvolvimento, a resposta espectral é grandemente influenciada pela superfície de fundo. Com o crescimento do vegetal há um aumento na reflectância na porção do infravermelho próximo, devido ao efeito da reflexão aditiva e simultâneo decréscimo no visível devido à maior absorvância em consequência da maior densidade de pigmentos. Assim, plantas jovens e em crescimento apresentam alto contraste entre essas duas regiões do espectro.

3.2 – Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são amplamente utilizados como sensíveis indicadores da presença e condição da vegetação. São baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais. O objetivo é reduzir o total de dados espectrais em um único valor, sendo a principal função, realçar a contribuição espectral da vegetação verde, enquanto minimiza aquelas do solo, do ângulo solar, da vegetação senescente e da atmosfera.

Em geral, razões são efetivas no realçamento ou revelação de informações latentes quando há uma relação inversa entre duas respostas do mesmo fenômeno. O crescimento vegetal resulta em respostas bastante distintas nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo; a razão entre as duas bandas situadas, respectivamente, nestas duas regiões constituem-se, portanto, em um indicador adequado para o monitoramento da vegetação. São numerosos os índices de vegetação encontrados na literatura. De forma geral, os índices de vegetação são agrupados em três categorias, sendo que os índices mais utilizados são apresentados a seguir:

- Índices de vegetação por razão entre bandas espectrais: SR – Razão Simples (Jordan, 1969); NDVI – Índice de Vegetação por Diferença

Normalizada (Rouse et al., 1973); TVI – Índice de Vegetação Transformado (Rouse et al., 1973); e SAVI – Índice de vegetação ajustado para o solo (Huete, 1988).

- Índices de vegetação por combinações lineares entre bandas espectrais: PVI – Índice de vegetação perpendicular (Richardson e Wiegand, 1977) e WDVÍ – Índice de vegetação ponderado (Clevers, 1989).
- Índices por transformação ortogonal de bandas espectrais: *Tasseled Cap* (Kauth e Thomas, 1976).

Entre os numerosos índices de vegetação disponibilizados na literatura, com certeza o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais utilizado.

Este índice é calculado pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho próximo. A equação para o cálculo do índice de vegetação, NDVI, é dada por:

$$\text{NDVI} = (\rho_{iv} - \rho_v) / (\rho_{iv} + \rho_v) \quad (1)$$

onde ρ_v e ρ_{iv} são as reflectâncias nas bandas do visível e infravermelho próximo, respectivamente; quanto maior a diferença entre as reflectâncias no infravermelho próximo e no visível maior é o valor do NDVI. Em geral, o NDVI é expresso numa escala que varia de $-1,0$ a $1,0$.

De acordo com Kidwell (1990), nuvens, água e neve apresentam valores de reflectância maiores no visível do que no infravermelho próximo, assim, tais feições apresentam NDVI negativos; rochas e solo descoberto têm valores similares de reflectância nestes dois comprimentos de onda, o que resulta em NDVI próximo de zero; já em presença de vegetação, o NDVI assume valores, normalmente, entre $0,1$ e $0,6$; sendo que altos valores são associados com altas densidades de vegetação saudável. Efeitos atmosféricos, tais como o espalhamento por poeiras, aerossóis, gases atmosféricos e nuvens dentro do *pixel*, agem no sentido de aumentar a reflectância na banda do visível em relação a banda do infravermelho próximo e, assim, reduzir o NDVI calculado.

3.3 – Relação entre NDVI e Cobertura Vegetal

As medidas de NDVI têm, em geral, associação direta com a quantidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar, a cobertura do solo e a interceptação da radiação. Numerosos trabalhos têm verificado a relação entre NDVI e variáveis agronômicas, assim como, entre o comportamento do NDVI e a cobertura vegetal ao final da estação. Ultimamente o NDVI tem sido usado para classificar e monitorar a vegetação na superfície (NDVI representa bem a evolução sazonal da vegetação continental). A variação anual do NDVI em certas regiões pode indicar impactos no regionais causados por alterações nas condições meteorológicas e mudanças fenológicas.

Um dos parâmetros agronômicos de grande interesse ao planejamento agrícola é a estimativa do rendimento de culturas. Em função da alta correlação entre NDVI e taxa assimilatória de comunidades vegetais, o NDVI pode estar correlacionado indiretamente com o rendimento de culturas (Fontana, 1995). Um dos aspectos a ser considerado nas relações entre NDVI e rendimento é a integração desse índice em certos períodos ou em todo o ciclo de desenvolvimento, pois contempla a evolução da cobertura vegetal.

Assim, o conhecimento da evolução temporal do NDVI, ou seja, o padrão de relação entre a evolução temporal do índice de vegetação frente à evolução temporal da cobertura vegetal, torna possível, com o uso de sensores remotos, monitorar as condições de desenvolvimento da vegetação em grandes áreas, ao longo da estação de crescimento, com um baixo custo operacional (Fonseca, 2000).

Como exemplos do uso de imagens NDVI para o monitoramento da vegetação pode-se citar alguns trabalhos a seguir.

Batista et al. (1993) utilizaram dados do sensor AVHRR/NOAA para monitorar a cobertura florestal no norte do Brasil e mostraram a variação do NDVI de três tipos de cobertura vegetal arbórea da Floresta Amazônica. Mostraram, também, que a forte influência do El Niño no período estudado resultou em aparente mudança fenológica da vegetação, caracterizada por queda de folhas e diminuição da cobertura vegetal, refletindo em valores menores de NDVI em anos mais secos (anos de El Niño).

Liu et al. (1994) verificaram que as análises de variações temporal e espacial de imagens de NDVI no nordeste brasileiro é uma adequada

ferramenta para monitorar a evolução da seca (período seco, com baixos valores de NDVI), destacando que este índice serve, também, para caracterizar a variabilidade climática regional desta e outras regiões.

Fontana et al. (1998) associaram a evolução temporal do GVI (*Global Vegetation Index*) com a evolução temporal da cobertura vegetal no Rio Grande do Sul, mostrando que é de grande utilidade o uso de imagens NDVI para o acompanhamento da evolução das condições da biomassa agrícola em tempo real, permitindo, assim, o monitoramento em programas de previsão de safras. Mostraram, também, que nos períodos considerados com adequada disponibilidade hídrica, como nos anos de El Niño, houve um aumento do GVI e diminuição de GVI em anos com menor disponibilidade hídrica.

Fonseca (2000) utilizou a evolução temporal do NDVI para observar o crescimento da grama forquilha (*Paspalum notatum*), submetida a diferentes tratamentos de disponibilidade de nitrogênio no solo, usando medições feitas com espectrorradiômetro portátil. A autora verificou que mudanças na quantidade de biomassa provocaram mudanças proporcionais nos valores de NDVI, podendo este índice ser utilizado para estimar variáveis agrônômicas, como o índice de área foliar, matéria seca verde e radiação fotossinteticamente absorvida.

Fontana et al. (2000) mostraram que as diferenças na evolução temporal do NDVI observadas entre as regiões estudadas (Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul) tornam evidente o potencial de uso de imagens NOAA para acompanhar o crescimento e desenvolvimento da biomassa da cultura da soja em nível regional. Este produto pode, no futuro, integrar sistemas de monitoramento visando fornecer alertas quanto a possíveis problemas de crescimento das plantas e ajudar a estimar a produção agrícola.

Delgado e Béjar (2000) mostraram o comportamento da evolução temporal do NDVI para as regiões de florestas e campos no México e observaram consistência no padrão de evolução para cada região, com diferenças apenas na intensidade do NDVI, ressaltando, porém, a importância de estudos com correlações entre NDVI e elementos meteorológicos.

Ming e Liu (2000) usaram dados de AVHRR/NOAA para gerar os mapas de albedo, NDVI e Temperatura da Superfície Terrestre para o Estado de São Paulo, e observaram que estas variáveis podem ser utilizadas para

monitoramento das variabilidades sazonal e espacial das condições bioclimáticas e seus impactos nas condições de vegetação. Estes dados bioclimáticos fornecem uma fonte de dados com alta frequência espacial e temporal para os modelos de previsão do tempo e da mudança climática em grande escala.

Sannier et al. (2002) usaram o NDVI para obter estimativas da biomassa da superfície próximo do tempo real para o Parque Nacional de Etosha, Namíbia, encontrando correlações significativas com a biomassa para classes individuais de cobertura vegetal com características estáveis, ressaltando a aplicação potencial dos resultados para o gerenciamento de risco de queimadas e queimadas controladas.

Os trabalhos revisados apontam para o fato de que a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais, incluindo condições climáticas, topografia, solos e suas propriedades associadas. A interação entre estes fatores ecológicos e a dinâmica da cobertura vegetal no tempo e no espaço é uma informação básica para as várias ações de monitoramento ambiental (Rizzi e Fonseca, 2001).

Mais do que proporcionar uma visão de como a cobertura vegetal se encontra distribuída na superfície, os índices de vegetação vêm permitir um estudo da dinâmica da cobertura, evidenciando as variações apresentadas por ela em decorrência de forçantes climáticas isoladas, dos ciclos fenológicos anuais (Schroeder et al., 1999) e de eventos episódicos, como é o caso do El Niño e La Niña.

Neste contexto, alguns estudos têm demonstrado que a variabilidade do regime de precipitação e temperatura, associado ao El Niño e La Niña, alteram a condição da cobertura vegetal na superfície, influenciando fortemente os padrões temporais e espaciais do NDVI. Alguns dos estudos mais recentes com este enfoque são os trabalhos desenvolvidos por Mennis (2001), no sudeste dos Estados Unidos; Dessay et al. (2001), no Brasil; Li e Kafatos (2000), nos Estados Unidos e Anyamba et al. (2001), no continente africano.

No Brasil, Liu e Juárez (2001) utilizaram o máximo NDVI mensal e anomalias do Índice de Oscilação Sul (IOS) para construir modelos de previsão de secas para a Região Nordeste, com base na técnica de regressão linear

múltipla. Os modelos testados, com NDVI como variável dependente e diferentes índices do ENSO como independente, apresentaram resultados significativos em todos os casos e ressaltaram que o uso combinado de índices de ENSO e NDVI também é aplicável a outras regiões.

III – MATERIAL E MÉTODOS

1 – REGIÃO DE ESTUDO

O Estado do Rio Grande do Sul está localizado entre as latitudes 27° 05' e 33° 45' S e longitudes de 49° 43' e 57° 39' W, ocupando uma área de 282.184 Km², com uma costa marítima de 600 Km de extensão. As altitudes no Estado variam de 1.200 m na Região do Planalto Superior, até o nível médio do mar junto a costa litorânea do Oceano Atlântico.

Conforme descrito por Moreno (1961), o clima do Rio Grande do Sul é classificado, segundo Köppen, na zona fundamental temperada ou “C”, tipo úmido ou “Cf”, com as variedades “Cfa” e “Cfb” (sub-tropical e temperado, respectivamente). Os principais mecanismos causadores da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, são as passagens de sistemas frontais e o desenvolvimento de aglomerados convectivos. A precipitação pluvial anual do Estado é de 1.540 mm, sendo que no verão a precipitação pluvial corresponde a 24%, no outono a 25%, no inverno a 25% e na primavera a 26%, do total anual. A temperatura média do ar anual varia entre 14 a 21°C, a média das máximas varia de 20 a 28°C e a média das mínimas varia de 9 a 15°C.

2 – DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

O período de estudo deste trabalho foi de 19 anos, compreendido de julho de 1981 a junho de 2000. Neste período, foram analisados três cenários distintos, quais sejam: anos de ocorrência de El Niño, anos de ocorrência de La Niña e anos de não ocorrência do fenômeno, denominados anos Neutros. A Tabela 2 mostra, durante o período de estudo, os anos neutros e os anos de ocorrência de El Niño e La Niña. No Apêndice 1 é apresentada a classificação quanto à intensidade do fenômeno.

Tabela 2. Meses de ocorrência de El Niño (EN), La Niña (LN) e neutros (N) no período de julho de 1981 a junho de 2000. Fonte: Adaptado de Trenberch (1997) e CPC-NCEP-NOAA (2002b).

Período	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
81-82	N	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN
82-83	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
83-84	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
84-85	N	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
85-86	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
86-87	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
87-88	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	LN	LN
88-89	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
89-90	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
90-91	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN
91-92	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
92-93	EN	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN
93-94	EN	EN	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	EN
94-95	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	N
95-96	N	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N
96-97	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN
97-98	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N
98-99	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
99-00	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN

3 – IMAGENS AVHRR/NOAA

As imagens utilizadas neste trabalho foram fornecidas pela NASA/GIMMS (*Global Inventory Monitoring and Modelling Studies*) com as correções radiométricas e geométricas. As composições mensais do máximo NDVI foram realizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As características das imagens são:

- Projeção: Albers área igual cônica
- Elipsóide: Clark
- Primeiro paralelo padrão : -32,5°
- Segundo paralelo padrão: -2,5°
- Lat θ : -17,5° (coordenada do *pixel* do centro da imagem)
- Lon θ : -63,5° (coordenada do *pixel* do centro da imagem)
- Tamanho do *pixel*: 8,00 km x 8,00 km
- Tamanho da imagem: 130 (colunas) x 140 (linhas)
- Formato: Banda Seqüencial Inteira (BSQ)

Os dados foram obtidos em formato GAC (*Global Area Coverage*), coletados diariamente pelos sensores AVHRR dos satélites NOAA 7, 9, 11 e 14, e após foram feitas as correções atmosféricas devido às erupções

vulcânicas de 1982 (El Chinchón) e 1991 (Mt Pinatubo). A resolução espacial foi reamostrada para 8 Km por 8 Km e a resolução temporal corresponde aos mosaicos NDVI mensais. Os valores de NDVI normalmente estão situados entre $-1,0$ e $1,0$ tendo sido multiplicados por 1000. Em cada imagem, os valores fora destes limites, foram substituídos por -9999 e nas regiões de lagoas e no oceano o valor atribuído foi de -9998 , conforme utilizou Dessay et al. (2001).

Os mosaicos mensais, inicialmente, em formato do *software* Envi foram renomeados e exportados para o *software* Idrisi v.3.2, onde, posteriormente, foram multiplicados por uma imagem *booleana* (máscara) do Estado do Rio Grande do Sul, na qual ao contador digital dos *pixels* das lagoas, oceano e regiões fora dos limites do Estado foi atribuído o valor zero. Também foi confeccionada uma paleta de cores e sobreposta uma imagem vetorial com os limites do Estado.

4 – PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

Foram coletados dados mensais de precipitação pluvial, para o período básico de estudo (1981 a 2000) provenientes de 40 estações meteorológicas do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Abastecimento (8º DISME/INMET, MAA) e da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária da Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO, SCT-RS), distribuídas no Rio Grande do Sul (Tabela 3). Os dados em falta das séries meteorológicas de precipitação pluvial utilizados neste trabalho foram, anteriormente, estimados através do método proposto por Gonçalves e Kim (1998), o qual usa a técnica de regressão linear múltipla. Os dados, inicialmente em coordenadas “lat long”, foram reprojatados para o mesmo sistema de referência das imagens NDVI, ou seja, “albers área igual cônica”.

O método de Kriging foi utilizado para efetuar a interpolação espacial e geração de isolinhas de precipitação pluvial mensal. Neste método é utilizada a auto-covariância espacial, sendo o coeficiente de interpolação ajustado de acordo com a variação da vizinhança, a qual foi definida por quadrantes dentro

da área total do Estado. A grade de interpolação, compatível com as imagens, foi de 140 linhas e 130 colunas. O *software* utilizado foi o Surfer v.6.0.

Tabela 3. Estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul, coordenadas geográficas e instituição fonte dos dados de precipitação pluvial utilizados.

Estação Meteorológica	Latitude Sul	Longitude Oeste	Altitude (m)	Fonte
Alegrete	29°41´	55°31´	125	INMET ¹ /FEPAGRO ²
Bagé	31°21´	54°06´	216	INMET
Bento Gonçalves	29°15´	51°31´	619	INMET
Bom Jesus	28°40´	50°26´	1048	INMET
Caçapava do Sul	30°30´	53°29´	450	INMET
Cachoeira do Sul	30°02´	52°53´	73	INMET
Caxias do Sul	29°10´	51°12´	786	INMET/FEPAGRO
Cruz Alta	28°38´	53°36´	473	INMET/FEPAGRO
Encruzilhada do Sul	30°32´	52°31´	427	INMET/FEPAGRO
Farroupilha	29°14´	51°26´	702	FEPAGRO
Guaporé	28°55´	51°54´	772	INMET
Ijuí	28°23´	53°54´	448	FEPAGRO
Iraí	27°12´	53°12´	222	INMET
Júlio de Castilhos	29°13´	53°40´	516	FEPAGRO
Lagoa Vermelha	28°25´	51°35´	837	INMET
Marcelino Ramos	27°30´	51°54´	414	INMET
Osório	29°42´	50°12´	32	FEPAGRO
Palmeira das Missões	27°53´	53°26´	634	INMET
Passo Fundo	28°15´	52°24´	676	INMET
Pelotas	31°52´	52°21´	7	INMET
Porto Alegre	30°01´	51°13´	10	INMET
Rio Grande	32°01´	52°05´	5	INMET/FEPAGRO
Santa Cruz do Sul	29°42´	52°24´	56	INMET
Santa Maria	29°42´	53°42´	95	INMET/FEPAGRO
Santa Rosa	27°51´	54°25´	360	INMET
Santa Vitória do Palmar	33°31´	53°21´	6	INMET
Santana do Livramento	30°53´	55°32´	210	INMET
Santiago	29°11´	54°53´	426	INMET
Santo Ângelo	28°18´	54°15´	289	INMET
São Borja	28°39´	56°00´	96	FEPAGRO
São Francisco de Paula	29°20´	51°30´	912	INMET
São Gabriel	30°10´	54°19´	124	INMET/FEPAGRO
São Luiz Gonzaga	28°23´	54°58´	254	INMET
Soledade	29°06´	52°24´	720	INMET
Tapes	30°50´	51°35´	5	INMET
Taquarí	29°48´	51°48´	76	INMET/FEPAGRO
Torres	29°20´	49°43´	43	INMET
Uruguaiana	29°45´	57°05´	74	INMET/FEPAGRO
Vacaria	28°33´	50°42´	960	INMET/FEPAGRO
Veranópolis	28°56´	51°33´	705	FEPAGRO

¹ INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

² FEPAGRO: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária

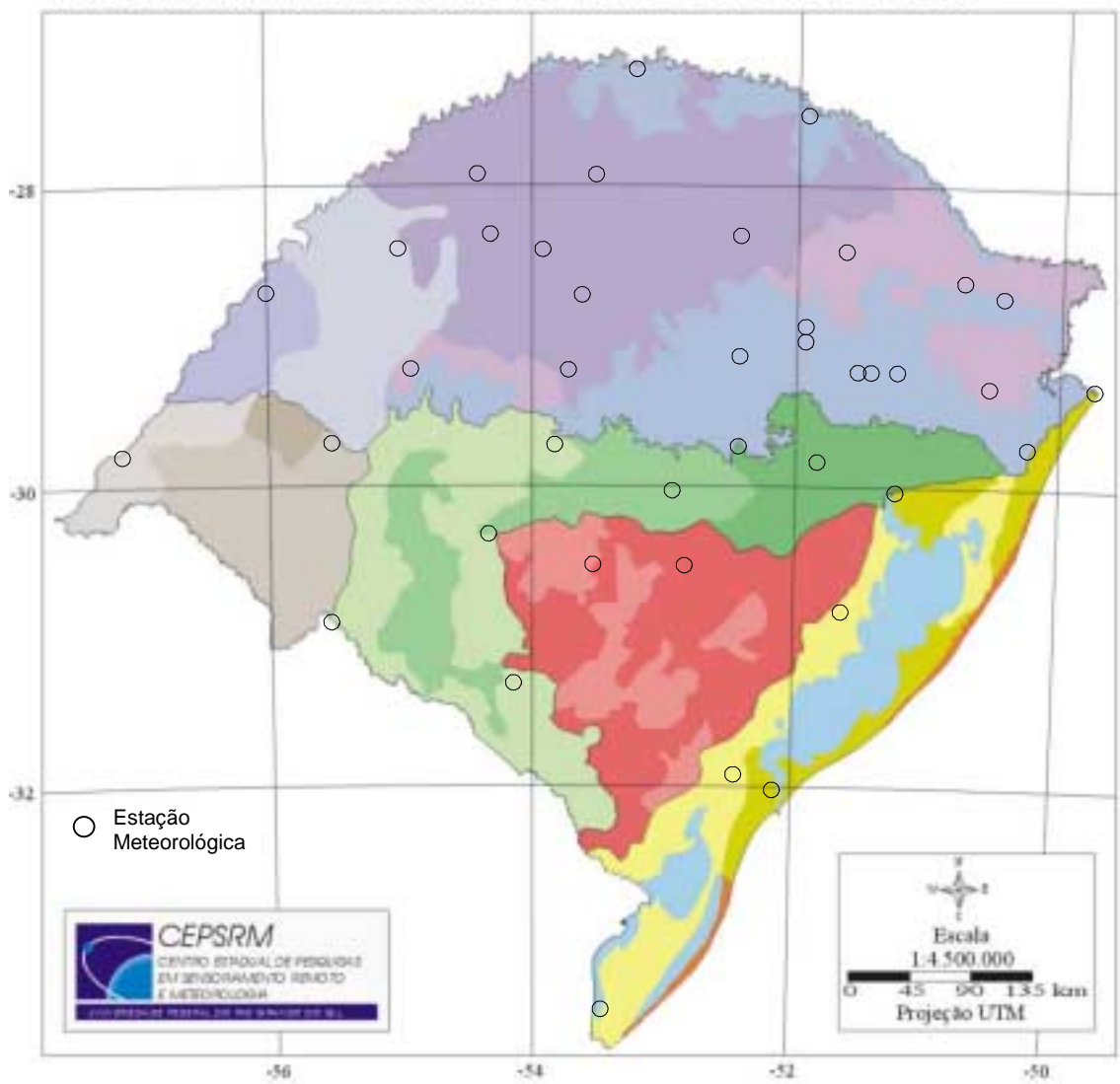
5 – ANÁLISES

As análises foram feitas observando-se as imagens de NDVI e mapas de precipitação pluvial em dois níveis. No primeiro, foi considerado o Estado do Rio Grande do Sul como um todo, enquanto que no segundo, o Estado foi dividido em Macrozonas, tendo como base o Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 4 e Tabela 4), fornecido pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ducati et al., 2001). Neste trabalho, por conveniência, o Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul foi modificado em algumas Macrozonas (Zonas de Cobertura e Uso do Solo). A Unidade Geomorfológica (UG) Planície Costeira teve todas as suas Macrozonas agrupadas em uma chamada de Planície Costeira. Na UG Cuesta de Haedo, a Macrozona Campos Sujos foi unificada com a Macrozona Campos, denominada Campos. A Macrozona Campos da UG Planalto foi separada em duas, denominadas Campos e Campos de Cima da Serra. A opção do uso do Macrozoneamento Temático para a extratificação do Estado foi devido ao fato de que o critério de zonificação é baseado na distribuição da vegetação, o que é compatível com o interesse deste estudo.

5.1- Condições médias de precipitação pluvial e do NDVI do Estado do Rio Grande do Sul

Inicialmente foi feita uma análise visual preliminar de todas as imagens e mapas disponíveis no período de estudo buscando identificar padrões de comportamento da cobertura vegetal e da precipitação pluvial associados aos eventos El Niño e La Niña. A partir do conjunto de imagens mensais de máximo NDVI, foram calculadas as imagens médias (mês a mês) para os três cenários definidos, ou seja, foram geradas imagens de El Niño médio, La Niña média e neutro médio. Utilizando as imagens médias dos anos neutros, foram calculadas as imagens de anomalias para todos os anos de ocorrência de El Niño e de La Niña, assim como para as imagens médias dos cenários de El Niño e La Niña.

A mesma metodologia foi utilizada para os dados de precipitação pluvial.




















Legenda

Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	
Planalto	Florestas	Depressão Central	Campos	
	Campos		Agrícola 1	
	Campos Sujos		Agrícola 3	
	Agrícola 1	Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	
	Agrícola 2		Campos Mistos	
Cuesta de Haedo	Campos	Planície Costeira	Agrícola 1	
	Campos Sujos		Agrícola 3	
	Agrícola 1		Dunas	
				Lagoas

Elaboração: CEPSSRM, 2001

Figura 4. Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul, mostrando as Unidades Geomorfológicas (UG) e Zonas de Cobertura e Uso do Solo (Macrozonas). Fonte: Ducati et al. (2001).

Tabela 4. Descrição das características das Zonas de Cobertura e Uso do Solo (Macrozonas) nas diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) no Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Ducati et al. (2001).

Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Descrição
Planalto	 Florestas	Fitinação arbórea densa de grande porte, com estratos superpostos.
	 Campos	Tapetes herbáceos baixos e densos (IBGE, 1977).
	 Campos Sujos	Campos subarbustivos de gramíneas e ciperáceas (IBGE, 1977).
	 Agrícola 1	Predominância do cultivo de arroz.
	 Agrícola 2	Predominância do cultivo de soja e milho no verão e de trigo no inverno.
Cresta de Haedo	 Campos	Tapetes herbáceos baixos e densos (IBGE, 1977).
	 Campos Sujos	Campos subarbustivos de gramíneas e ciperáceas (IBGE, 1977).
	 Agrícola 1	Predominância do cultivo de arroz.
Depressão Central	 Campos	Tapetes herbáceos baixos e densos (IBGE, 1977).
	 Agrícola 1	Predominância do cultivo de arroz.
	 Agrícola 3	Culturas diversificadas (feijão, milho, tabaco, hortifrutigranjeiros, etc).
Esudo Sul-riograndense	 Campos Sujos	Campos subarbustivos de gramíneas e ciperáceas (IBGE, 1977).
	 Campos Mistos	Campos herbáceos e subarbustivos com ocorrência de Matagalera.
Planície Costeira	 Agrícola 1	Predominância do cultivo de arroz.
	 Agrícola 3	Culturas diversificadas (feijão, milho, tabaco, hortifrutigranjeiros, etc).
	 Dunas	Depósitos arenosos de origem eólica.
	 Lagoas	Lagoas e Lagunas do Sistema Litorâneo.

Usando a opção de extração de atributo de valores (*Analysis/Statistics/EXTRACT* do *software Idrisi v.3.2*), foi construída uma rotina (Macro) para extração de valores médios de NDVI e de precipitação pluvial mês a mês, de julho de 1981 a junho de 2000 e também para as médias dos anos de El Niño, anos de La Niña e anos neutros, para cada Zona de Cobertura e Uso do Solo do Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul (Apêndice 2, 3, 4 e 5). Após, foi feita a representação gráfica para os valores médios de NDVI e de precipitação pluvial para os três cenários, em todos os meses do ano, para cada Macrozona.

Para uma análise exploratória, a fim de identificar características importantes da variabilidade dos dados de NDVI nos três cenários, foram

extraídos os valores de máximo, médio e mínimo, de dezembro e janeiro, para cada Macrozona do Estado, e representados de forma gráfica.

Para as imagens de anomalias de NDVI, foi calculada a área do Estado com anomalias positivas e negativas ocorridas em anos de El Niño e de La Niña. Para tanto, foi utilizada a opção de cálculo de área (*Analysis/Database Query/AREA*) do *software* Idrisi v.3.2, sendo que, primeiramente, as imagens foram reclassificadas em três classes (1- Anomalias Negativas, 2- Sem Anomalias e 3- Anomalias Positivas), utilizando a opção *Analysis/Database Query/RECLASS* do *software* Idrisi 3.2 (Apêndice 6 e 7).

5.2- Estudo de casos extremos

Para os anos em que o fenômeno El Niño e La Niña foi mais intenso, no período de estudo, foram geradas as imagens médias e de anomalias, tanto para NDVI como para precipitação pluvial, para todo o Estado do Rio Grande do Sul.

Para cada Macrozona do Macrozoneamento Temático do Estado foi feita a extração de valores médios de NDVI e de precipitação pluvial, sendo, após os dados representados na forma de gráficos, expressando a variação anual do elemento.

5.3- Estabelecimento de relações entre NDVI e precipitação pluvial

Foi feita uma análise de correlação entre NDVI e precipitação pluvial. As relações foram estabelecidas para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul, durante a primavera-verão (outubro a março), para períodos mensais, bimestrais, trimestrais e todo o período; de forma simultânea e também com defasagem de 1 mês e 2 meses.

Para os casos em que se verificou correlação significativa ($r \geq 0,560$) foi testada a função de melhor ajuste da relação entre NDVI e precipitação pluvial.

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

1- CONDIÇÕES MÉDIAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E DO NDVI EM NÍVEL ESTADUAL

Os resultados mostraram que, para os três cenários (anos de El Niño, anos de La Niña e anos neutros), existe variação no decorrer do ano tanto para NDVI como para precipitação pluvial (Apêndice 8 a 31).

Em anos neutros (Figura 5) a precipitação pluvial foi regularmente distribuída ao longo do ano, sendo que na maior parte do Estado as precipitações pluviais foram superiores a 90 mm. O padrão observado é característico do clima “Cf” que abrange todo o Rio Grande do Sul, ou seja, clima temperado úmido, caracterizado por não apresentar estação seca. Nas imagens de NDVI (Figura 6), verificou-se uma tendência geral de aumento deste índice de julho a março e um decréscimo de abril a junho, o que possivelmente seja função da disponibilidade de radiação solar e de temperatura. As maiores variações ao longo do ano ocorreram na região de maior produção de grãos, ou seja, na porção central da metade norte do Estado, também denominado coração agrícola do Rio Grande do Sul. No mês de novembro a região apresenta baixos valores de NDVI, em decorrência do preparo para a semeadura das culturas de primavera-verão, como soja e milho, e atinge seu valor máximo nos meses de fevereiro e março, época de pleno desenvolvimento destas culturas. Coincidindo com o período de colheita das culturas de primavera-verão e o preparo do solo para as culturas de outono-inverno (trigo, principalmente), que ocorre nos meses de maio e junho, o NDVI apresenta seus valores mínimos. Este padrão é coerente com o apontado para a mesma região por Fontana et al. (1998) e Rizzi e Fonseca (2001).

Também ocorreram variações no nordeste do Estado, próximo a Santa Catarina, apresentando valores mínimos em setembro, possivelmente associado à prática de queimadas na região e final do ciclo das culturas de inverno, e máximos em fevereiro, março e abril. Já na região do extremo Sul do Estado no final do outono, no inverno e início da primavera, observou-se uma

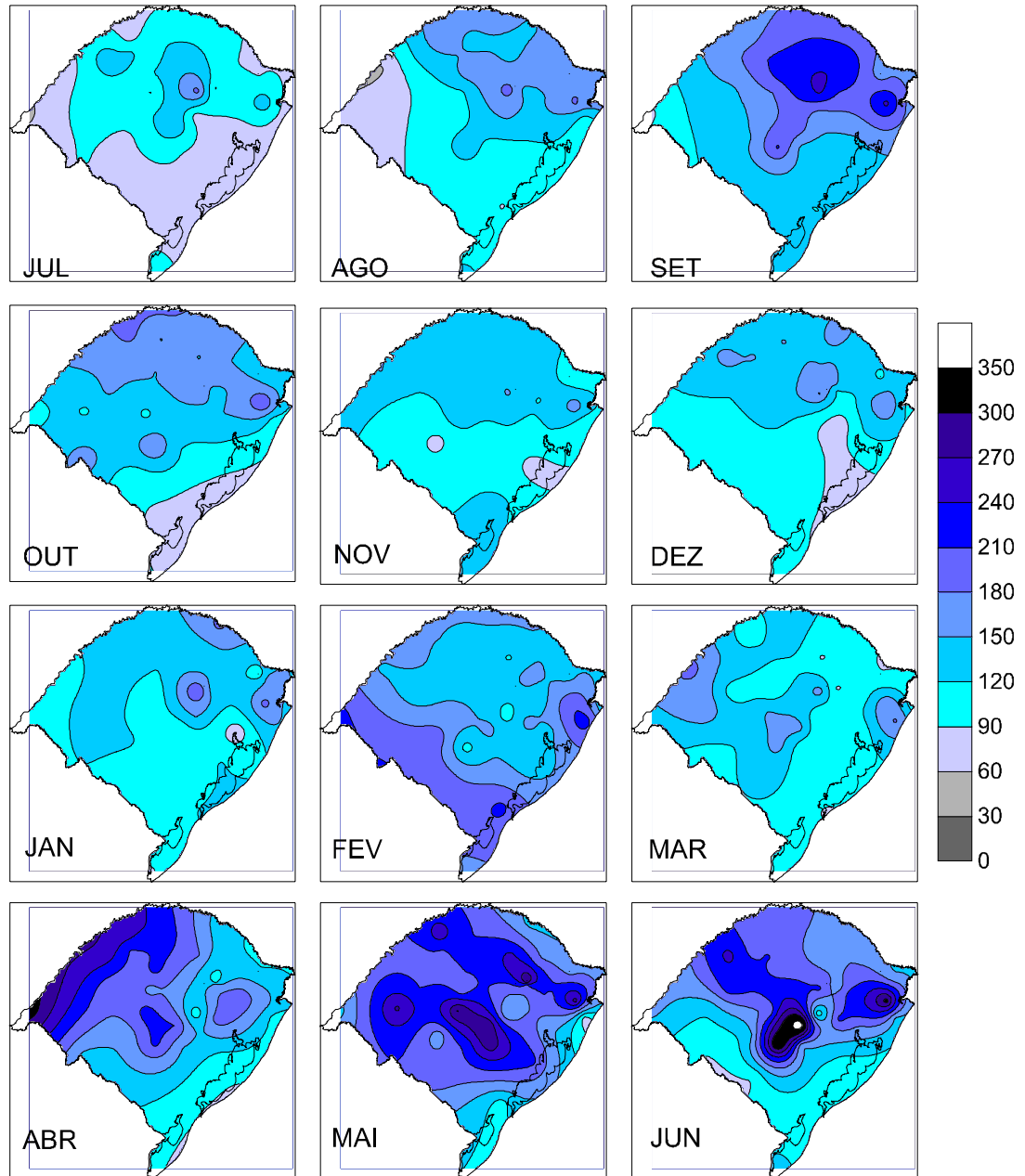


Figura 5. Precipitação pluvial (mm) média dos **anos neutros** no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

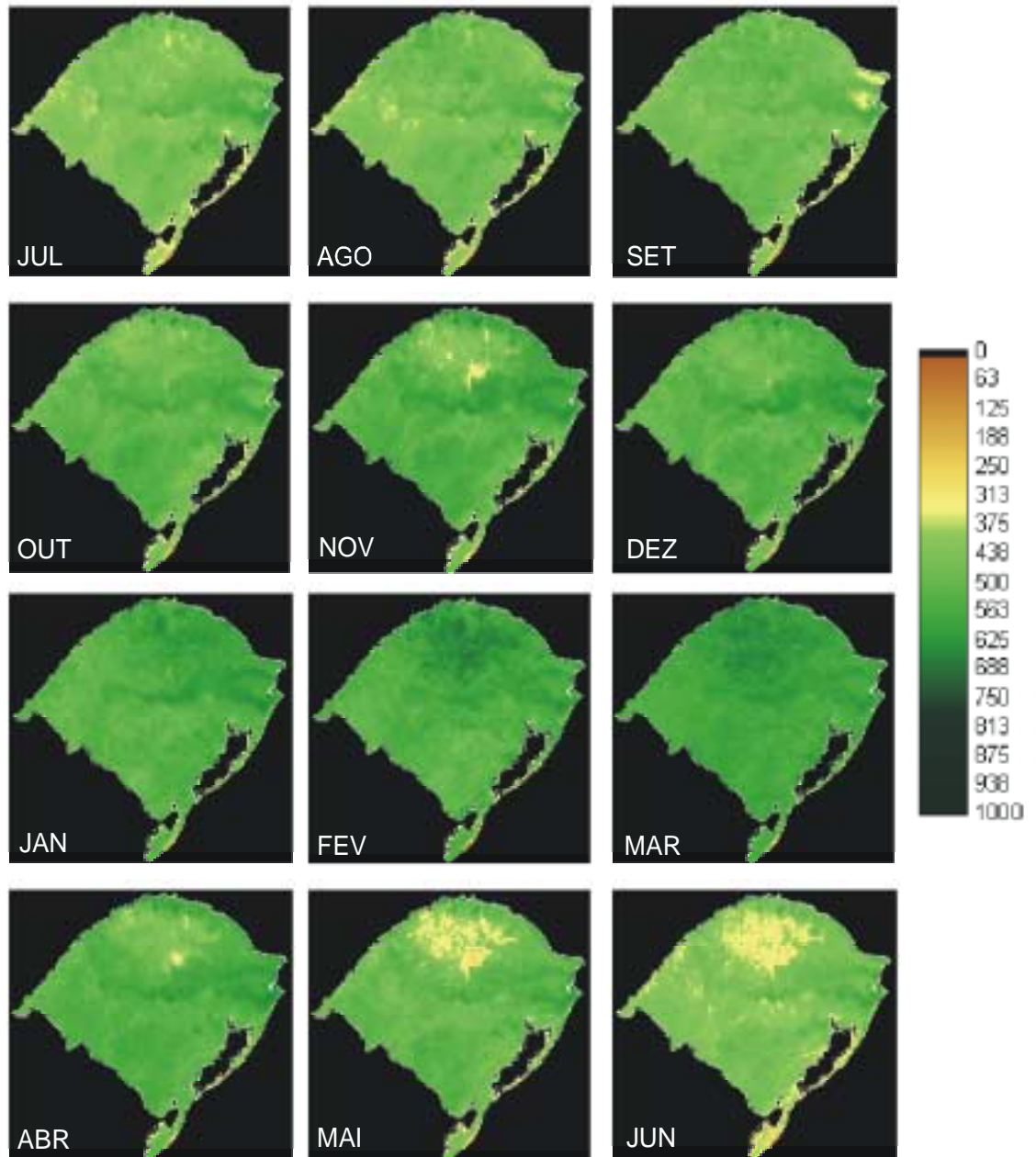


Figura 6. NDVI médio dos **anos neutros** no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

diminuição do NDVI, coincidindo com o final do ciclo, inexistência e preparo do solo para o cultivo do arroz, respectivamente; e um aumento no final da primavera e no verão, época de desenvolvimento e máximo desenvolvimento vegetativo desta cultura. O mesmo foi observado nestas regiões por Rizzi e Fonseca (2001).

Em anos de El Niño (Figura 7) verificou-se no Estado um predomínio de anomalias positivas na precipitação pluvial em praticamente todos os meses do ano, com exceção de setembro, fevereiro (metade Sul), maio e junho. Estes resultados são semelhantes aos obtidos em outros trabalhos, como de Fontana e Berlato (1997), Grimm e Sant'Anna (2000) e Puchalski (2000), os quais utilizando uma série de dados mais longa do que aquela utilizada neste trabalho mostraram que, associados ao El Niño ocorrem anomalias positivas de precipitação pluvial ao longo de todo o ano, especialmente de outubro a janeiro, com maior intensidade nos meses outubro e novembro e especialmente na região noroeste do Rio Grande do Sul. Esta situação, como enfatizado por Berlato e Fontana (1999), é, em geral, favorável às culturas de primavera-verão (soja e milho), que na sua maioria são conduzidas sem irrigação e, portanto, dependentes da precipitação pluvial.

Na Figura 7, observa-se que o excedente de precipitação pluvial verificado nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro acarretou a predominância de anomalias positivas de NDVI (Figura 8) no Estado, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Este atraso na resposta é característico de um necessário tempo de resposta da vegetação às condições meteorológicas favoráveis. Este “atraso”, em relação à resposta da vegetação ao estímulo da precipitação pluvial, também foi observado por Schroeder et al. (1999).

Já nos anos de La Niña (Figura 9), de forma oposta ao observado para El Niño, 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. A principal diferença em relação ao El Niño, é que em condições de La Niña, as anomalias negativas de precipitação pluvial resultaram em um predomínio de anomalias negativas no NDVI nos meses de outubro a janeiro (Figura 10). Ao longo do ano, o mês de fevereiro é o único mês que, em condições de La Niña, predominam anomalias positivas

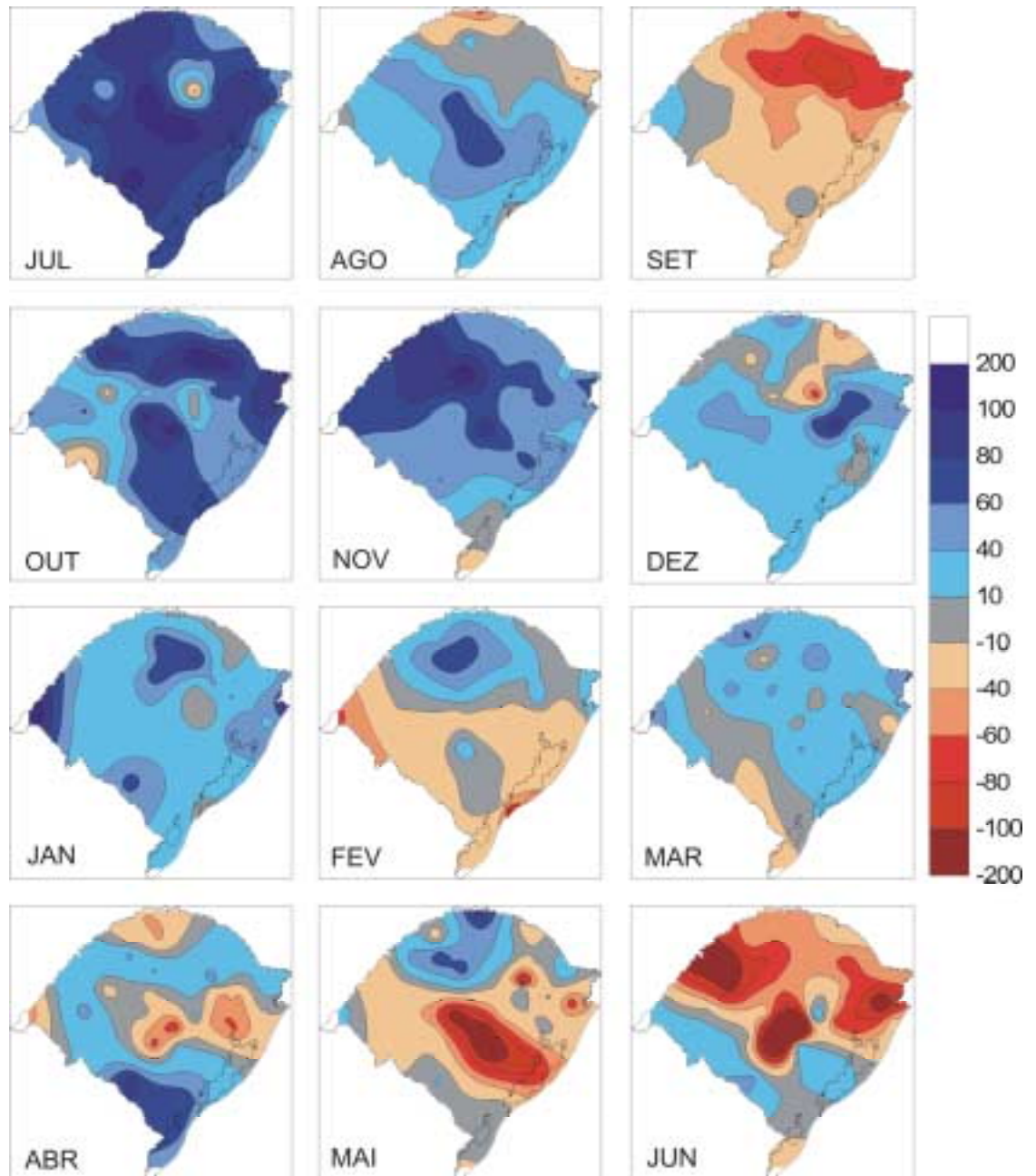


Figura 7. Anomalias de precipitação pluvial (mm) médias dos **anos de El Niño** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

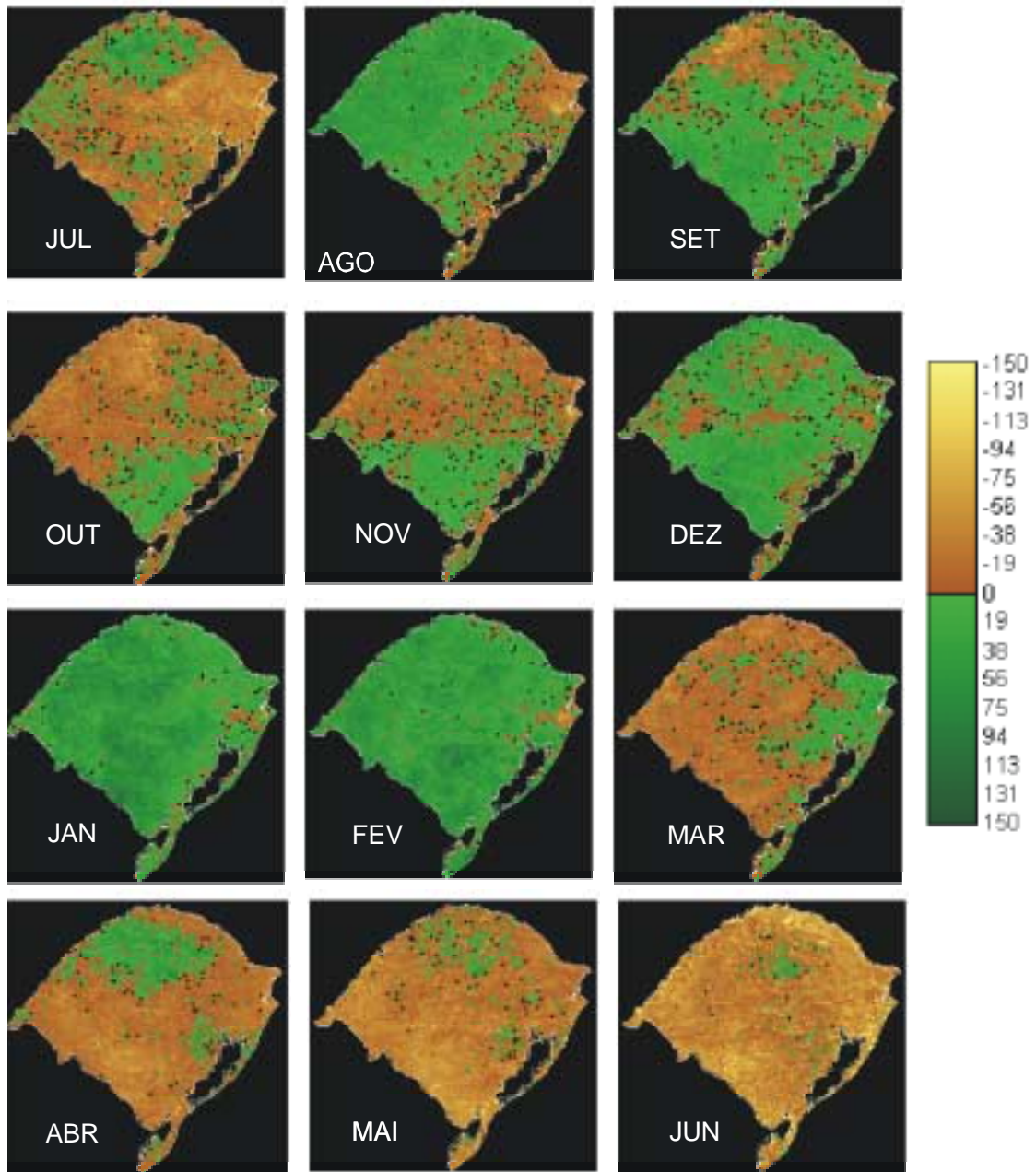


Figura 8. Anomalias de NDVI médio dos **anos de El Niño** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

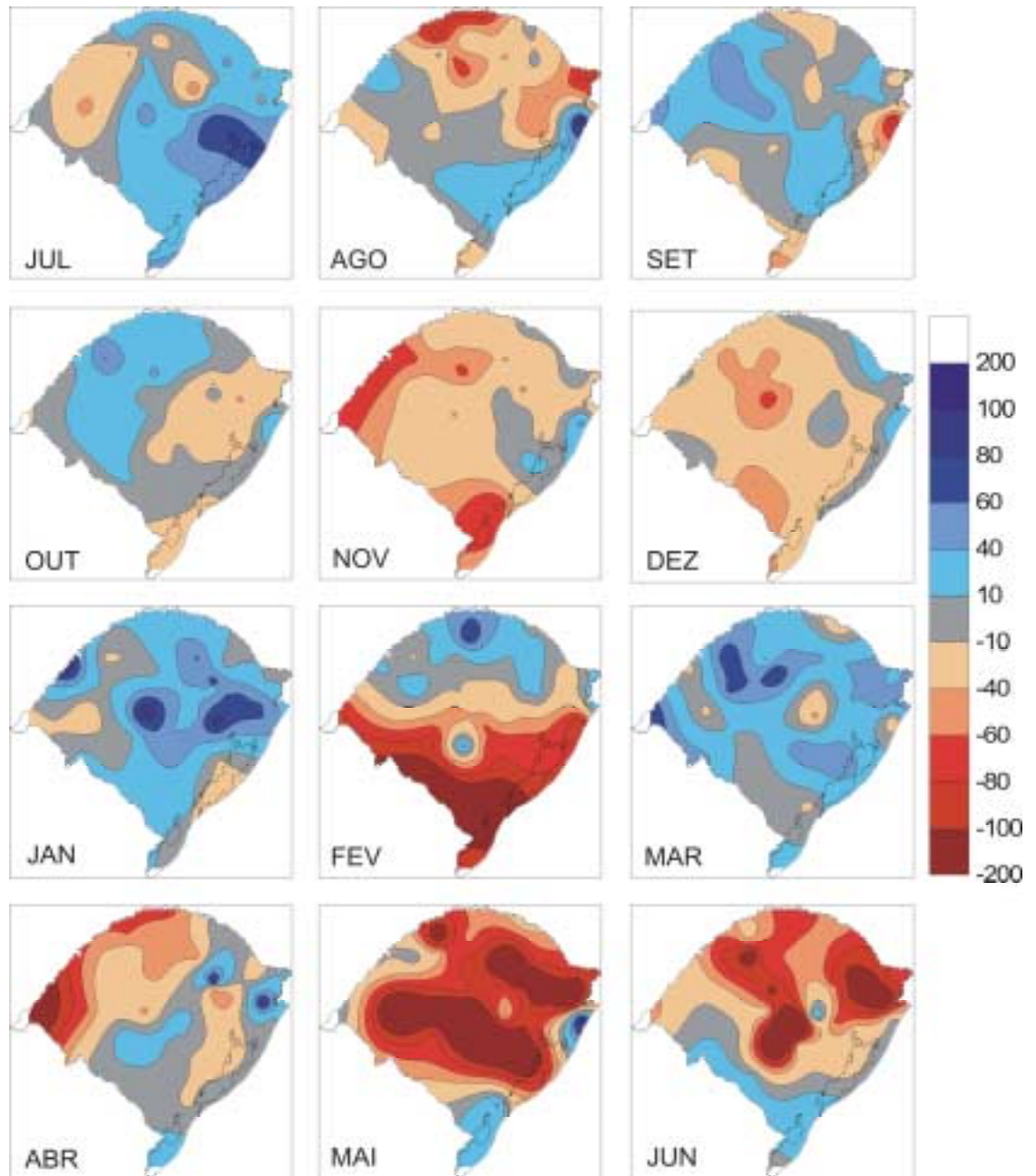


Figura 9. Anomalias de precipitação pluvial (mm) médias dos **anos de La Niña** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

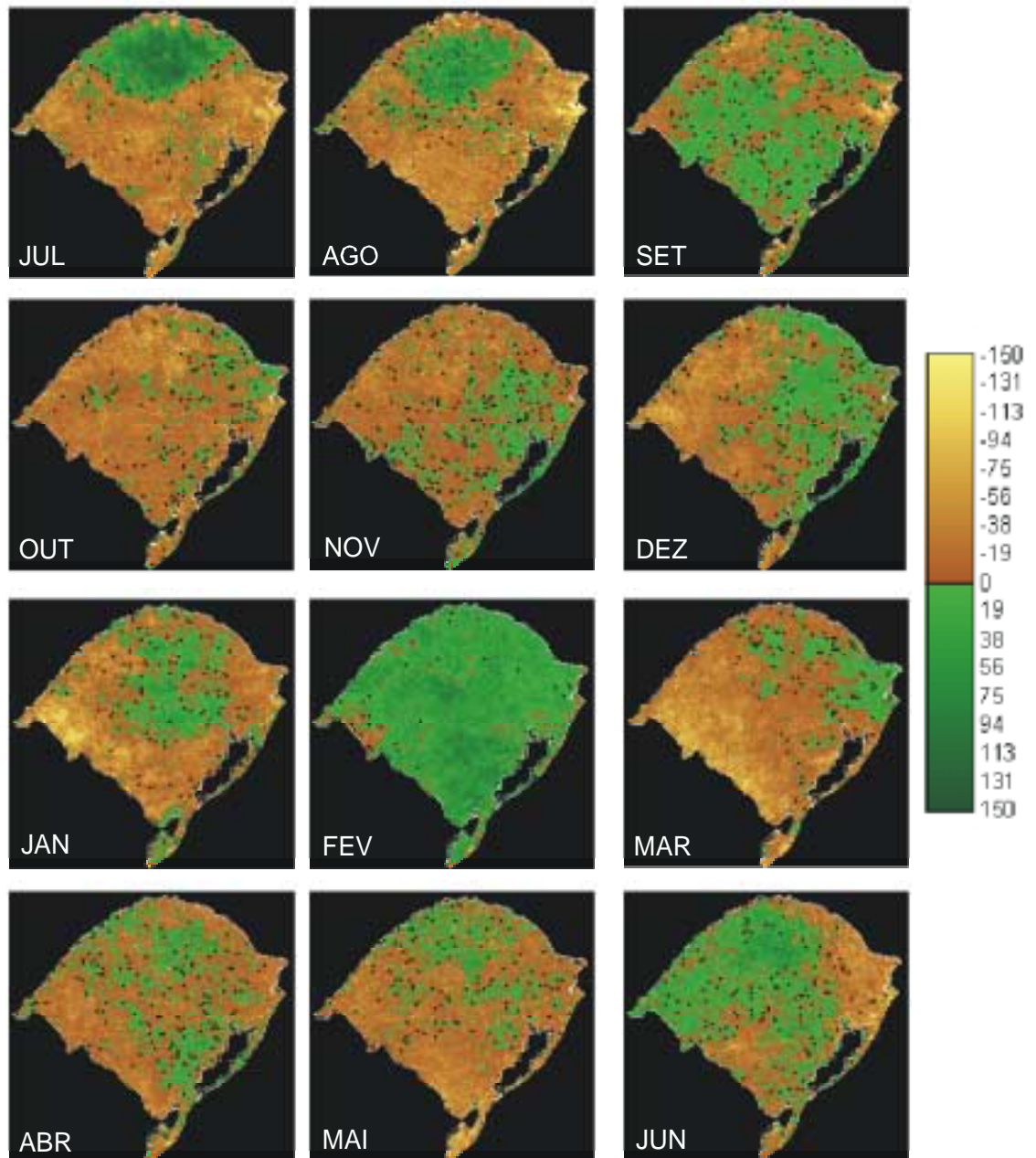


Figura 10. Anomalias de NDVI médio dos **anos de La Niña** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

de NDVI em todo o Estado, o que possivelmente seja consequência das anomalias positivas de precipitação pluvial verificadas no mês de janeiro.

A Tabela 5, mostra a percentagem de área do Estado com anomalias positivas e negativas de NDVI em todos os anos de ocorrência de El Niño, assim como para El Niño médio. Verificou-se, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em todos os anos de El Niño, uma predominância de anomalias positivas de NDVI, variando entre 50 a 96%, com exceção do El Niño de 1991-1992, quando no mês de dezembro somente 14% do Estado apresentou anomalias positivas. No El Niño de 1997-1998 as anomalias positivas de NDVI predominaram em quase todos os meses do ano, especialmente em janeiro e abril de 1998, quando 92 e 96% da área do Estado apresentaram anomalias positivas, respectivamente. Este ano foi caracterizado como o El Niño mais intenso do período de estudo, ou seja, o ano em que o Estado mais sofreu os impactos do El Niño, com precipitações pluviais muito acima da média. Segundo Dessay et al. (2001), Marengo (2001) e Teracines (2000) este ano de El Niño foi, também, considerado como o mais intenso do século.

Na Figura 11, observa-se que, no cenário de El Niño, existe uma oscilação entre as anomalias positivas e negativas de NDVI ao longo do ano no Estado. Os meses de agosto, dezembro, janeiro e fevereiro foram os que apresentaram anomalias positivas e no restante dos meses as anomalias negativas de NDVI predominaram. As maiores anomalias positivas ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro, atingindo 95% da área no Estado.

Em anos de La Niña (Tabela 6), verificou-se uma tendência de predominância de anomalias negativas de NDVI, em mais do que 50% do Estado ao longo do ano. Porém, não existe um ou mais meses em que a predominância de anomalias negativas se verifique em todos os anos de La Niña. O mês de fevereiro, entretanto, apresentou um padrão distinto, com predominância de anomalias positivas de NDVI em todos os anos, variando de 55% em 1984-1985 a 97% em 1998-1999. Na La Niña de 1998-1999 os impactos ocorreram somente a partir de março (mais tardio em relação aos anteriores), ou seja, com predominância de anomalias negativas. Isto possivelmente aconteceu por este ter sido um ano de pós-El Niño (1997-1998, o mais intenso do período de estudo).

Na Figura 12, observa-se que, para o cenário de La Niña, as anomalias negativas de NDVI predominam no Estado, em praticamente todo ano, ao contrário do observado para o cenário de El Niño. Os meses de setembro e fevereiro apresentaram um padrão diferente, ou seja, ocorreram anomalias positivas em 56 e 93% da área do Estado, respectivamente.

Tabela 5. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), em **anos de El Niño** (individuais e médio).

Mês	82-83		86-87		87-88		91-92		92-93		94-95		97-98		Médio	
	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg
JUL	32	66			7	93	91	8			2	98	57	41	29	68
AGO	48	49	70	28	75	23	62	35			2	98	73	25	75	22
SET	66	33	90	9	28	70	53	46			17	81	96	4	69	27
OUT	85	14	68	30	18	81	27	71			38	60	22	76	28	68
NOV	29	69	33	65	61	37	24	74			88	11	60	38	39	56
DEZ	76	23	60	38	69	29	14	85			88	11	86	13	76	21
JAN	50	48	86	13	83	16	94	5			83	16	92	8	95	5
FEV	70	28	81	18	96	4	78	20	83	17	89	10	72	27	95	4
MAR	54	42	35	64			24	74	7	93	80	18	72	27	26	71
ABR	10	89	38	60			24	74	8	92			96	4	24	74
MAI	17	82	38	59			12	87	3	96			59	39	10	88
JUN	42	56	19	79			21	77	2	98					5	94

Tabela 6. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), em **anos de La Niña** (individuais e médio).

Mês	84-85		88-89		95-96		98-99		99-00		Médio	
	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg	Pos	Neg
JUL			5	94			86	13	39	59	29	70
AGO			4	95			61	37	62	37	27	72
SET	3	97	34	64	73	26	86	13	83	16	56	41
OUT	38	60	37	60	59	38	82	16	1	99	16	81
NOV	28	69	47	50	20	79	54	44	56	41	28	67
DEZ	69	29	21	78	28	70	80	18	39	59	39	58
JAN	29	70	27	72	10	89	71	27	67	31	29	68
FEV	55	44	82	17	90	10	97	2	61	37	93	6
MAR	47	49	29	69	44	54	28	71	11	88	19	79
ABR	60	37	23	75			44	54			31	65
MAI	90	9	47	51			28	71	10	89	24	72
JUN	82	16	90	9			54	44	13	87	51	46

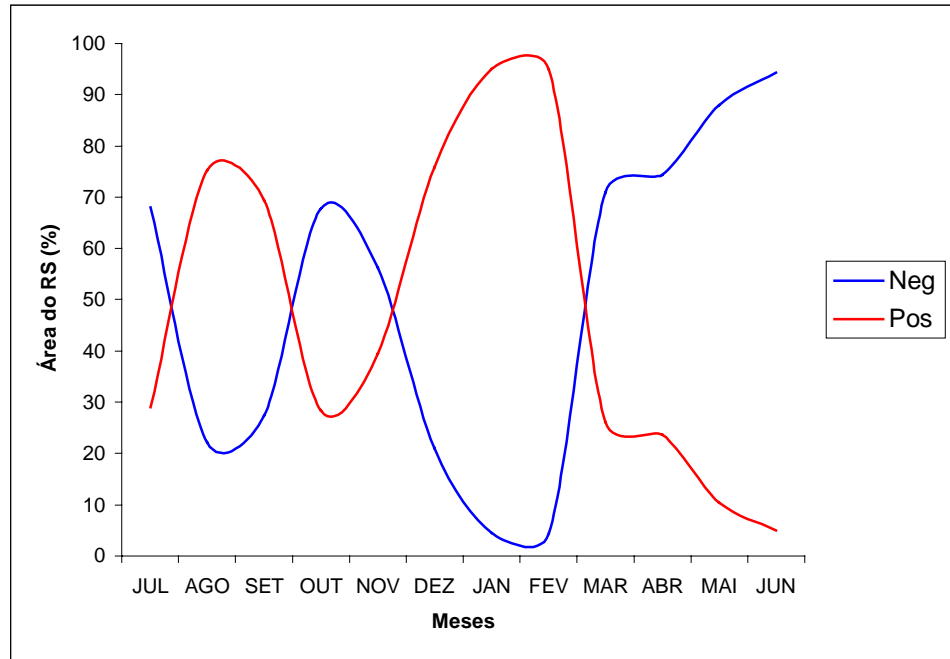


Figura 11. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), na **média dos anos de El Niño**.

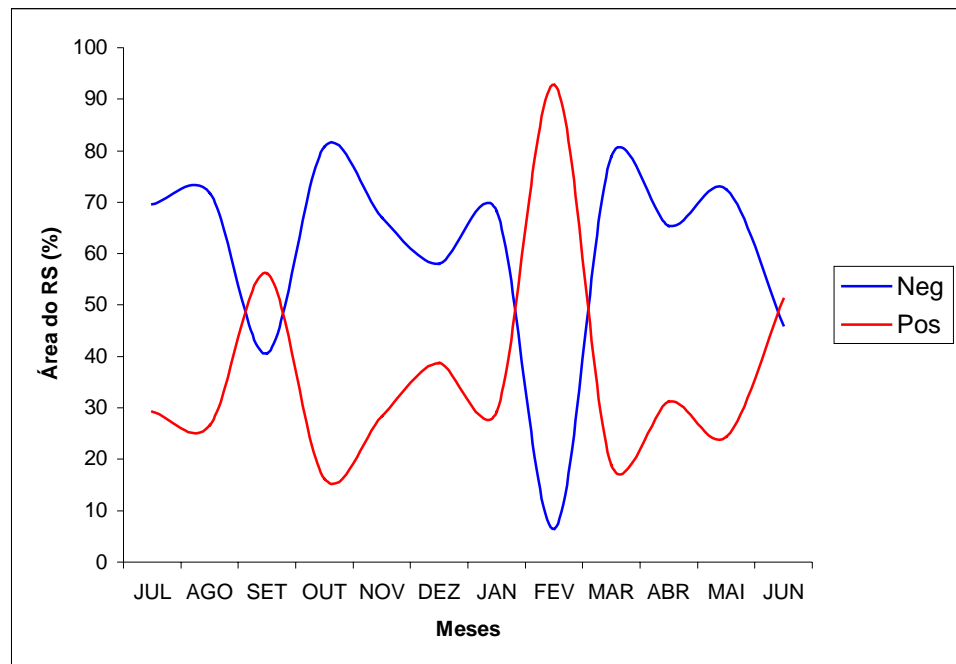


Figura 12. Área do território do Estado do Rio Grande do Sul com predominância de anomalias positivas (Pos) e negativas (Neg) de NDVI em percentagem (%), na **média dos anos de La Niña**.

2 – CONDIÇÕES MÉDIAS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E DO NDVI EM NÍVEL DE MACROZONAS

Nas Figuras 13 a 15 são apresentados para os anos neutros os ditos perfis espectrais, ou seja, a variação temporal do NDVI neste cenário. Esta pode ser entendida como a condição média das diferentes regiões, ainda que os valores observados tenham sido um pouco acima da normal climatológica em vários meses ao longo do ano. Os valores máximos mensais ocorreram em setembro (130 a 210 mm), fevereiro (150 a 200 mm) e maio (200 a 250 mm). Nestas mesmas figuras pode-se verificar que o padrão de evolução temporal de NDVI apresentou semelhanças entre as Macrozonas do Estado.

Em geral, em julho verificam-se os valores mínimos de NDVI (400 a 450), sendo que deste mês até setembro tem-se uma elevação contínua de NDVI, atingindo o primeiro nível máximo entre outubro e novembro (500 a 550). Em seguida, na maioria das Macrozonas, há um ligeiro declínio entre dezembro e janeiro e uma nova elevação até atingir o segundo nível máximo de NDVI entre fevereiro e março (de 550 a 600). A partir deste mês, observa-se novo declínio de NDVI, retornando em junho aos valores mínimos (de 400 a 450). A tendência geral observada, portanto, é dos valores de NDVI seguirem a curva de disponibilidade de radiação solar e de temperatura, ou seja, ambos apresentam valores máximos no verão e mínimos no inverno, em consequência da declinação solar. Durante o inverno, a menor disponibilidade de radiação solar aliada às freqüentes massas polares que avançam sobre o Estado, determinam a ocorrência de geadas. Estas, dependendo da intensidade, duração e época de ocorrência, podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da vegetação.

O padrão descrito é, entretanto, alterado, na maior parte das Macrozonas, pela redução no NDVI nos meses de dezembro e janeiro. Possivelmente isto ocorra devido à restrição ao crescimento das plantas em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera, muito alta no período. Esta hipótese tem suporte em trabalhos como o de Ávila et al. (1996); Matzenauer et al. (1998); Puchalski (2000); Matzenauer (2001), os quais mostraram que, em condições normais, em todo o Estado do Rio Grande do Sul, e mais intensamente na metade Sul, é freqüente a ocorrência de deficiência hídrica.

Planalto

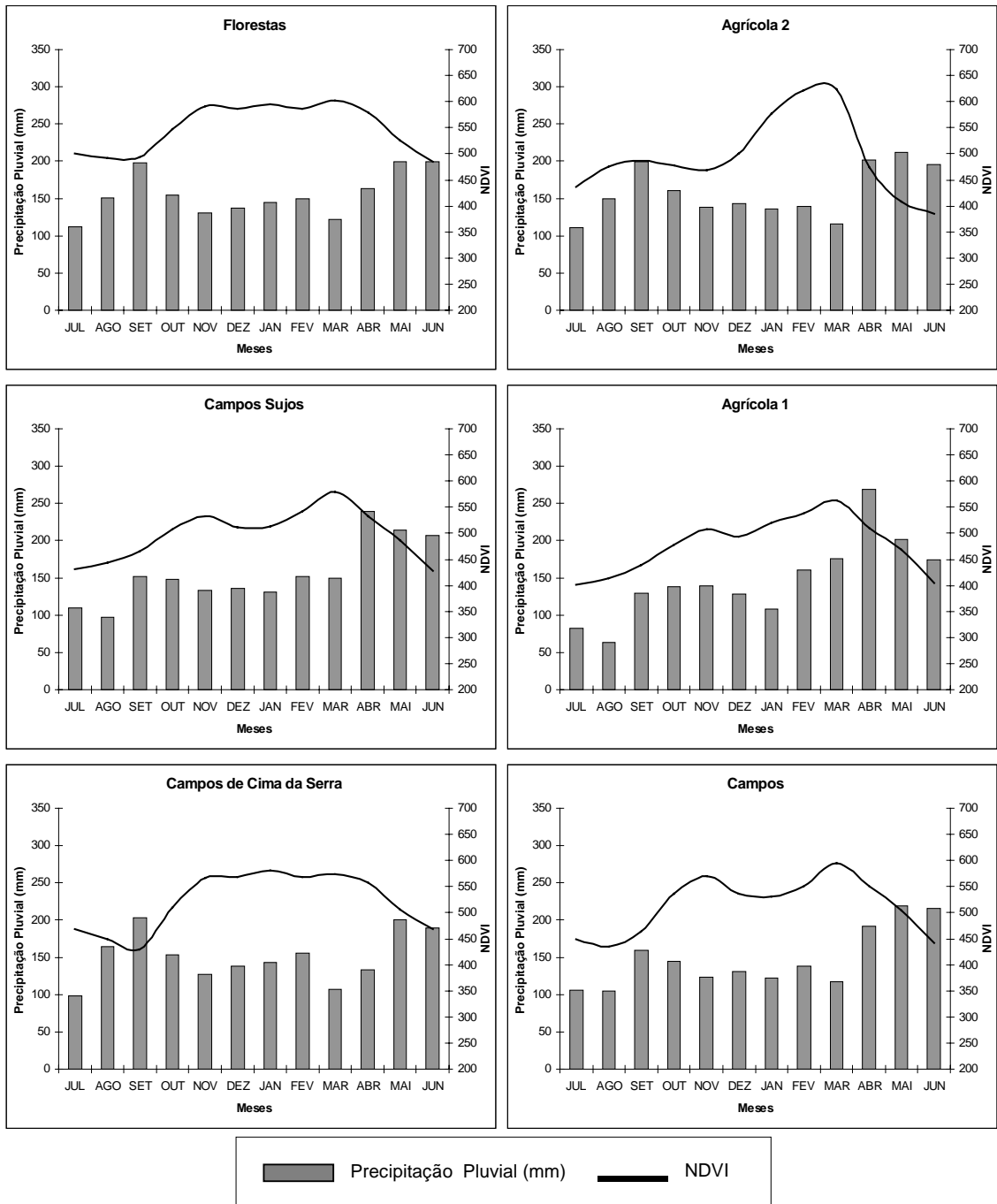
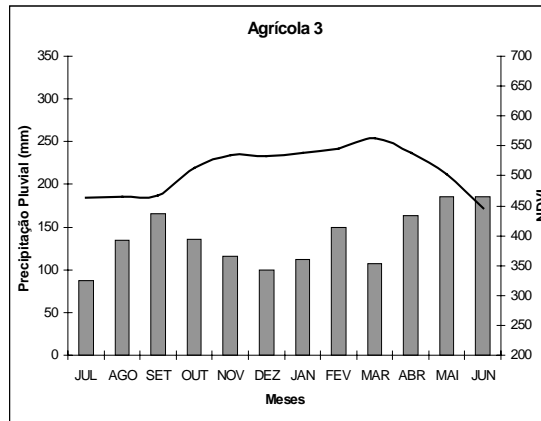
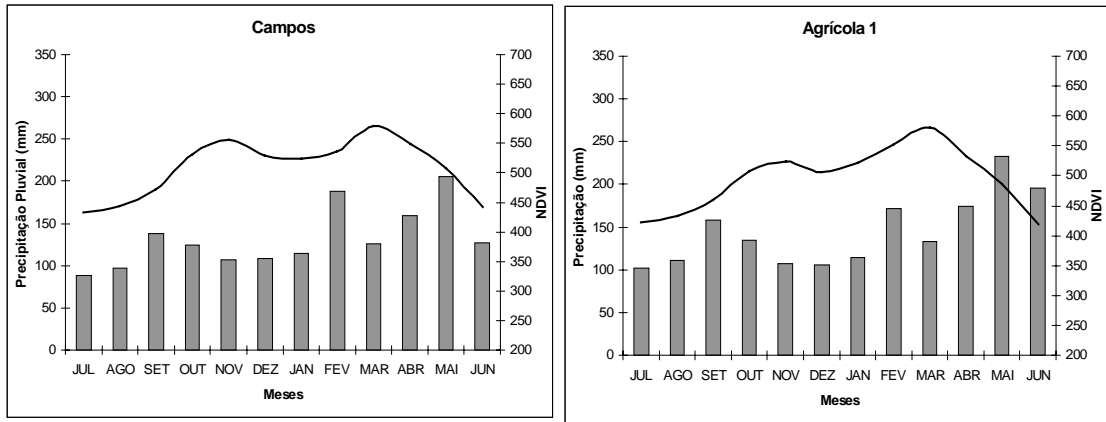


Figura 13. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do **Planalto** do Estado do Rio Grande do Sul em anos neutros.

Depressão Central



Planície Costeira

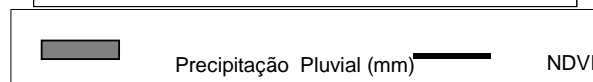
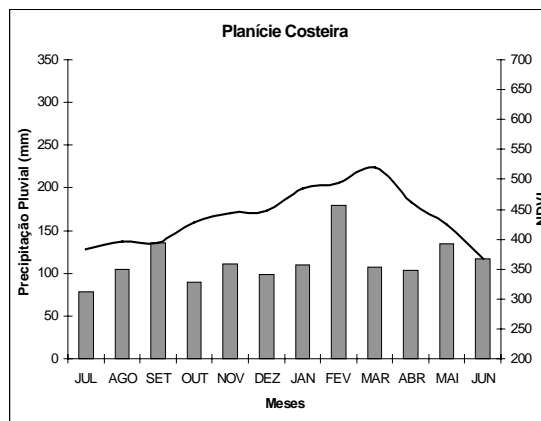
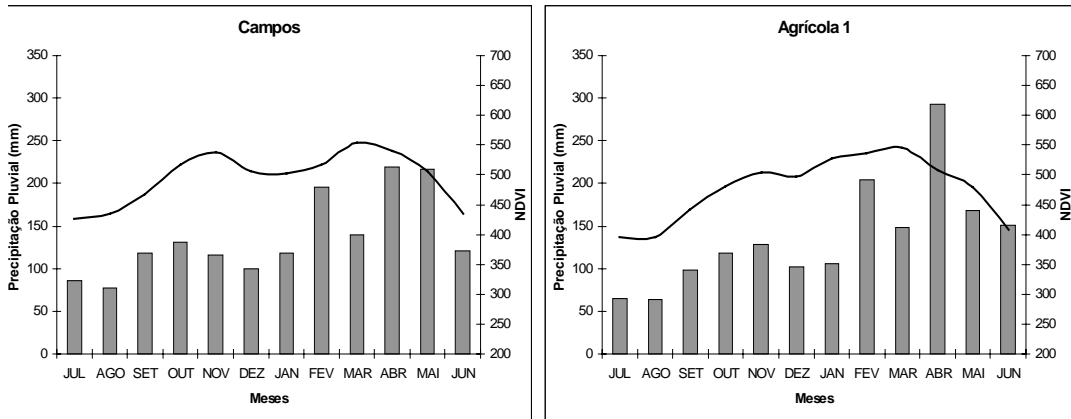


Figura 14. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Depressão Central e Planície Costeira** do Estado do Rio Grande do Sul em anos neutros.

Cuesta de Haedo



Escudo Sul-rio-grandense

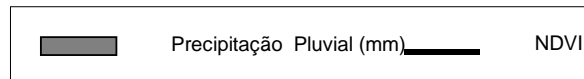
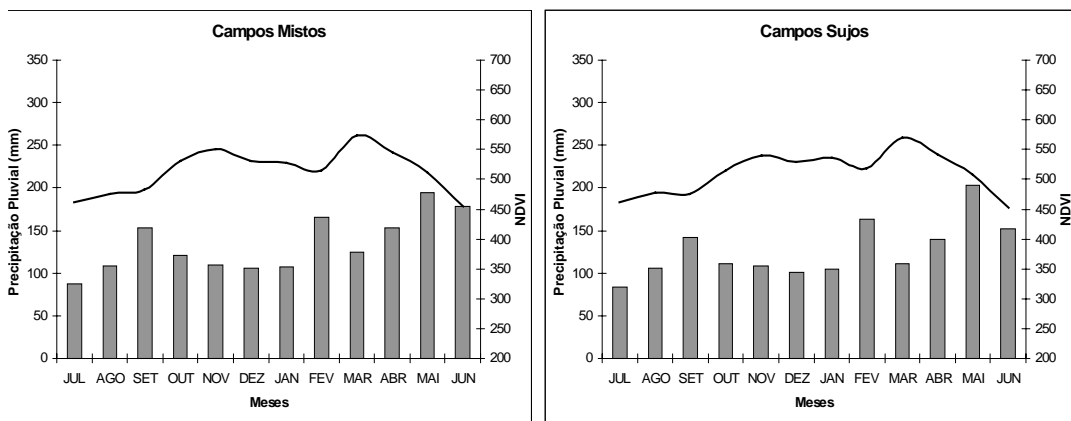


Figura 15. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul em anos neutros.

Neste período salienta-se, ainda, as variações no padrão de evolução temporal do NDVI que ocorreram na Macrozona Agrícola 2 da UG do Planalto (Figura 13), atingindo um único nível máximo de NDVI (entre 600 a 650) em fevereiro e março; na UG da Planície Costeira (Figura 14), apresentando um padrão de evolução temporal semelhante ao anterior, porém com valores de NDVI inferiores; na Macrozona de Florestas e Campos de Cima da Serra da UG do Planalto (Figura 13), apresentando um único nível máximo de NDVI oscilando entre 550 a 600, sendo que, neste caso, a duração foi maior, de outubro a abril. Nas duas primeiras Macrozonas este padrão é consequência do intenso crescimento vegetal das culturas anuais, enquanto que as duas últimas estão localizadas na região mais chuvosa do Estado.

Nas Figuras 16, 17 e 18 observa-se que a precipitação pluvial em todas as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul, foi maior em anos de El Niño do que em anos de La Niña, na maior parte do ano. As maiores diferenças ocorrem nos meses de outubro, novembro e dezembro, o que está de acordo com outros trabalhos realizados no Estado, como de Fontana e Berlato (1997), Grimm e Sant'Anna (2000) e Puchalski (2000). Verificou-se, neste período, uma defasagem na resposta do NDVI à precipitação pluvial, visto que o aumento da precipitação pluvial nos meses de outubro, novembro e dezembro acarretou um aumento de NDVI nos meses de novembro, dezembro e fevereiro. Em anos de El Niño foram observados valores maiores de NDVI também no inverno e início da primavera. Neste período, os incrementos no NDVI, possivelmente não seja consequência de alterações no regime de precipitação pluvial, mas sim no regime de temperatura. Lopes e Berlato (2001) verificaram a ocorrência de temperaturas mínimas inferiores associadas a La Niña, o que pode estar associado a maior frequência de ocorrência de geadas que comprometem o crescimento vegetal. Já, a evolução temporal de NDVI para o restante do período foi similar para os dois cenários, assim como para os anos neutros.

Em particular as Macrozonas da UG Cuesta do Haedo e da UG Escudo Sul-rio-grandense (Figura 18), apresentaram valores de NDVI mais altos em anos de El Niño do que em anos de La Niña, no período de julho a março, tendo as maiores diferenças de NDVI ocorrido entre os dois cenários em dezembro e janeiro. Já as menores diferenças ocorreram na Macrozona

Planalto

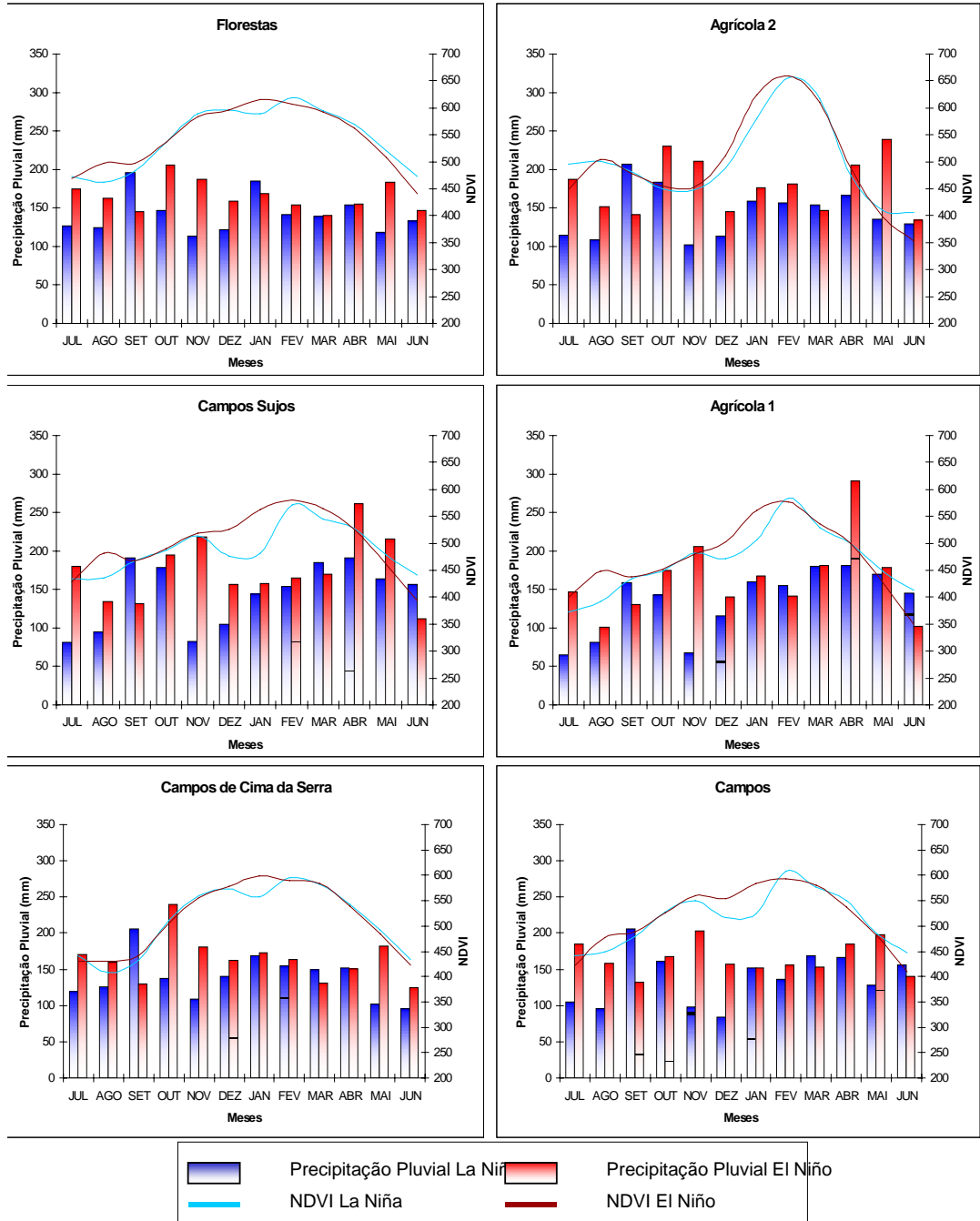
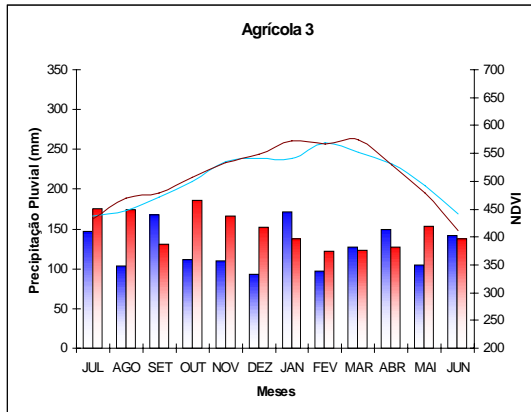
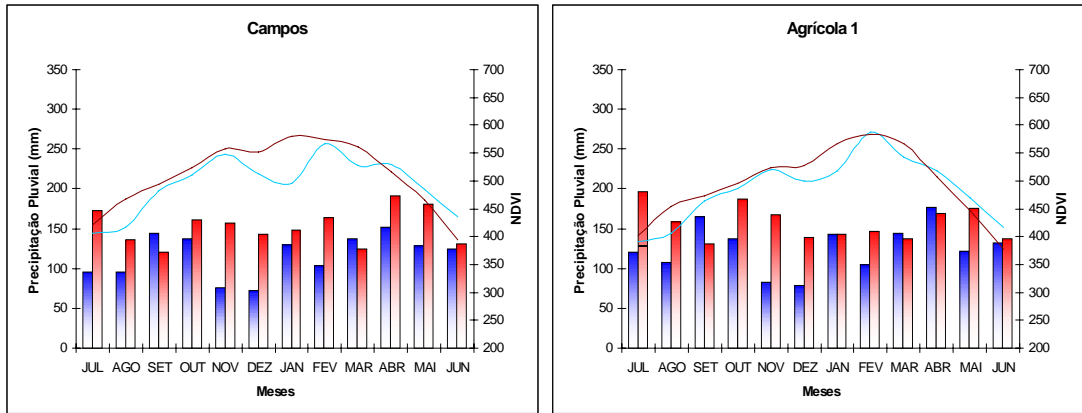


Figura 16. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do **Planalto** do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.

Depressão Central



Planície Costeira

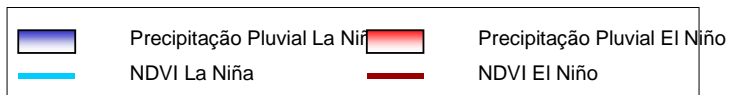
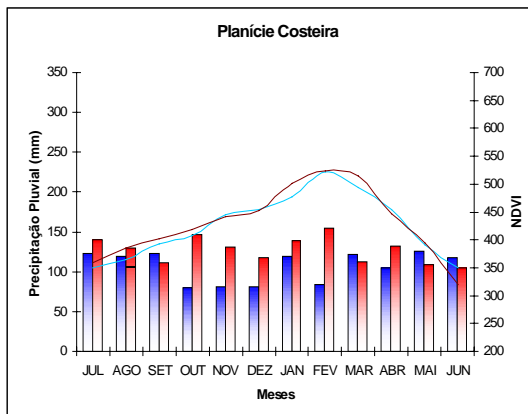
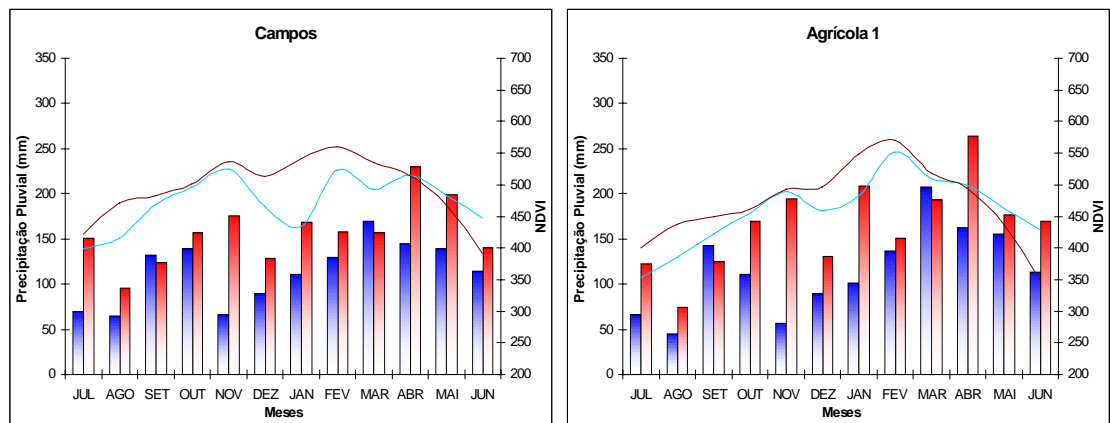


Figura 17. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Depressão Central** e **Planície Costeira** do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.

Cuesta de Haedo



Escudo Sul-rio-grandense

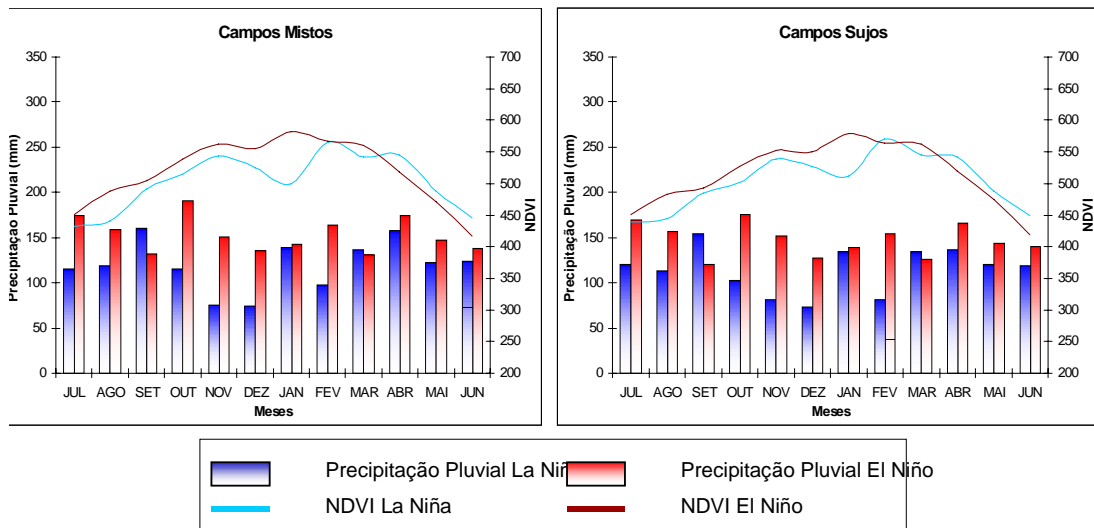


Figura 18. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.

Floresta da UG Planalto (Figura 16), região com alta precipitação pluvial, mesmo em anos de La Niña, na UG Planície Costeira (Figura 17), composta por regiões de dunas, culturas diversas e arroz irrigado e, por fim, na Macrozona Agrícola 3 da UG da Depressão Central (Figura 17), onde o tipo de uso e cobertura é altamente diversificado.

Semelhanças foram observadas entre as Macrozonas caracterizadas por intenso uso agrícola, sendo que a Macrozona Agrícola 2 da UG Planalto (Figura 16) foi a que apresentou os maiores valores de NDVI (em torno de 650)

e com maior duração temporal, o que está associado a um maior volume de produção e do rendimento em anos de El Niño.

Também foram encontradas semelhanças nas regiões caracterizadas por campos. De maneira geral, o NDVI acompanhou a disponibilidade da radiação solar, com valores máximos, em torno de 550, ocorrendo logo após o solstício de verão e mínimos, em torno de 400, ocorrendo logo após o solstício de inverno. Em anos de El Niño, devido ao aumento da precipitação pluvial, os campos se caracterizaram por um contínuo aumento de NDVI, até atingir seu máximo no mês de fevereiro (entre 550 a 600). Em anos de La Niña, acentuam-se dois picos de máximo NDVI: o primeiro entre outubro e novembro (entre 500 a 550) e o segundo em fevereiro (entre 550 a 600), devido à restrição de água que ocorre pela diminuição da precipitação pluvial nos meses de outubro e novembro, principalmente.

Nestas Macrozonas (campos), em anos de La Niña ocorreram as maiores reduções, em relação às outras Zonas de Uso e Cobertura do Solo, mostrando alta sensibilidade à falta de água, principalmente nos meses de dezembro e janeiro. A Macrozona Campos de Cima da Serra da UG Planalto apresentou as menores diferenças em NDVI entre os dois cenários. Já, as maiores diferenças em NDVI foram observadas na UG Cuesta de Haedo, que pode ser atribuído às maiores reduções na precipitação pluvial e à presença de solos rasos nesta região. A UG Escudo Sul-rio-grandense apresentou diferenças intermediárias de NDVI em relação aos anteriores.

Analisando os perfis espectrais em cada região, observa-se que existe um padrão consistente de evolução do NDVI, ou seja, o padrão dos anos neutros se confirmou em todas as regiões, tanto em anos de El Niño como de La Niña, variando somente a amplitude. Estes resultados apontam a possibilidade de utilizar imagens do satélite NOAA para compor um sistema de monitoramento do crescimento e desenvolvimento da vegetação em nível regional, emitindo alertas sempre que as condições forem adversas.

Nas Figuras 19, 20 e 21, é apresentada a variabilidade do NDVI (valores máximo, médio e mínimo) em anos de El Niño, neutros e de La Niña para as Macrozonas do Estado, mas somente para a média entre dezembro e janeiro (meses com maiores anomalias no NDVI). Verifica-se que a menor variabilidade e os mais altos valores mínimos, médios e máximos de NDVI

Planalto

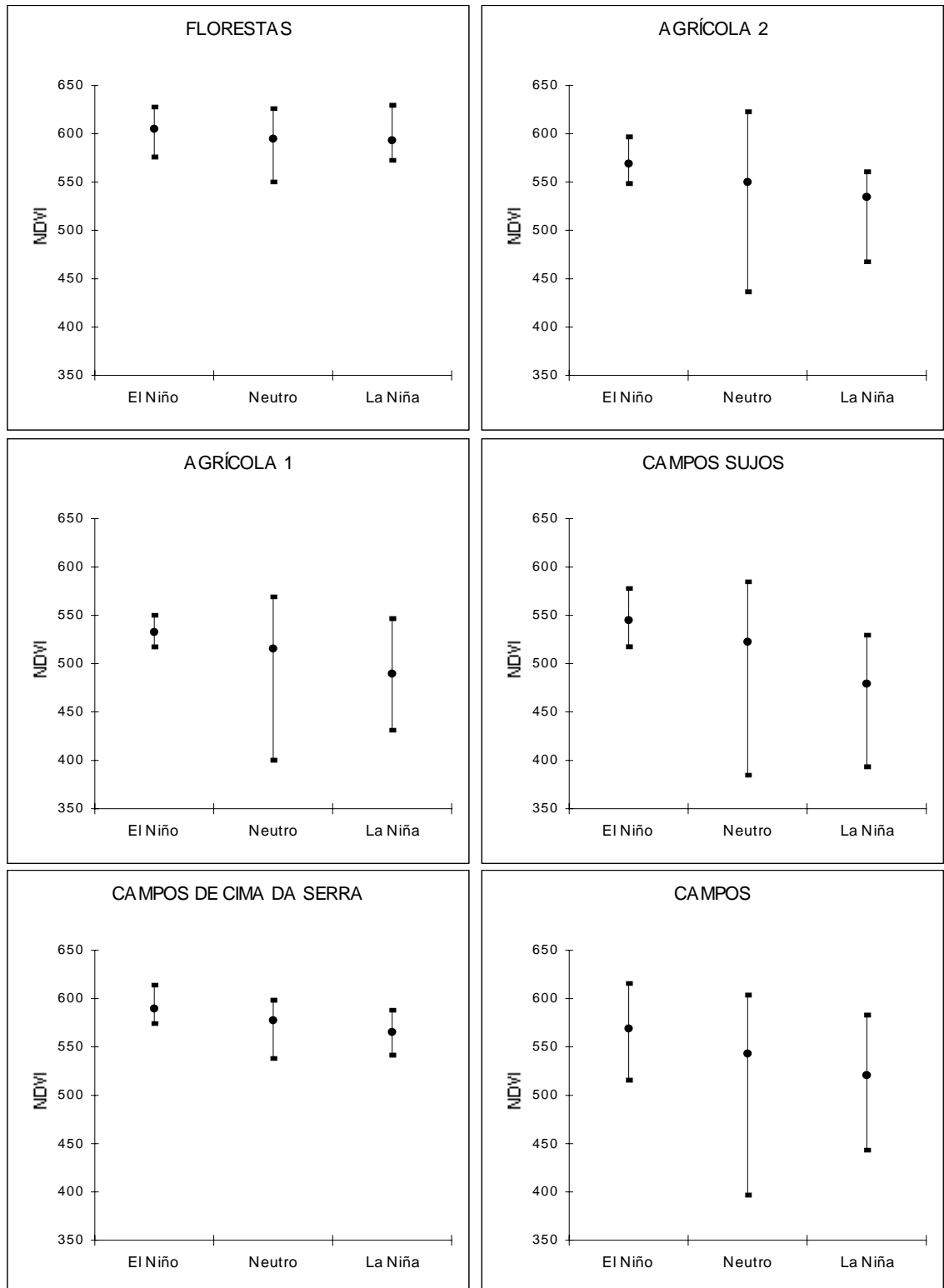


Figura 19. Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do **Planalto** do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

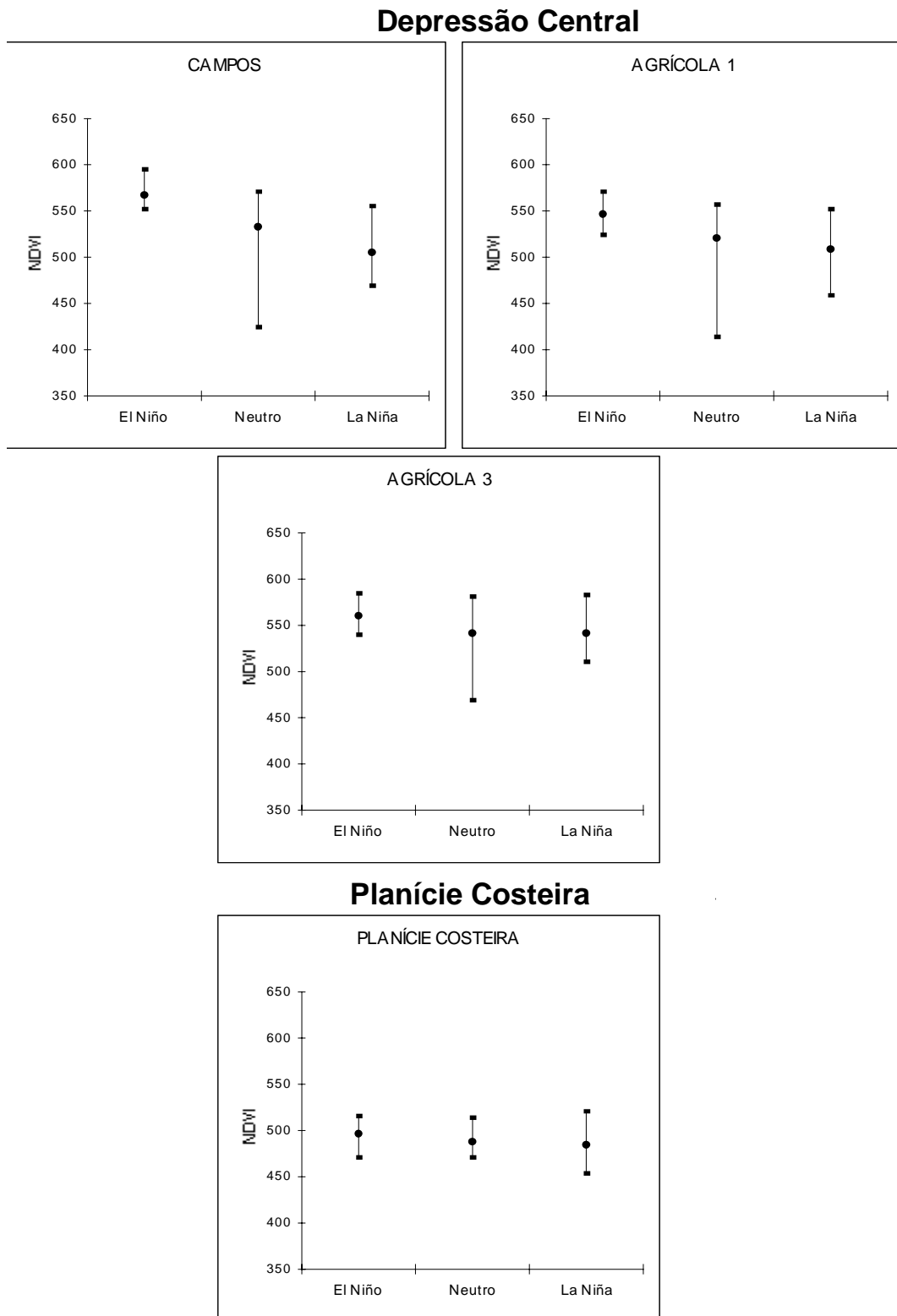


Figura 20. Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Depressão Central** e **Planície Costeira** do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

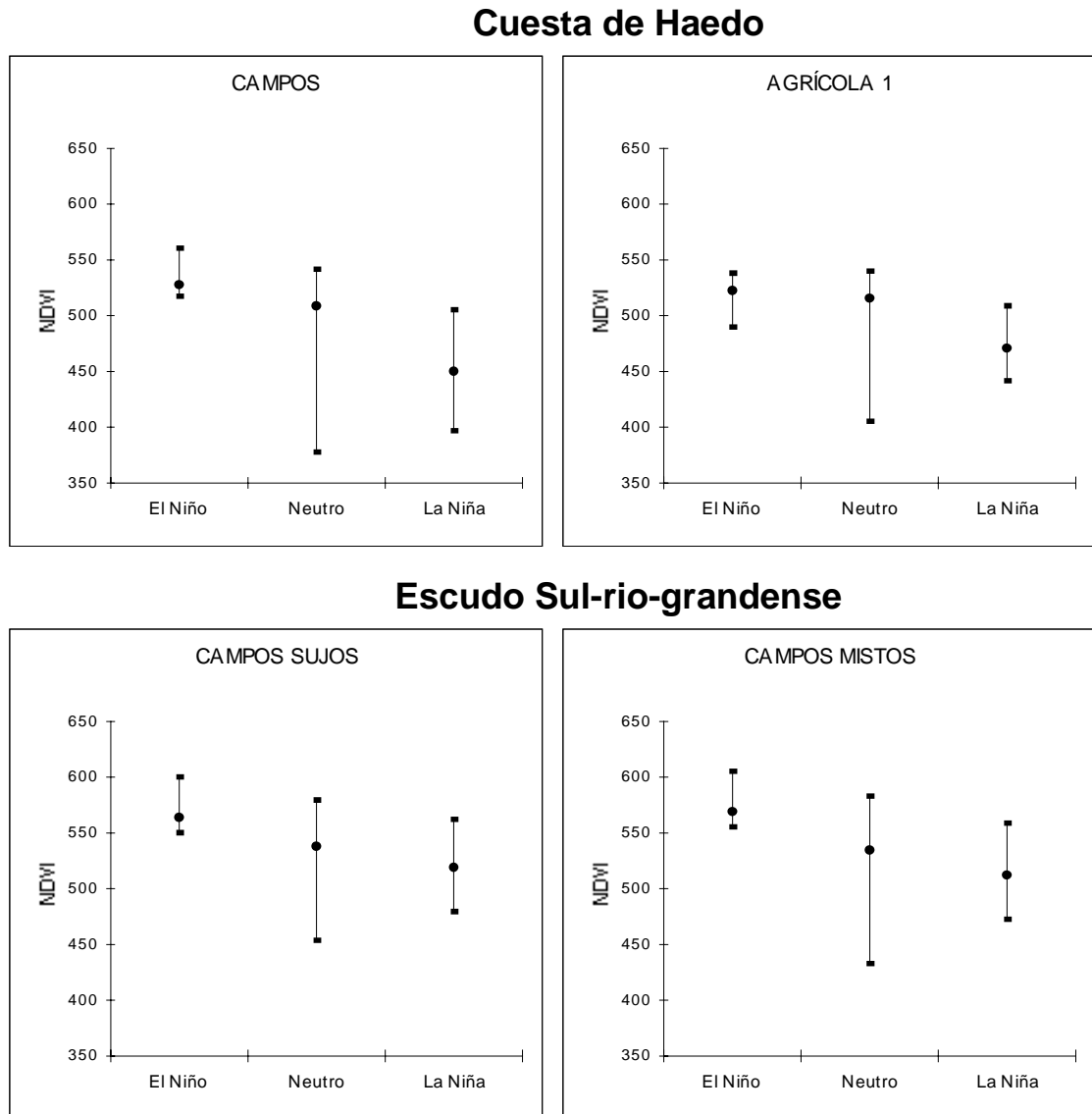


Figura 21. Valores máximos, médios e mínimos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio de dezembro e janeiro associado ao El Niño, La Niña e neutro para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

foram encontrados nos anos de El Niño em quase todas as Macrozonas. A menor amplitude (entre os valores máximo e mínimo, 550 e 517) ocorreu na Macrozona Agrícola 1 da UG Planalto e o mais alto valor máximo ocorreu na Macrozona de Florestas da mesma UG (Figura 19).

A variabilidade do NDVI em anos de La Niña foi intermediária, enquanto que os anos neutros foram os que apresentaram as maiores variabilidades, atingindo amplitudes de até 207 (Macrozona Campos Sujos da UG Planalto). Isto é esperado na medida que a maior parte dos trabalhos realizados no Estado, que analisaram a associação entre este fenômeno e precipitação pluvial, mostraram que os anos neutros são os que apresentam maior variabilidade interanual.

De todas as UG, as Macrozonas caracterizadas por campos foram as que tiveram maior variabilidade no NDVI para os três cenários, com exceção da Macrozona Campos de Cima da Serra (Figura 19) que, juntamente com as Macrozonas Florestas (Figura 19) e Planície Costeira (Figura 20), foram as que apresentaram as menores variabilidades no NDVI para os três cenários.

3 - ESTUDO DE CASOS EXTREMOS EM NÍVEL ESTADUAL

Neste item foram analisados os casos de El Niño de 1997-1998 e La Niña de 1988-1989, por serem os mais fortes eventos do período de estudo, segundo Mota (2000), Marengo (2001) e CPC-NCEP-NOAA (2002).

Verificou-se um padrão semelhante ao observado no estudo das condições médias, mas com aumento da intensidade de resposta, tanto para precipitação pluvial como para NDVI. Quanto ao El Niño de 1997-1998 (Figura 22), a precipitação pluvial apresentou anomalias negativas somente nos meses de setembro e maio, sendo que nos meses de outubro, novembro e dezembro, as anomalias positivas foram as mais intensas do ano e, também, mais intensas em relação à condição média do El Niño. Isto justificou a forte presença de cobertura vegetal nos meses imediatamente posteriores, durante o evento em todo o Estado do Rio Grande do Sul (Figura 23). As anomalias positivas de NDVI predominaram em quase todos os meses do ano, abrangendo entre 57 e 96 % da área do Estado (Tabela 5). O Mês de exceção foi outubro, quando somente 22% da área do Estado mostrou anomalias positivas de NDVI.

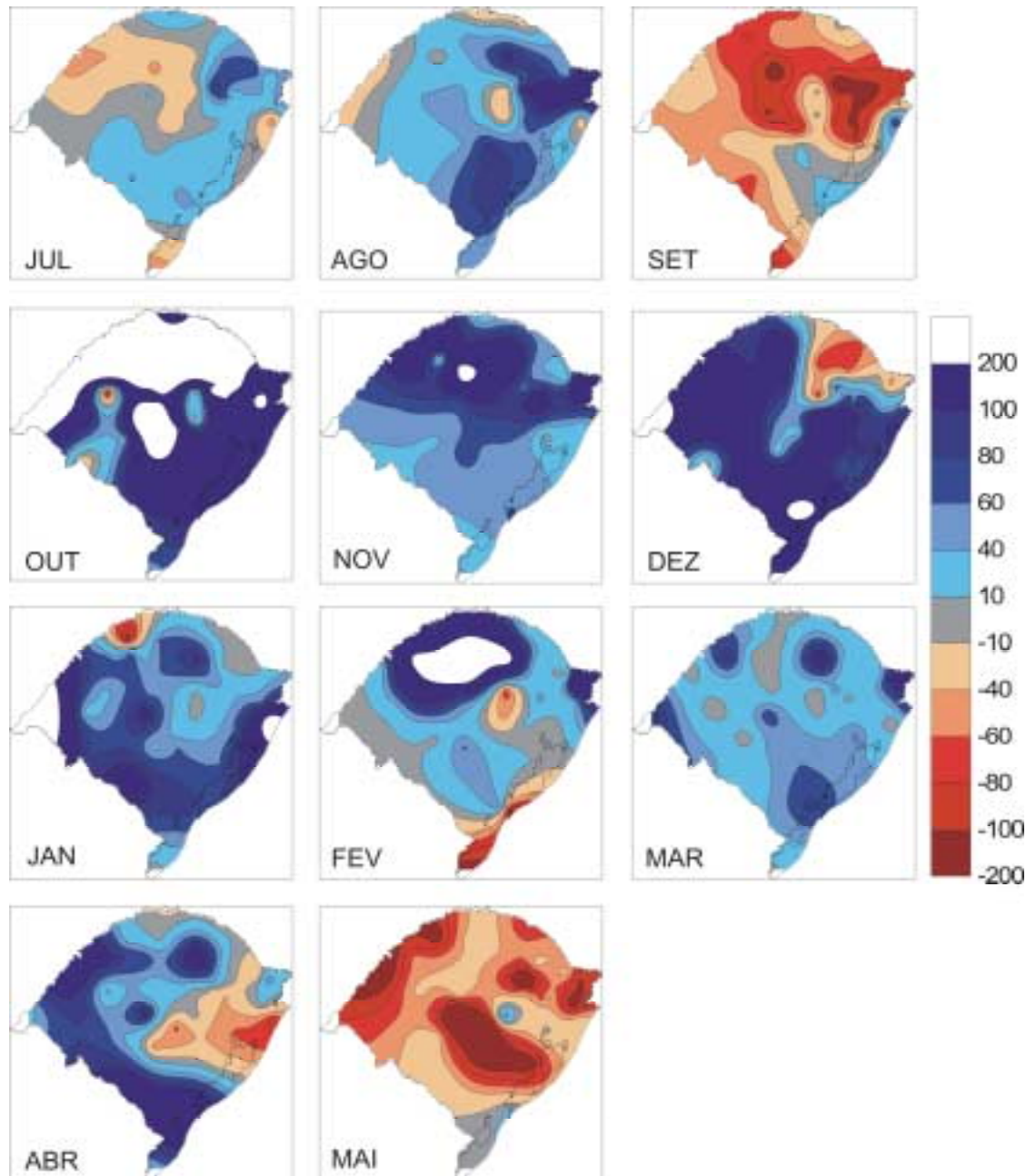


Figura 22. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **EI Niño de 1997-1998** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

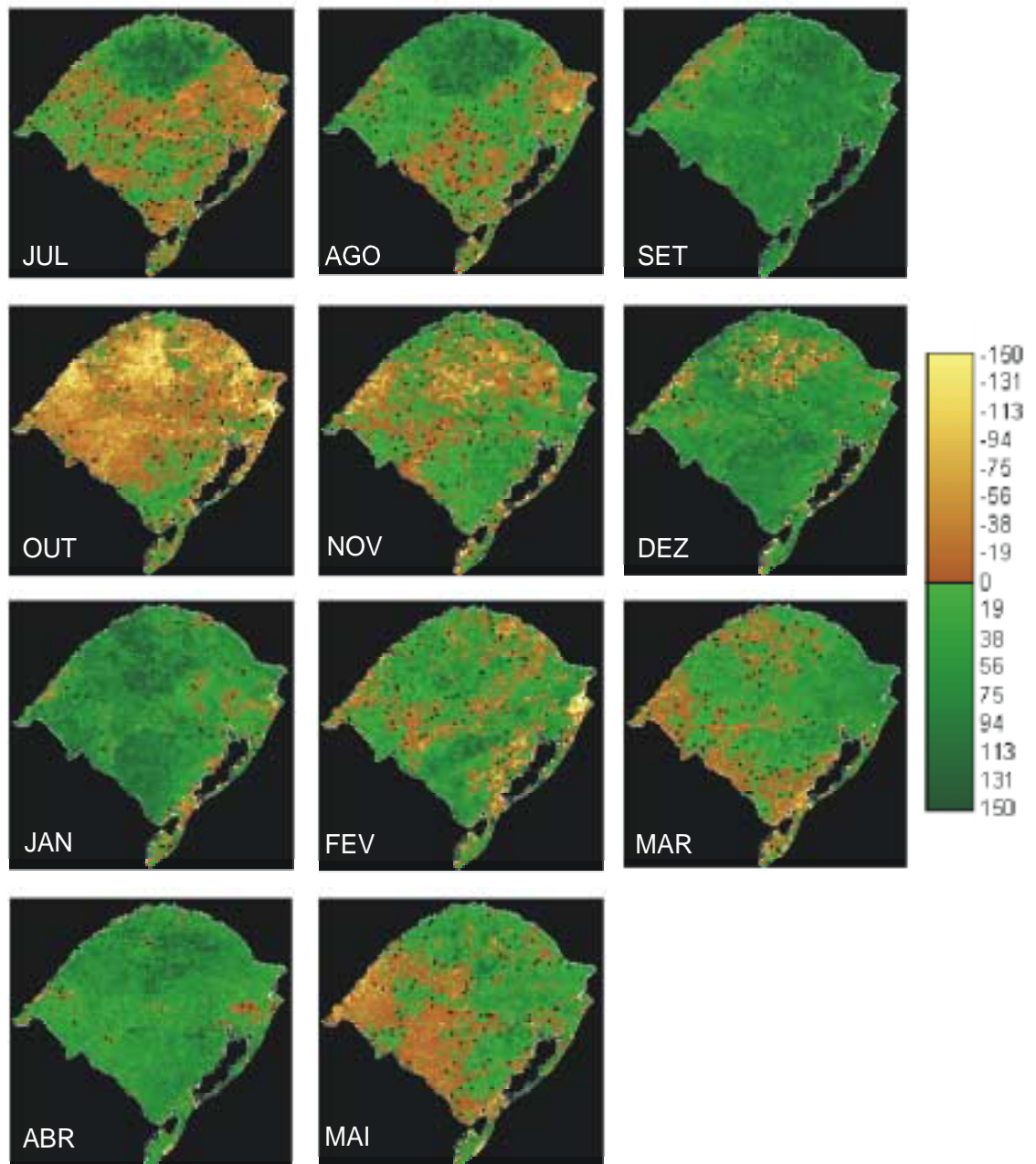


Figura 23. Anomalias de NDVI no Estado do Rio Grande do Sul durante o **El Niño de 1997-1998**. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

Resultados semelhantes para este ano de El Niño foram encontrados por Dessay et al. (2001) em regiões de florestas, cerrado e caatinga. Anyamba et al. (2001) também verificaram anomalias positivas ao longo deste ano, para o continente Africano.

Já para a La Niña de 1988-1989, a precipitação pluvial se manteve abaixo da média dos anos neutros, na maioria dos meses. As exceções foram os meses de setembro de 1988 e janeiro de 1989, quando em praticamente todo o Rio Grande do Sul foram observadas anomalias positivas (Figura 24). A predominância de anomalias negativas também foi verificada nas imagens de NDVI (Figura 25), principalmente em julho (94%) e agosto de 1988 (95%), e também, de dezembro de 1988 a abril de 1989. A área do Estado com anomalias negativas foi de 78%, 72%, 69% e 75% para os meses de dezembro de 1988, janeiro, março e abril de 1989, respectivamente (Tabela 6). As exceções foram os meses de fevereiro (17%) e junho (9%). As anomalias negativas de NDVI durante o inverno possivelmente seja consequência das menores temperaturas mínimas associadas a La Niña (Lopes e Berlato, 2001), enquanto que a redução na precipitação pluvial seja o efeito predominante durante o verão.

As regiões oeste e sudoeste do Estado foram as mais afetadas, principalmente de dezembro a abril, com as anomalias mais negativas, o que é consequência das maiores anomalias negativas de precipitação pluvial, associada à predominância de solos rasos com baixa capacidade de armazenamento, tornando as plantas mais suscetíveis às estiagens.

Comparado aos demais anos de ocorrência de El Niño e La Niña (Apêndices 10 a 31), 1997-1998 e 1988-1989 foram os dois eventos que determinaram os maiores impactos tanto na precipitação pluvial como no NDVI no Estado do Rio Grande do Sul.

4 – ESTUDO DE CASOS EXTREMOS EM NÍVEL DE MACROZONAS

Os perfis espectrais para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul observados durante o El Niño de 1997-1998 e a La Niña de 1988-1989 são mostrados nas Figuras 26, 27 e 28. Verifica-se que a evolução temporal do NDVI para a maioria das Macrozonas confirmou o padrão observado nos cenários médios de El Niño e La Niña. A diferença fundamental se deu na

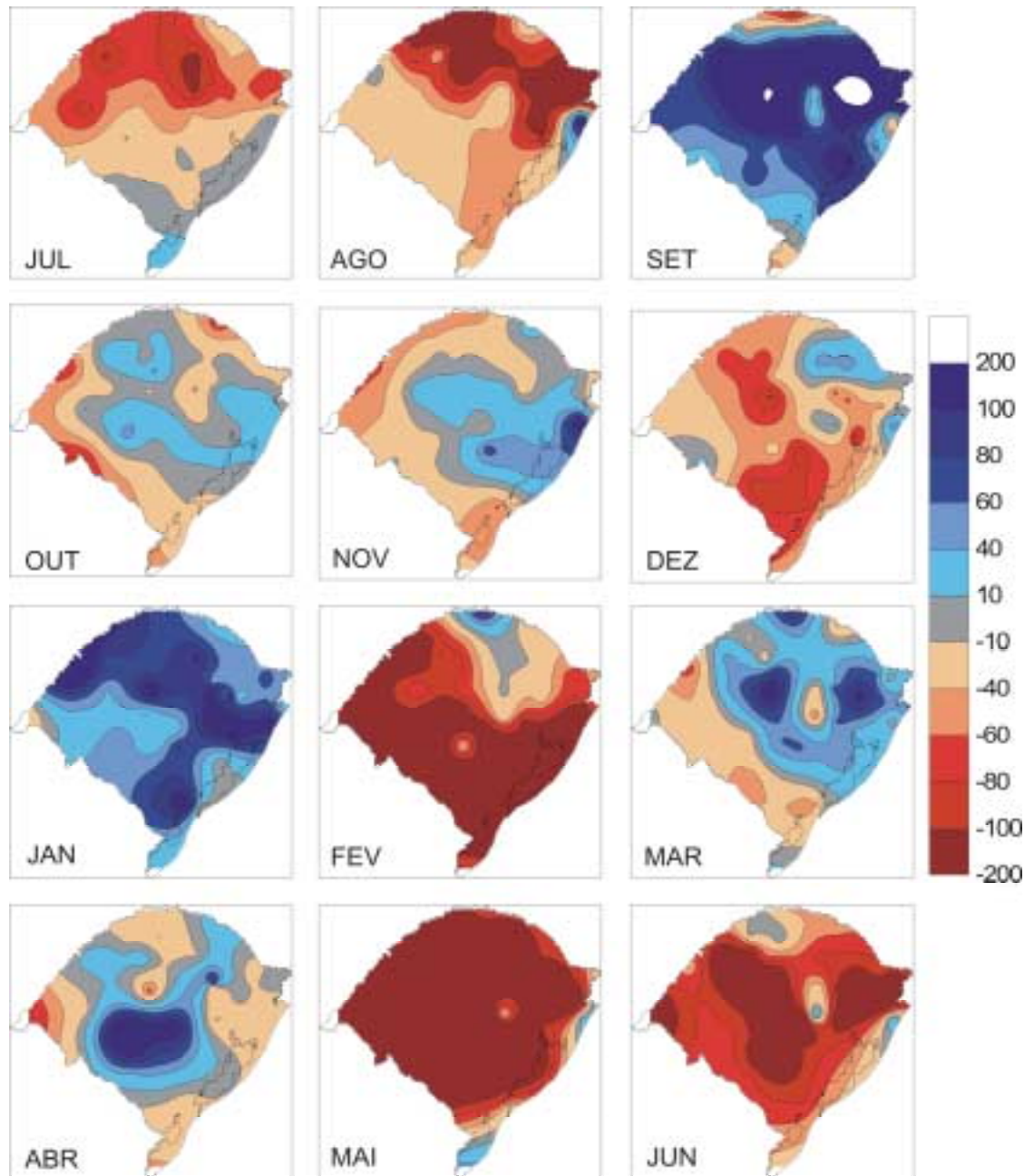


Figura 24. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **La Niña de 1988-1989** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

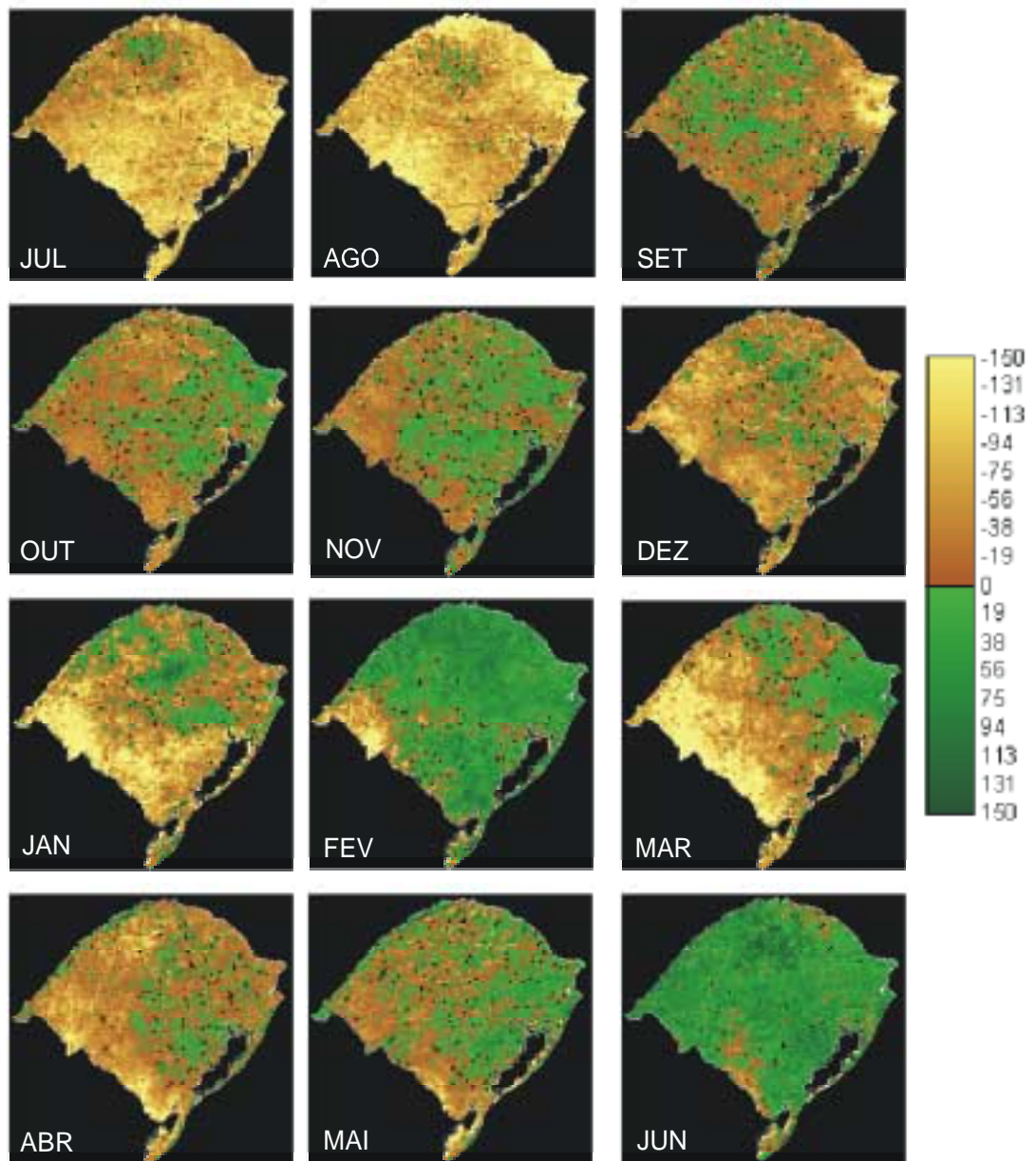


Figura 25. Anomalias de NDVI no Estado do Rio Grande do Sul durante a **La Niña de 1988-1989**. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

Planalto

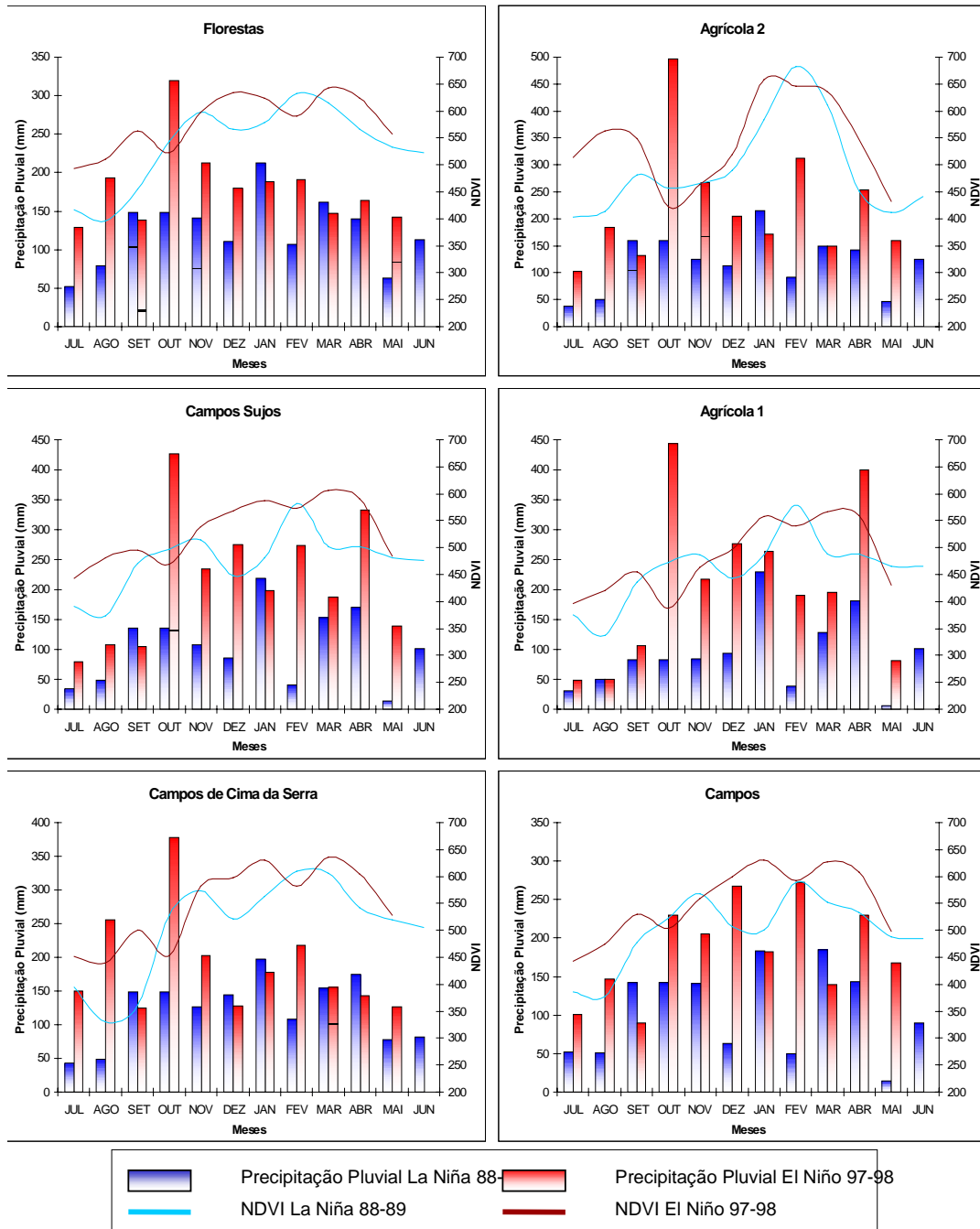
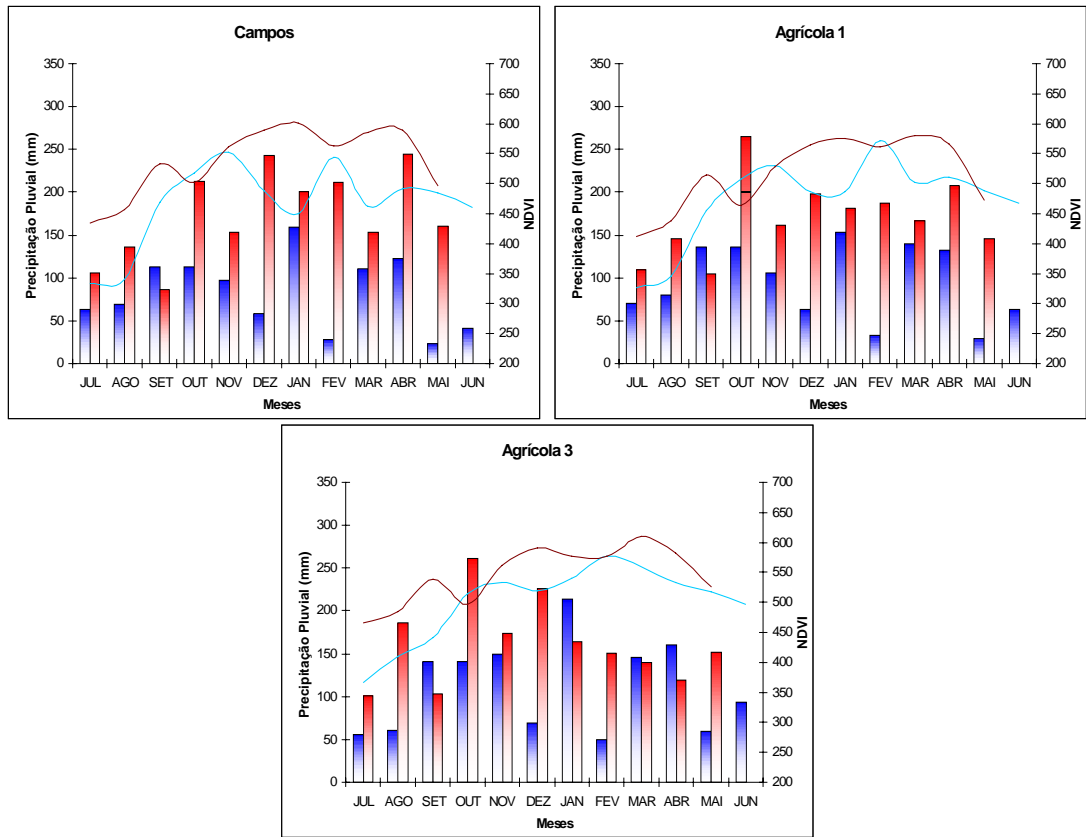


Figura 26. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do **Planalto** do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989).

Depressão Central



Planície Costeira

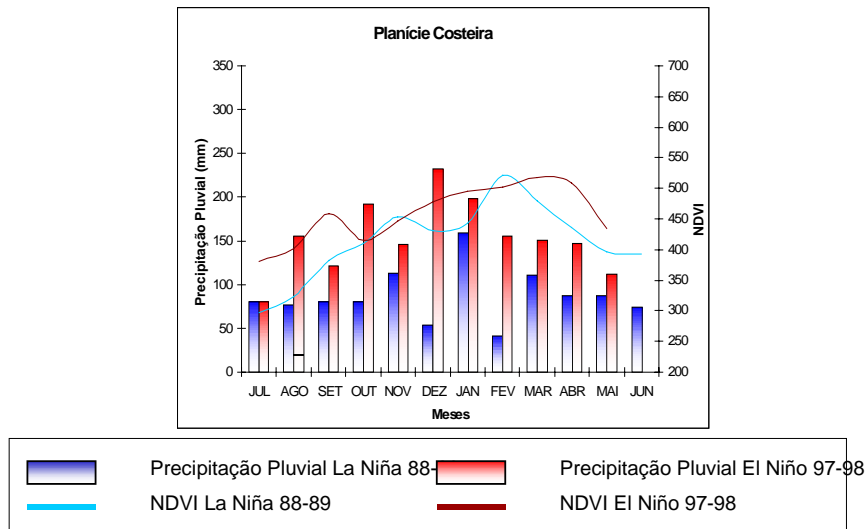
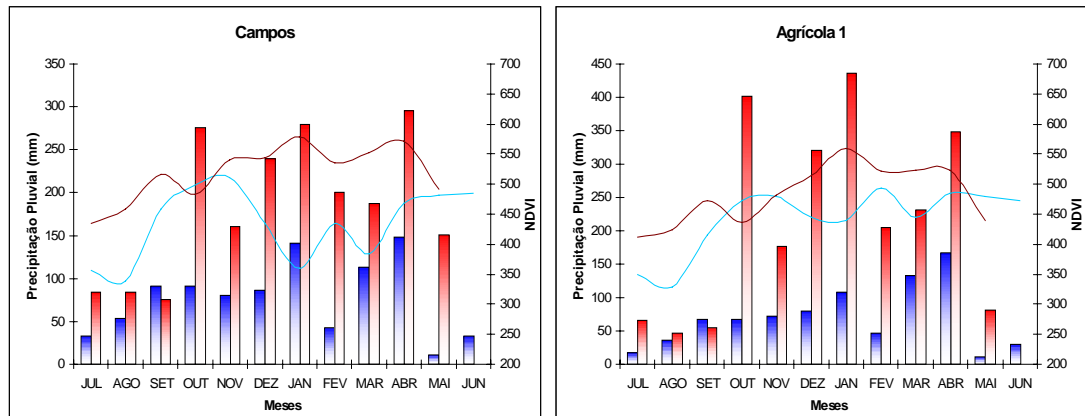


Figura 27. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Depressão Central** e **Planície Costeira** do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989).

Cuesta de Haedo



Escudo Sul-rio-grandense

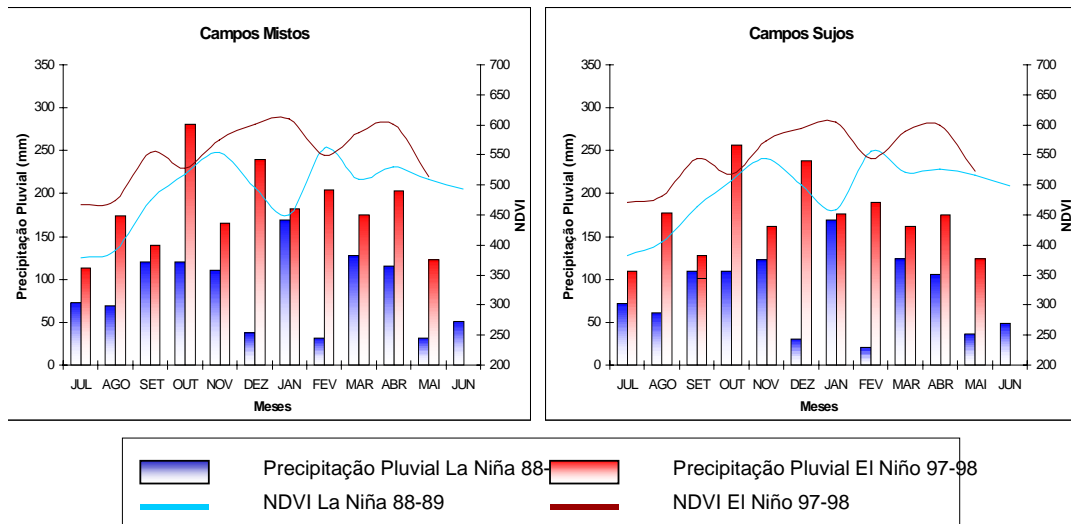


Figura 28. Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul nos eventos extremos de El Niño (1997-1998) e de La Niña (1988-1989).

intensidade dos efeitos associados, ou seja, acentuaram-se as diferenças tanto para precipitação pluvial como para NDVI entre os anos de El Niño e La Niña.

Na precipitação pluvial verifica-se, praticamente em todas as Macrozonas, valores bem superiores no ano de El Niño ao ano de La Niña. Outubro foi o mês com maiores excedentes pluviométricos, tendo sido a Macrozona Agrícola 1 da UG Planalto a que apresentou a maior diferença. Em

1997-1998 choveram 443 mm nesta Macrozona, comparado com 83 mm no ano de 1988-1989, ou ainda, ocorreram 304 mm a mais e 56 mm a menos da média dos anos neutros respectivamente nestes anos.

Nos meses de setembro e março, entretanto, houve alterações no padrão da precipitação pluvial em relação aos cenários de El Niño e La Niña (anos médios). Enquanto que nestes cenários verificou-se maiores precipitações pluviais associadas a ocorrência de La Niña, nos dois casos extremos, a precipitação pluvial foi maior no El Niño 1997-1998 em relação a La Niña 1997-1998 em algumas Macrozonas. (UG Escudo Sul-rio-grandense, Planície Costeira e Agrícola 1 da UG Planalto; e somente em março nas Macrozonas da UG Cuesta de Haedo, Depressão Central, exceto Agrícola 3, e as Macrozonas Campos Sujos e Campos de Cima da Serra da UG Planalto).

Também para o NDVI (Figura 26, 27 e 28) as diferenças se acentuaram, sendo observado, em geral, valores mais altos de NDVI em 1997-1998 e mais baixos em 1988-1989 do que a média dos El Niños e das La Niñas, respectivamente, principalmente em dezembro e janeiro. No inverno, essas diferenças também são significativas, podendo estar associada as baixas temperaturas e ocorrência de geadas, porém estes seriam resultados para futuros estudos relacionando estas variáveis meteorológicas.

Houve uma certa uniformidade no padrão de evolução do NDVI em todas as Macrozonas de Campos, assim como para todas as Macrozonas Agrícola 1 e 3, com valores variando de 550 a 600 e 500 a 550 para o El Niño e La Niña, respectivamente. A Macrozona Agrícola 2 e Florestas da UG Planalto (Figura 26) foram as que mais se diferenciaram, apresentando alta precipitação pluvial, elevando o NDVI até valores acima dos anos neutros, no ano de El Niño e abaixo no ano de La Niña.

5 – RELAÇÃO ENTRE NDVI E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

Nas Tabelas 7 a 16 são apresentadas as correlações entre precipitação pluvial e NDVI para as Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul para todo o período de estudo. Foram verificadas grandes variações nos valores dos coeficientes de correlação entre as Macrozonas e períodos analisados. Entretanto, foi possível observar que, via de regra, as melhores correlações ocorreram nos meses de

Tabela 7. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI **mensal** obtido de forma **simultânea** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO MENSAL SIMULTÂNEA													
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Mês da Precipitação Pluvial											
		Mês de NDVI											
		Jul Jul	Ago Ago	Set Set	Out Out	Nov Nov	Dez Dez	Jan Jan	Fev Feb	Mar Mar	Abr Abr	Mai Mai	Jun Jun
Planalto	Florestas	-0,423	0,340	-0,145	-0,099	-0,168	0,076	-0,098	-0,533	-0,001	-0,185	-0,272	-0,391
	Agrícola 2	-0,437	0,194	0,005	-0,182	-0,150	0,304	0,027	-0,313	-0,228	0,219	-0,160	-0,092
	Campos Sujos	-0,368	0,418	0,155	-0,086	0,014	0,370	-0,060	-0,060	-0,020	0,388	-0,165	-0,114
	Agrícola 1	-0,164	0,518	0,348	-0,417	-0,278	0,233	0,114	-0,206	-0,035	0,424	-0,077	0,020
	Campos de C. da Serra	-0,283	0,331	-0,315	-0,251	-0,274	0,082	-0,259	-0,442	-0,023	-0,439	-0,351	-0,181
	Campos	-0,443	0,311	0,139	0,078	0,286	0,345	0,077	-0,112	0,055	-0,046	-0,157	-0,356
Cuesta de Haedo	Campos	-0,065	0,277	0,194	-0,129	0,087	0,384	0,197	0,055	0,121	0,396	-0,104	-0,380
	Agrícola 1	0,081	0,421	0,272	-0,278	-0,245	0,260	0,351	-0,142	0,091	0,417	-0,005	-0,239
Depressão Central	Campos	-0,204	0,229	-0,027	0,056	0,171	0,550	0,146	-0,299	0,104	0,262	-0,200	-0,480
	Agrícola 1	-0,254	0,254	0,041	-0,068	0,011	0,424	0,121	-0,293	-0,005	0,206	-0,227	-0,562
	Agrícola 3	-0,224	0,153	0,126	-0,027	-0,199	0,275	0,085	-0,385	0,125	-0,098	-0,302	-0,583
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	-0,170	0,295	0,204	0,129	0,266	0,572	-0,056	-0,355	0,325	0,199	-0,383	-0,609
	Campos Mistos	-0,220	0,306	0,120	0,166	0,431	0,595	0,058	-0,247	0,314	0,320	-0,390	-0,541
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,170	0,295	0,204	0,129	0,266	0,572	-0,056	-0,355	0,325	0,199	-0,383	-0,609

Tabela 8. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **mensal** obtido com **defasagem de um mês** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO MENSAL COM DEFASAGEM DE 1 MÊS													
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Mês da Precipitação Pluvial											
		Mês de NDVI											
		Jul Ago	Ago Set	Set Out	Out Nov	Nov Dez	Dez Jan	Jan Feb	Fev Mar	Mar Abr	Abr Mai	Mai Jun	
Planalto	Florestas	-0,071	0,220	0,205	0,263	0,287	0,372	0,431	0,326	0,013	-0,031	-0,240	
	Agrícola 2	-0,188	0,171	0,038	0,283	0,460	0,460	0,454	0,527	0,295	0,048	-0,506	
	Campos Sujos	-0,032	0,385	0,082	0,339	0,599	0,434	0,314	0,714	0,387	0,268	-0,405	
	Agrícola 1	0,086	0,574	0,252	-0,020	0,583	0,309	0,305	0,690	0,286	0,334	-0,351	
	Campos de Cima da Serra	-0,037	0,139	0,258	0,198	0,112	0,352	0,413	0,387	0,029	-0,057	-0,053	
	Campos	-0,143	0,415	0,205	0,364	0,550	0,468	0,389	0,561	0,164	0,092	-0,447	
Cuesta de Haedo	Campos	0,194	0,346	0,393	0,164	0,640	0,532	0,397	0,689	0,522	0,488	-0,468	
	Agrícola 1	0,256	0,429	0,386	-0,008	0,606	0,281	0,205	0,650	0,668	0,446	-0,325	
Depressão Central	Campos	-0,030	0,220	0,410	0,317	0,564	0,639	0,639	0,753	0,426	0,389	-0,441	
	Agrícola 1	-0,050	0,175	0,460	0,353	0,501	0,519	0,500	0,780	0,448	0,373	-0,468	
	Agrícola 3	-0,197	-0,061	0,395	0,310	0,334	0,468	0,570	0,403	0,050	0,054	-0,452	

Tabela 9. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **mensal** obtido com **defasagem de dois meses** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO MENSAL COM DEFASAGEM DE 2 MESES — r significativo											
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Mês da Precipitação Pluvial Mês de NDVI									
		Jul Set	Ago Out	Set Nov	Out Dez	Nov Jan	Dez Fev	Jan Mar	Fev Abr	Mar Mai	Abr Jun
Planalto	Florestas	-0,453	0,389	0,172	0,548	0,231	-0,308	0,038	-0,163	0,163	0,219
	Agrícola 2	-0,451	0,252	0,122	0,304	0,254	-0,176	-0,236	0,206	0,299	-0,045
	Campos Sujos	-0,289	0,359	-0,063	0,482	0,228	-0,325	-0,250	0,196	0,211	0,332
	Agrícola 1	-0,172	0,359	-0,158	0,274	-0,014	-0,539	-0,311	-0,023	0,201	0,324
	Campos de Cima da Serra	-0,308	0,104	0,214	0,454	0,330	-0,035	0,094	-0,066	0,172	0,076
	Campos	-0,452	0,404	0,085	0,648	0,162	-0,312	-0,311	0,152	0,300	0,086
Cuesta de Haedo	Campos	-0,105	0,273	-0,204	0,148	0,210	0,058	-0,069	0,144	0,340	0,386
	Agrícola 1	0,067	0,327	-0,368	0,233	0,082	-0,357	-0,165	-0,169	0,272	0,337
Depressão Central	Campos	-0,277	0,347	0,013	0,292	0,340	-0,044	-0,202	0,112	0,396	0,345
	Agrícola 1	-0,342	0,327	-0,136	0,541	0,201	-0,035	-0,294	0,036	0,446	0,330
	Agrícola 3	-0,338	0,157	-0,345	0,548	0,200	0,076	0,167	-0,228	0,190	0,202
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	-0,112	0,290	0,069	0,572	0,355	-0,215	-0,153	0,028	0,473	0,202
	Campos Mistos	-0,167	0,380	0,250	0,567	0,488	-0,170	-0,224	0,054	0,491	0,281
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,241	0,246	0,240	0,101	-0,133	-0,094	-0,022	-0,070	0,470	-0,023

Tabela 10. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **bimestral** obtido de forma **simultânea** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO BIMESTRAL SIMULTÂNEA — r significativo												
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial Meses de NDVI										
		Jul-Ago Jul-Ago	Ago-Set Ago-Set	Set-Out Set-Out	Out-Nov Out-Nov	Nov-Dez Nov-Dez	Dez-Jan Dez-Jan	Jan-Fev Jan-Fev	Fev-Mar Fev-Mar	Mar-Abr Mar-Abr	Abr-Mai Abr-Mai	Mai-Jun Mai-Jun
Planalto	Florestas	-0,073	0,113	0,195	-0,035	0,112	0,112	-0,135	-0,249	0,332	0,271	0,094
	Agrícola 2	-0,154	0,087	0,132	-0,041	0,366	0,342	0,111	0,016	0,318	0,301	0,083
	Campos Sujos	0,087	0,311	0,101	0,118	0,449	0,172	0,071	0,243	0,233	0,298	0,085
	Agrícola 1	0,284	0,498	0,004	-0,343	0,283	0,139	0,052	0,176	0,225	0,362	0,116
	Campos de Cima da Serra	0,000	-0,058	-0,104	-0,083	0,055	-0,039	-0,044	-0,172	0,327	0,193	0,053
	Campos	-0,068	0,278	0,181	0,303	0,477	0,336	0,307	0,101	0,139	0,167	0,030
Cuesta de Haedo	Campos	0,230	0,291	0,483	0,140	0,607	0,334	0,548	0,484	0,314	0,306	0,010
	Agrícola 1	0,392	0,374	0,293	-0,237	0,359	0,306	0,348	0,378	0,211	0,384	0,092
Depressão Central	Campos	0,055	0,211	0,266	0,258	0,627	0,463	0,360	0,158	0,322	0,227	-0,040
	Agrícola 1	0,023	0,222	0,300	0,172	0,487	0,385	0,211	-0,001	0,289	0,236	-0,109
	Agrícola 3	-0,093	0,219	0,289	0,015	0,239	0,321	0,123	-0,181	0,243	0,195	-0,164
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,089	0,394	0,394	0,484	0,549	0,426	0,159	0,039	0,330	0,062	-0,220
	Campos Mistos	0,087	0,356	0,393	0,510	0,624	0,445	0,307	0,138	0,389	0,153	-0,191
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,091	0,381	0,439	-0,005	0,268	0,320	-0,120	-0,109	0,497	0,015	-0,149

Tabela 11. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **bimestral** obtido com **defasagem de um mês** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO BIMESTRAL COM DEFASAGEM DE 1 MÊS — r significativo											
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial									
		Jul-Ago Ago-Set	Ago-Set Set-Out	Set-Out Out-Nov	Out-Nov Nov-Dez	Nov-Dez Dez-Jan	Dez-Jan Jan-Fev	Jan-Fev Fev-Mar	Fev-Mar Mar-Abr	Mar-Abr Abr-Mai	Abr-Mai Mai-Jun
Planalto	Florestas	-0,024	0,358	0,236	0,311	0,373	0,240	0,136	0,018	0,345	-0,099
	Agrícola 2	-0,123	0,240	0,077	0,348	0,512	0,429	0,246	0,113	0,317	-0,168
	Campos Sujos	0,145	0,411	0,160	0,544	0,566	0,249	0,418	0,073	0,306	0,070
	Agrícola 1	0,327	0,578	-0,232	0,281	0,398	0,205	0,306	0,066	0,325	0,207
	Campos de Cima da Serra	0,003	0,125	0,179	0,189	0,382	0,301	0,264	0,045	0,359	-0,160
	Campos	0,012	0,504	0,330	0,586	0,558	0,377	0,315	0,000	0,212	-0,081
Cuesta de Haedo	Campos	0,242	0,440	0,173	0,570	0,688	0,494	0,600	0,294	0,463	0,234
	Agrícola 1	0,394	0,489	-0,158	0,354	0,477	0,293	0,295	0,057	0,360	0,321
Depressão Central	Campos	0,051	0,408	0,415	0,543	0,748	0,682	0,552	0,266	0,473	0,123
	Agrícola 1	0,011	0,413	0,345	0,489	0,618	0,527	0,458	0,157	0,454	-0,003
	Agrícola 3	-0,162	0,281	0,245	0,353	0,464	0,530	0,439	-0,011	0,294	-0,182
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,109	0,472	0,640	0,644	0,716	0,569	0,350	0,198	0,467	-0,115
	Campos Mistos	0,121	0,521	0,635	0,689	0,769	0,629	0,530	0,273	0,521	-0,042
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,123	0,543	0,364	0,048	0,348	0,217	0,104	0,220	0,602	-0,064

Tabela 12. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **bimestral** obtido com **defasagem de dois meses** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO BIMESTRAL COM DEFASAGEM DE 2 MESES — r significativo											
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial									
		Jul-Ago Set-Out	Ago-Set Out-Nov	Set-Out Out-Nov	Out-Nov Nov-Dez	Nov-Dez Dez-Jan	Dez-Jan Jan-Fev	Jan-Fev Fev-Mar	Fev-Mar Mar-Abr	Mar-Abr Abr-Mai	Abr-Mai Mai-Jun
Planalto	Florestas	-0,113	0,413	0,468	0,450	-0,049	0,136	0,240	-0,058	0,180	
	Agrícola 2	-0,127	0,067	0,358	0,394	0,226	0,172	0,361	0,018	0,065	
	Campos Sujos	0,053	-0,007	0,327	0,531	0,193	0,085	0,445	-0,073	0,294	
	Agrícola 1	0,252	0,006	0,061	0,287	-0,217	-0,237	0,444	-0,045	0,322	
	Campos de Cima da Serra	-0,148	0,286	0,350	0,464	0,184	0,267	0,193	-0,033	0,183	
	Campos	0,017	0,282	0,319	0,501	0,105	0,107	0,204	-0,033	0,225	
Cuesta de Haedo	Campos	0,199	0,162	-0,144	0,586	0,260	0,224	0,418	0,083	0,429	
	Agrícola 1	0,295	0,050	-0,153	0,434	-0,006	-0,083	0,253	-0,100	0,396	
Depressão Central	Campos	0,083	0,365	0,047	0,539	0,311	0,394	0,304	0,122	0,419	
	Agrícola 1	-0,038	0,363	0,242	0,458	0,196	0,343	0,239	0,079	0,414	
	Agrícola 3	-0,219	0,178	0,257	0,464	0,242	0,576	0,312	-0,157	0,170	
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,130	0,375	0,619	0,585	0,305	0,335	0,325	0,119	0,454	
	Campos Mistos	0,159	0,457	0,591	0,646	0,391	0,357	0,336	0,159	0,464	
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,010	0,403	0,275	0,079	-0,023	0,135	0,281	0,151	0,511	

Tabela 13. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **trimestral** obtido de forma **simultânea** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO TRIMESTRAL SIMULTÂNEA — r significativo											
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial									
		Meses de NDVI									
		Ju-Ag-Se Ju-Ag-Se	Ag-Se-Ou Ag-Se-Ou	Se-Ou-No Se-Ou-No	Ou-No-De Ou-No-De	No-De-Ja No-De-Ja	De-Ja-Fe De-Ja-Fe	Ja-Fe-Ma Ja-Fe-Ma	Fe-Ma-Ab Fe-Ma-Ab	Ma-Ab-Ma Ma-Ab-Ma	Ab-Ma-Ju Ab-Ma-Ju
Planalto	Florestas	-0,220	0,376	0,188	0,119	0,163	-0,122	-0,149	0,268	0,158	0,244
	Agrícola 2	-0,267	0,271	0,190	0,233	0,430	0,197	0,165	0,340	0,232	0,184
	Campos Sujos	0,089	0,312	0,209	0,447	0,357	0,095	0,080	0,325	0,185	0,213
	Agrícola 1	0,350	0,318	-0,074	0,055	0,136	-0,071	-0,047	0,274	0,240	0,311
	Campos de Cima da Serra	-0,179	-0,015	0,052	0,080	0,060	0,116	0,011	0,217	0,130	0,251
	Campos	-0,037	0,310	0,374	0,489	0,461	0,271	0,143	0,221	0,102	0,085
Cuesta de Haedo	Campos	0,267	0,470	0,362	0,491	0,528	0,566	0,454	0,475	0,336	0,254
	Agrícola 1	0,416	0,452	0,132	0,171	0,336	0,271	0,292	0,321	0,316	0,360
Depressão Central	Campos	0,046	0,333	0,396	0,527	0,623	0,492	0,342	0,336	0,249	0,161
	Agrícola 1	0,012	0,308	0,356	0,463	0,498	0,306	0,096	0,291	0,233	0,099
	Agrícola 3	-0,052	0,284	0,134	0,292	0,318	0,249	0,078	0,154	0,102	-0,019
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,190	0,404	0,542	0,609	0,525	0,284	0,208	0,309	0,101	-0,050
	Campos Mistos	0,143	0,400	0,594	0,642	0,615	0,406	0,330	0,374	0,201	0,034
Planície Costeira	Planície Costeira	0,036	0,441	0,350	0,155	0,101	-0,073	-0,097	0,372	0,152	-0,039

Tabela 14. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **trimestral** obtido com **defasagem de um mês** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO TRIMESTRAL COM DEFASAGEM DE 1 MÊS — r significativo											
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial									
		Meses de NDVI									
		Ju-Ag-Se Ag-Se-Ou	Ag-Se-Ou Se-Ou-No	Se-Ou-No Ou-No-De	Ou-No-De No-De-Ja	No-De-Ja De-Ja-Fe	De-Ja-Fe Ja-Fe-Ma	Ja-Fe-Ma Fe-Ma-Ab	Fe-Ma-Ab Ma-Ab-Ma	Ma-Ab-Ma Ab-Ma-Ju	
Planalto	Florestas	-0,058	0,454	0,245	0,350	0,209	-0,001	0,052	0,307	0,111	
	Agrícola 2	-0,144	0,252	0,242	0,452	0,438	0,338	0,144	0,363	0,071	
	Campos Sujos	0,158	0,272	0,438	0,533	0,392	0,335	0,158	0,376	0,157	
	Agrícola 1	0,415	0,099	0,097	0,234	0,137	0,116	0,165	0,372	0,235	
	Campos de Cima da Serra	-0,135	0,101	0,179	0,378	0,271	0,189	0,117	0,260	0,087	
	Campos	0,101	0,459	0,504	0,570	0,409	0,406	-0,001	0,275	0,057	
Cuesta de Haedo	Campos	0,332	0,441	0,423	0,648	0,541	0,662	0,355	0,595	0,285	
	Agrícola 1	0,452	0,260	0,143	0,337	0,373	0,362	0,081	0,434	0,314	
Depressão Central	Campos	0,166	0,395	0,493	0,730	0,663	0,682	0,236	0,494	0,231	
	Agrícola 1	0,108	0,393	0,452	0,564	0,518	0,531	0,089	0,453	0,180	
	Agrícola 3	0,000	0,239	0,275	0,441	0,452	0,477	0,132	0,192	0,021	
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,316	0,545	0,663	0,761	0,566	0,508	0,228	0,461	0,074	
	Campos Mistos	0,298	0,570	0,722	0,786	0,676	0,631	0,282	0,539	0,147	
Planície Costeira	Planície Costeira	0,109	0,526	0,221	0,314	0,152	0,124	0,214	0,444	0,163	

Tabela 15. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI, **trimestral** obtido com **defasagem de dois meses** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO TRIMESTRAL COM DEFASAGEM DE 2 MESES — r significativo									
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial							
		Meses de NDVI							
		Ju-Ag-Se Se-Ou-No	Ag-Se-Ou Ou-No-De	Se-Ou-No No-De-Ja	Ou-No-De De-Ja-Fe	No-De-Ja Ja-Fe-Ma	De-Ja-Fe Fe-Ma-Ab	Ja-Fe-Ma Ma-Ab-Ma	Fe-Ma-Ab Ab-Ma-Ju
Planalto	Florestas	-0,165	0,496	0,294	0,243	0,157	0,159	0,082	0,170
	Agrícola 2	-0,153	0,152	0,315	0,382	0,357	0,326	0,147	0,107
	Campos Sujos	0,001	0,253	0,336	0,484	0,290	0,425	0,134	0,252
	Agrícola 1	0,214	-0,042	0,001	0,119	-0,006	0,259	0,142	0,311
	Campos de Cima da Serra	-0,249	0,225	0,254	0,397	0,368	0,153	0,144	0,141
	Campos	0,058	0,379	0,284	0,444	0,247	0,259	0,010	0,176
Cuesta de Haedo	Campos	0,251	0,104	0,264	0,556	0,314	0,456	0,283	0,476
	Agrícola 1	0,284	-0,059	0,014	0,283	0,191	0,157	0,048	0,370
Depressão Central	Campos	0,094	0,319	0,307	0,585	0,441	0,357	0,219	0,395
	Agrícola 1	-0,013	0,347	0,230	0,443	0,345	0,278	0,134	0,366
	Agrícola 3	-0,197	0,284	0,212	0,432	0,459	0,327	0,097	0,054
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,185	0,563	0,489	0,555	0,420	0,291	0,276	0,366
	Campos Mistos	0,211	0,567	0,574	0,608	0,552	0,338	0,301	0,410
Planície Costeira	Planície Costeira	0,072	0,315	-0,048	0,136	0,076	0,272	0,250	0,349

Tabela 16. Coeficiente de correlação entre precipitação pluvial e NDVI durante a **primavera-verão**, obtido de forma **simultânea** e com **defasagem de um mês** em diferentes Zonas de Cobertura e Uso do Solo das Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

CORRELAÇÃO PRIMAVERA-VERÃO — r significativo		SIMULTÂNEA	DEFASAGEM 1 MÊS
Unidade Geomorfológica	Zonas de Cobertura e Uso do Solo	Meses da Precipitação Pluvial	Meses da Precipitação Pluvial
		Meses de NDVI	Meses de NDVI
		Outubro a Março	Outubro a Fevereiro
		Outubro a Março	Novembro a Março
Planalto	Florestas	-0,016	0,153
	Agrícola 2	0,227	0,360
	Campos Sujos	0,288	0,398
	Agrícola 1	-0,181	0,045
	Campos de Cima da Serra	0,149	0,348
	Campos	0,282	0,410
Cuesta de Haedo	Campos	0,470	0,618
	Agrícola 1	0,093	0,307
Depressão Central	Campos	0,451	0,648
	Agrícola 1	0,246	0,446
	Agrícola 3	0,268	0,433
Escudo Sul-riograndense	Campos Sujos	0,442	0,585
	Campos Mistos	0,543	0,706
Planície Costeira	Planície Costeira	-0,114	-0,007

outubro a fevereiro e para os casos com defasagem de um mês (Tabela 8, 11 e 14), ou seja, precipitação pluvial do mês e NDVI do mês seguinte, para todos os períodos (mensal, bimestral e trimestral).

Estes resultados evidenciam, novamente, que a precipitação pluvial é um dos elementos que define as condições de crescimento das plantas, especialmente no período de primavera-verão, caracterizadas por um processo biológico lento, existindo um certo tempo de resposta (defasagem) da precipitação pluvial em relação ao NDVI. Em vista disto confirma-se a hipótese formulada, de que o crescimento e a produção de biomassa estão associados com alterações meteorológicas ocasionadas pelo fenômeno El Niño e La Niña. Salienta-se, ainda, que os meses com correlações mais altas coincidem com o período de maior probabilidade de ocorrência de deficiências hídricas em todo o Estado (Ávila et al., 1996). De todas as UG, aquelas Macrozonas caracterizadas por campos e produção agrícola com cultivo de arroz (Agrícola 1) foram as que apresentaram as mais altas correlações, principalmente no período mensal com defasagem de um mês e nos meses de novembro e dezembro e de fevereiro e março (Tabela 8).

Nestes períodos, os maiores coeficientes de correlação foram de 0,640 para a Macrozona de Campos na UG Cuesta de Haedo e de 0,780 para a Macrozona Agrícola 1 na UG Depressão Central.

Nas Figuras 29 e 30 são apresentadas na forma de gráfico de dispersão, as relações entre a precipitação pluvial dos meses de novembro e fevereiro e o NDVI observado nos meses de dezembro e março, respectivamente, para todas as Macrozonas caracterizadas por campos no Estado do Rio Grande do Sul. Estas são regiões altamente influenciadas pelas condições meteorológicas, tendo sido observados coeficientes de correlação significativos entre precipitação pluvial e NDVI. Para todo o conjunto de dados das Macrozonas caracterizadas por campos, os coeficientes de determinação foram de 0,407 e 0,3917, respectivamente, nos dois períodos.

Já nas Figuras 31 e 32 são apresentadas as mesmas relações e ajustes, porém somente para aquelas Macrozonas de campos com coeficiente de correlação significativos ($r \geq 0,560$). Os resultados mostram um pequeno aumento no coeficiente de determinação (R^2) nos dois períodos, atingindo

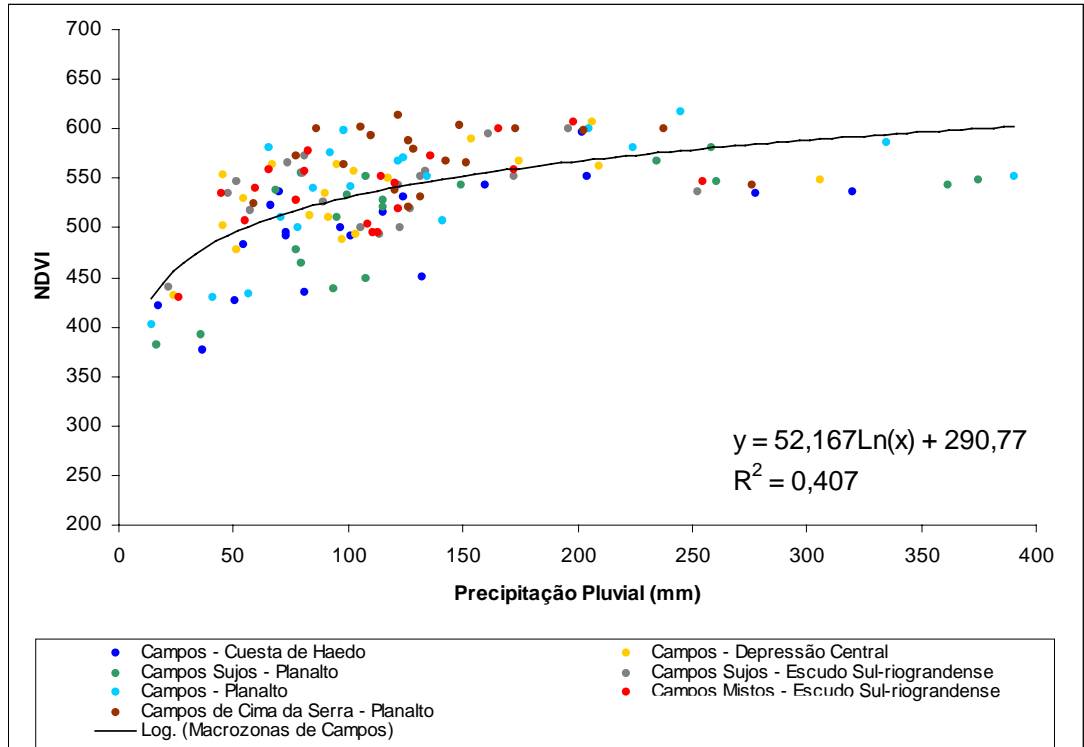


Figura 29. Relação entre **precipitação pluvial** ocorrida em **novembro** e **NDVI** observado em **dezembro** para todas as Macrozonas caracterizadas por campos do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

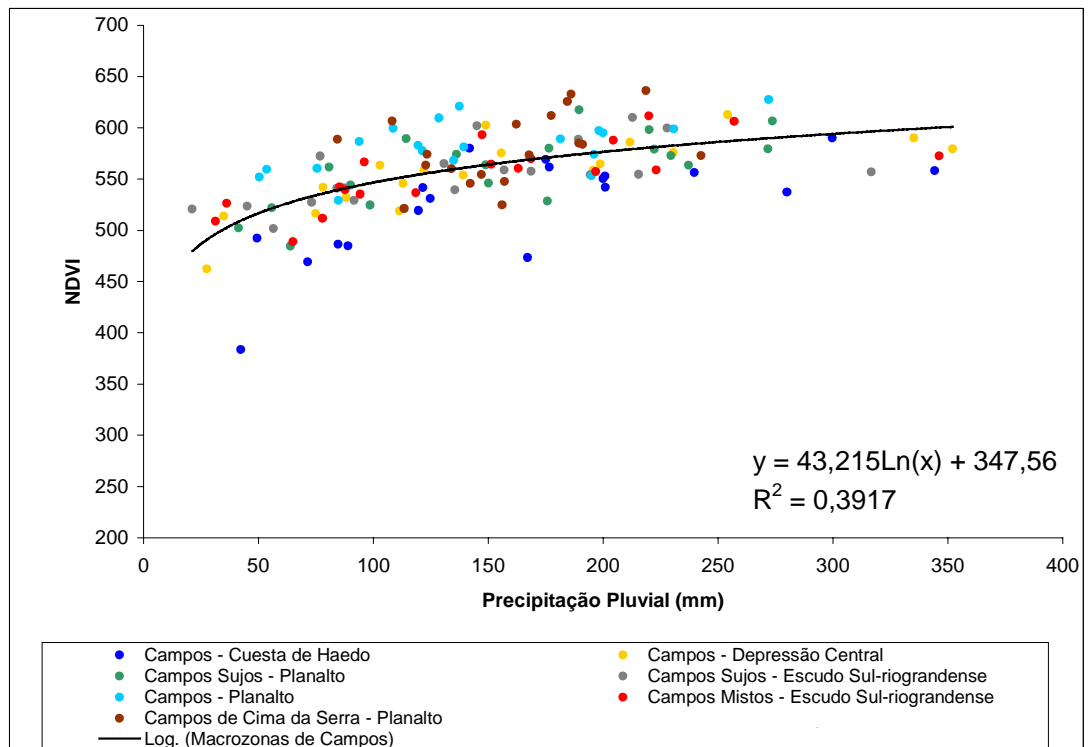


Figura 30. Relação entre **precipitação pluvial** ocorrida em **fevereiro** e **NDVI** observado em **março** para todas as Macrozonas caracterizadas por campos do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

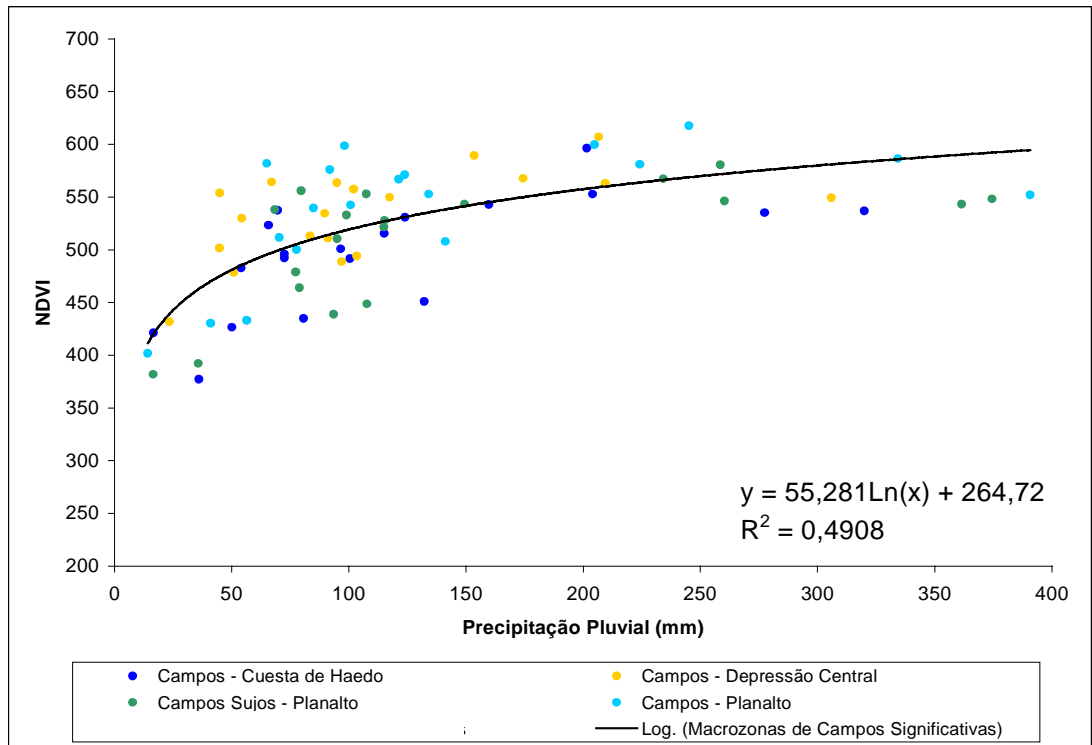


Figura 31. Relação entre **precipitação pluvial** ocorrida em **novembro** e **NDVI** observado em **dezembro** para as Macrozonas, caracterizadas por campos, significativas ($r \geq 0,560$) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

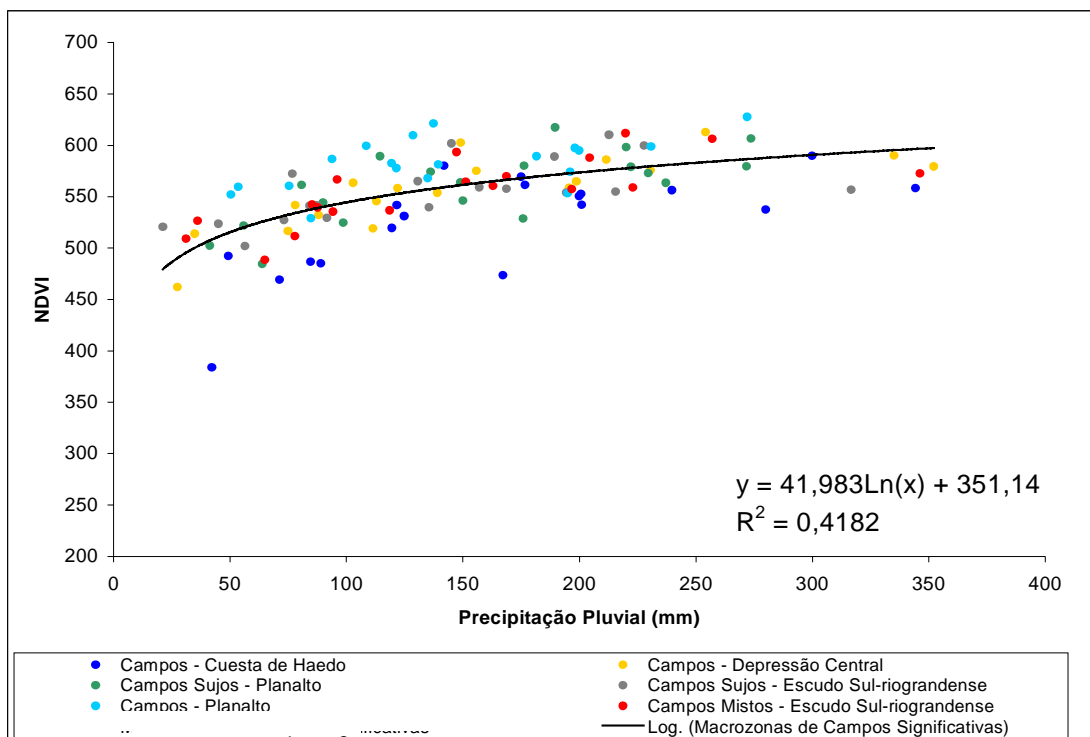


Figura 32. Relação entre **precipitação pluvial** ocorrida em **fevereiro** e **NDVI** observado em **março** para as Macrozonas, caracterizadas por campos, significativas ($r \geq 0,560$) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

0,4908 e 0,4182, respectivamente, para precipitação pluvial de novembro e fevereiro e NDVI de dezembro e março.

As equações de ajuste entre precipitação pluvial e NDVI, individualmente para cada Macrozona caracterizada por campos, encontram-se na Tabela 17. As Macrozonas com melhor R^2 foram Campos da UG Depressão Central e Campos da UG Cuesta de Haedo com $R^2=0,7452$ e $R^2=0,6288$, respectivamente, no período de fevereiro e março. Os menores valores de R^2 foram verificados na Macrozona Campos de Cima da Serra da UG Planalto, $R^2=0,0332$ no período de novembro e dezembro e $R^2=0,122$ no período de fevereiro e março.

Tabela 17. Equações de ajuste e coeficientes de determinação entre precipitação pluvial e NDVI das Macrozonas caracterizadas por campos das diferentes Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul, para os meses de novembro e dezembro e fevereiro e março. Período de 1981 a 2000.

UG	Macrozona	Mês de Precipitação – Mês de NDVI	
		Novembro - Dezembro	Fevereiro - Março
Cuesta de Haedo	Campos	$y = 55,37\text{Ln}(x) + 245,32$ $R^2 = 0,5379$	$y = 67,515\text{Ln}(x) + 190,38$ $R^2 = 0,6288$
Escudo Sul-rio-grandense	Campos Sujos	$y = 33,999\text{Ln}(x) + 381,77$ $R^2 = 0,2723$	$y = 30,069\text{Ln}(x) + 411,95$ $R^2 = 0,4538$
	Campos Mistos	$y = 44,565\text{Ln}(x) + 334,7$ $R^2 = 0,3526$	$y = 40,126\text{Ln}(x) + 361,57$ $R^2 = 0,6101$
Planalto	Campos Sujos	$y = 58,523\text{Ln}(x) + 233,06$ $R^2 = 0,5879$	$y = 47,757\text{Ln}(x) + 324,71$ $R^2 = 0,5726$
	Campos de Cima da Serra	$y = 14,59\text{Ln}(x) + 503,24$ $R^2 = 0,0332$	$y = 45,324\text{Ln}(x) + 351,4$ $R^2 = 0,122$
	Campos	$y = 60,108\text{Ln}(x) + 258,53$ $R^2 = 0,5751$	$y = 30,593\text{Ln}(x) + 433,27$ $R^2 = 0,3347$
Depressão Central	Campos	$y = 45,817\text{Ln}(x) + 326,58$ $R^2 = 0,4567$	$y = 45,846\text{Ln}(x) + 332,13$ $R^2 = 0,7452$

O modelo ajustado evidencia uma tendência de saturação do NDVI próximo a 600, o que significa que aumentos na precipitação pluvial tendem a provocar aumentos cada vez menores no NDVI. Isto é esperado, visto que vários trabalhos mostram que o NDVI não apresenta sensibilidade ao incremento de biomassa em condições de alto índice de área foliar (Baret e Guyot, 1991; Antunes et al., 1993; Gamon et al., 1995).

Um enfoque possível no estabelecimento de funções entre precipitação pluvial e NDVI seria o de usar as imagens de NDVI para traçado de mapas de precipitação pluvial mais acurados do que atualmente é possível, em função da escassez de estações meteorológicas em operação. Entretanto, como as melhores associações entre estas duas variáveis se dá com defasagem de um mês, ou seja, a precipitação pluvial de um mês determinando o NDVI do mês seguinte, a utilidade da mesma é restrita. Possivelmente, em estudos mesoclimáticos tais relações teriam utilidade.

Neste trabalho optou-se por utilizar a precipitação pluvial como variável independente para estimar NDVI. Neste caso a idéia fundamental é que, a partir de dados de precipitação pluvial, pode-se obter informações sobre a cobertura vegetal no caso de indisponibilidade das imagens de NDVI, lembrando que NDVI tem alta associação com parâmetros de crescimento das plantas (Antunes et al., 1993; Fonseca, 2000).

V – CONCLUSÕES

Nas Zonas de Cobertura e Uso do Solo do Rio Grande do Sul existe um padrão diferenciado de variações na cobertura vegetal ao longo do ano, sendo possível quantificar as alterações interanuais deste padrão, através do monitoramento com imagens de NDVI obtidas do satélite NOAA.

As variações anuais do NDVI são determinadas pela disponibilidade de radiação solar e condições térmicas, porém, alteradas pela disponibilidade hídrica.

Parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI está associada à ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, como consequência principalmente, do efeito deste fenômeno sobre a precipitação pluvial do Estado.

Em anos de El Niño, há aumento na precipitação pluvial e conseqüentemente, anomalias positivas de NDVI, enquanto em anos de La Niña ocorre diminuição da precipitação pluvial, a qual proporciona predominância de anomalias negativas de NDVI em alguns períodos do ano e regiões do Estado.

O maior impacto do fenômeno El Niño e La Niña sobre o NDVI ocorre no período de novembro a fevereiro. É necessário um tempo de resposta da vegetação às condições meteorológicas, ocasionado por uma defasagem entre o aumento ou diminuição da precipitação pluvial e o conseqüente aumento ou decréscimo de NDVI.

O padrão e a intensidade dos efeitos no NDVI associados ao fenômeno El Niño e La Niña está relacionado às condições edafoclimáticas e de uso e cobertura do solo. As Macrozonas de campos em todo o Estado apresentaram os maiores efeitos associados ao fenômeno.

A relação significativa entre NDVI e precipitação pluvial evidencia que este é um dos principais elementos que influencia as condições de crescimento vegetal no Estado do Rio Grande do Sul.

VI – RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste estudo mostram a viabilidade de utilização de imagens AVHRR/NOAA para integrar um programa de previsão de safras através do monitoramento do desenvolvimento da vegetação regional. As diferentes regiões do Estado apresentam um padrão típico de evolução temporal do NDVI, o qual sofre alterações, em parte, associadas a fenômenos de grande escala, como é o caso do El Niño e La Niña.

Recomenda-se, portanto, o prosseguimento de trabalhos nesta área, visando um maior detalhamento e aprofundamento de alguns dos resultados alcançados.

Um enfoque poderia ser o de proceder outras análises envolvendo a relação entre NDVI e precipitação pluvial para escalas de tempo e de espaço mais detalhadas. Neste caso seria possível estudar, por exemplo, esta relação para um determinado tipo de cobertura vegetal, utilizando períodos de tempo menores (quinquidial, decendial ou quinzenal), visto que se sabe que o intervalo de tempo mensal mostra-se deficiente para explicar as respostas das plantas.

Outro enfoque interessante seria o de analisar a evolução do NDVI durante o período de inverno, relacionado o padrão de evolução do NDVI neste período com a disponibilidade de radiação solar, de temperatura e à ocorrência de geadas.

VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, T. S.; FONTANA, D. C. El Niño/La Niña e o Número de Dias de Chuva no Estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12; 2000, Porto Alegre, **Anais...**Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- ALVES, J. M. B.; SOUZA, E. B. de; REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S. Estudo da Variabilidade Pluviométrica no Setor Leste do Nordeste Brasileiro e a Influência do Fenômeno El Niño/Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.12, n.2, p.25-39. 1997.
- ANTUNES, M. A. H.; ASSAD, E. D.; BATISTA, G. T. Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectrorradiômetro ao Longo do Ciclo de Crescimento de Soja (*Glycine max (L.) Merril*). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, V.2; 1993, Curitiba, **Anais...**Curitiba: INPE, 1993. p. 01-09.
- ANYAMBA, A.; TUCKER C. J.; EASTMAN, J. R. NDVI Anomaly Patterns Over Africa During the 1997/98 ENSO Warm Event. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.10, p.1847-1859. 2001.
- ÁVILA, A. M. H. de; BERLATO, M. A.; SILVA, J. B. da; FONTANA, D. C. Probabilidade de Ocorrência de Precipitação pluvial Mensal Igual ou Maior que a Evapotranspiração Potencial para a Estação de Crescimento das Culturas de Primavera-Verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, n.2, p.149-154. 1996.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.3, p.161-173. 1991.
- BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. Monitoramento da Cobertura Florestal Através de Índices de Vegetação do NOAA/AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, V.2; 1993, Curitiba, **Anais...**Curitiba: INPE, 1993. p. 30-37.

- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade Interanual da Precipitação Pluvial e Rendimento da Soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125. 1999.
- CARMONA, L. de C. **Efeitos Associados aos Fenômenos El Niño e La Niña no Rendimento do Arroz Irrigado no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2001.
- CLEVERS, J. G. P. W. The Application of a Weighted Infrared-red Vegetation Index for Estimating Leaf Area Index by Correcting for Soil Moisture. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.29, n.1, p.25-37, 1989.
- CPC-NCEP-NOAA. Graphical Depiction of the Four Niño Regions. Climate Prediction Center. Disponível: em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.html> 20.abr.2002a.
- CPC-NCEP-NOAA. Cold and Warm Episodes by Season. Climate Prediction Center. Disponível: em http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html> 20.abr.2002b.
- CPTEC. O El Niño. Centro de Pesquisas Tecnológicas. INPE. Disponível: em <<http://www.cptec.inpe.br/products/elninho/elninho3p.html>> 10.abr.2002.
- DELGADO, L. de L. M.; BÉJAR, R. A. Curvas de Evolución Temporal para Diferentes Coberturas de Vegetación de La Región Central de México Utilizando Imágenes AVHRR-NOAA14. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9, 2000, Puerto Iguazú, Argentina, **Anais...**Puerto Iguazú: SELPER, 2000. 1 CD-ROM.
- DESSAY, N. ; SHIMABUKURO, Y. E.; BATISTA, G. T.; DURIEUX, L. Dados NOAA-AVHRR para Avaliação do Impacto do El Niño sobre a Vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11; 2001, Foz do Iguaçu, **Anais...**Foz do Iguaçu: INPE, 2001.
- DUCATI, J. R.; HAERTEL, V. de A.; SUERTEGARAY, D. M. A.; FONTANA, D. C.; SALDANHA, D.; GUASSELLI, L. A.; KRELING, M. T. Criação de um Sistema de Informações Sobre o Território do Rio Grande do Sul com Base em Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Ferramenta para Formulação de Políticas Públicas. Edital Fapergs

- 01/1999, Processo 99/0530.7, 2001, **Relatório Técnico**, 23 p., Porto Alegre: CEPSRM, UFRGS, 2001.
- FEDOROVA, N.; CARVALHO, M. H. de. Processos Sinóticos em Anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.57-72. 2000.
- FONSECA, E. L. da. **Caracterização Espectral e Índices de Vegetação em *Paspalum notatum* Flügge var. *notatum* com Vistas à Modelagem de Crescimento**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2000.
- 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. 11-23, 2002.
- FONTANA, D. C.; WEBER, E.; GAUSSELLI, L. A.; MARTINS, R. L.; GUSSO, A.; DUCATI, J. R.; FIGUEIREDO, D. C. Perfil Espectral da Soja no Sul do Brasil na Safra 2000. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9, 2000, Puerto Iguazú, Argentina, **Anais...**Puerto Iguazú: SELPER, 2000. 1 CD-ROM.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação Entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.8, p.1399-1405. 1998.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. 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.
- FONTANA, D. C. **Utilização do Índice de Vegetação Global Para o Monitoramento da Vegetação e Estimativa de Elementos Agrometeorológicos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 133 f. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 1995.
- GONÇALVES, F.V.; KIM, I.S. Recuperação de Dados Climáticos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET; 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.

- GAMON, J. A.; FIELD, C. B.; GOULDEN, M. L. et al. Relationships Between NDVI, Canopy Structure and Photosynthesis in Three Californian Vegetation Types. **Ecological Applications**, New Jersey, v.5, n.1, p. 28-41, 1995.
- GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. da S. Influência de Fases Extremas da Oscilação Sul Sobre a Intensidade e Freqüência das Chuvas no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- HUETE, A. R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309. 1988.
- INMET. O que é La Niña?. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível: em <<http://www.inmet.gov.br/alertas/lanina.html>> 10.abr.2002.
- JORDAN, C. F. Derivation of Leaf Area Index From Quality of Light on the Forest Floor. **Ecology**. v.50. p.663-666. 1969.
- KIDWELL, K. B. C. **Global Vegetation Index: User Guide**. Washington, US Department of Commerce. 40p. 1990.
- KANE, R. P. Relationship Between El Niño Timings and Rainfall Extremes in NE Brazil, São Paulo City and South Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.15, n.1, p.45-57. 2000.
- KAUTH, R. J. e THOMAS, G. S. The Tasseled Cap - A Graphic Description of the Spectral-temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA. West Lafayette, Purdue Univ. p.41-51. 1976.
- KAZMIERCZAK, M. L. Uso de Dados AVHRR/NOAA GAC para Análise da Sazonalidade da Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8; 1996, Salvador, **Anais...**Salvador: INPE, 1996.
- LI, Z.; KAFATOS, M. Interannual Variability of Vegetation in the United States and Its Relation to El Niño/Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, v.72, p.239-247. 2000.
- LIU, W. T. H.; JUÁREZ, R. I. N. ENSO Drought Onset Prediction Northeast Brazil Using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.17, p. 3483-3501. 2001.
- LIU, W. T. H.; MING, T. C. Geração de Mapas Globais de Parâmetros Biofísicos a Partir de Imagens NOAA/AVHRR-GLAS. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET; 1998, Brasília, **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.
- LIU, W. T. H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C. A. Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, v.14, p.343-354. 1994.
- LOPES, F.; BERLATO, M. A. Impactos do El Niño/La Niña nas Temperaturas Médias Mínimas e Médias Máximas no Estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12; 2000, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- LOPES, F.; BERLATO, M.A. Impactos da La Niña nas temperaturas médias mínimas no Estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13, 2001, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.16, n.1, p.01-18. 2001.
- MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. S. de. Impactos do Fenômeno La Niña no Tempo e Clima do Brasil: Desenvolvimento e Intensificação do La Niña 1998/99. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET; 1998, Brasília, **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.
- MATZENAUER, R.; MACHADO, F. A. Disponibilidade Hídrica para a Cultura do Milho em Anos de El Niño, La Niña e Neutros, nas Regiões Climáticas do Planalto Médio e Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, (prelo). 2001.
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MACHADO, F. A.; ROSA, F. S. da. Análise Agroclimática das Disponibilidades Hídricas para a Cultura da Soja na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.263-275. 1998.
- MENNIS, J. Exploring Relationships Between ENSO and Vegetation Vigour in the South-East USA Using AVHRR Data. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.16, p. 3077-3092. 2001.
- MING, T. C.; LIU, W. T. H. Estimativa de Albedo, Temperatura e NDVI do Estado de São Paulo Através de Dados AVHRR do Satélite NOAA. In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio grande do Sul. 30p. 1961.
- MOTA, F. S. da. Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña Sobre o Rendimento do Arroz Irrigado na Região de Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.21-24. 2000.
- NOAA. NOAA La Niña Page. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível: em <<http://www.elnino.noaa.gov/lanina.html>> 20.abr.2002.
- OLIVEIRA, G. S. de; MARENGO, J. A.; KOUSKY, V. O Final do Episódio El Niño 1997/98 e o Desenvolvimento e Intensificação do La Niña de 1998/99. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET; 1998, Brasília, **Anais...**Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, G. S. de; SATYAMURTY, P. O El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, e CONGRESSO DA FLISMET; 1998, Brasília, **Anais...**Rio de Janeiro: SBMet, 1998. 1 CD-ROM.
- PISNITCHENKO, I. A.; GRIMM, A. M.; OLIVEIRA, F. M.; NATORI, A. A. Relações Entre os Processos ENOS de Grande escala e Peculiaridades do Clima Regional no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- PUCHALSKI, L. A. **Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na Temperatura Média, Precipitação Pluvial e no Déficit Hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2000.
- RICHARDSON, A. H. e WIEGAND, C. L. Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.43. p.1541-1552. 1977.
- RIZZI, R.; FONSECA, E. L. da. Análise da Variação Espacial e Temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul Através de Imagens AVHRR. In:

- SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11; 2001, Foz do Iguaçu, **Anais...**Foz do Iguaçu: INPE, 2001.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains With ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3. NASA 351, p.309-317.1973.
- SANNIER, C. A. D.; TAYLOR, J. C.; DU PLESSIS, W. Real-time Monitoring of Vegetation Biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for Risk Assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.1, p. 71-89. 2002.
- SCHROEDER, W.; FRANÇA, J. R. de A.; CEBALLOS, J. C. Análise da Evolução Temporal da Cobertura Vegetal Usando dados AVHRR/NOAA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis, **Anais...**Florianópolis: SBA, 1999. 1 CD-ROM.
- STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Radiometria Óptica Espectral. Tutorial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8; 1996, Salvador, **Anais...**Salvador: INPE, 1996.
- SWAIN, P. A.; DAVIS, S. M. **Remote Sensing: The Qualitative Approach**. McGraw-Hill, New York. 396p. 1978.
- TERACINES, E. B. Impactos Econômicos do El Niño 97/98 na Produção Agrícola Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bull. American Meteorological Society**. V. 78, p. 2771-2777. 1997.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, 2000. 532 p.: il. Brasília, 2000.

APÊNDICES

Apêndice 1. Períodos de resfriamento (La Niña) e aquecimento (El Niño) da TSM no Pacífico tropical, com a classificação quanto a intensidade do fenômeno. Tabela adaptada para período de estudo. Fonte: CPC-NCEP-NOAA (2002b).

Ano	JFM	AMJ	JAS	OND
1981			N	N
1982	N	W-	W	W+
1983	W+	W	N	C-
1984	C-	C-	N	C-
1985	C-	C-	N	N
1986	N	N	W-	W
1987	W	W	W+	W
1988	W-	N	C-	C+
1989	C+	C-	N	N
1990	N	N	W-	W-
1991	W-	W-	W	W
1992	W+	W+	W-	W-
1993	W-	W	W	W-
1994	N	N	W	W
1995	W	N	N	C-
1996	C-	N	N	N
1997	N	W	W+	W+
1998	W+	W	C-	C
1999	C+	C	C-	C
2000	C	C-		

C- ou W- = períodos fracos
 C ou W = períodos moderados
 W+ ou C+ = períodos fortes
 N = períodos neutros

Apêndice 2. Macro para extração de valores médios de NDVI mês a mês para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

```
rem macro para extracao de ndvi dos meses dos anos neutros, el nino e
la nina de jul-81 a jun-2000 com base no macrozoneamento tematico do
RS
rem
rem xxxxyyrs.rst = imagem de ndvi do ano xxxx e mês yy(ex.:
198107rs.rst)
rem MEDxyyIV.avl = arquivo de valores da media de NDVI(IV) do ano xx
e mês yy (ex.: MED8107IV.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\NDVI_RGS\xxxxyyrs.rst*1*4*
c:\macro\MEDxyyIV.avl
```

Apêndice 3. Macro para extração de valores médios de precipitação pluvial mês a mês para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

```
rem macro para extracao de precipitacao dos meses dos anos neutros, el
nino e la nina de jul-81 a jun-2000 com base no macrozoneamento
tematico do RS
rem
rem xxxxyyrs.rst = imagem de precipitacao pluvial do ano xxxx e mês yy
(ex.: 198107rs.rst)
rem MEDxyyIV.avl = arquivo de valores da media de precipitacao(PR) do
ano xx e mês yy (ex.: MED8107PR.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\PRECIP\xxxxyyrs.rst*1*4*c:
\macro\MEDxyyPR.avl
```

Apêndice 4. Macro para extração de valores médios de NDVI para anos médios de El Niño, La Niña e neutros para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

```
rem extracao de ndvi para medias de El Nino, La Nina e neutros mês a
mês com base no macrozoneamento tematico do RS
rem
rem MEDIA_yyEN.rst = imagem de NDVI do ano medio de el eino(EL) do mês
yy (ex.: MEDIA_01EN.rst)
rem MEDENyyIV.avl = arquivo de valores da media de NDVI(IV) para ano
medio de el nino(EL) do mês yy (ex.: MEDEN01IV.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\NDVI_RGS\MEDIA_yyEN.rst*1*
4*c:\macro\MEDENyyIV.avl
rem
rem
rem MEDIA_yyLA.rst = imagem de NDVI do ano medio de la nina(LA) do mês
yy (ex.: MEDIA_01LA.rst)
rem MEDLAyyIV.avl = arquivo de valores da media de NDVI(IV) para ano
medio de la nina(LA) do mês yy (ex.: MEDLA01IV.avl)
rem
rem
extract X
```

```

c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\NDVI_RGS\MEDIA_YYLA.rst*1*
4*c:\macro\MEDLAYV.avl
rem
rem
rem MEDIA_YYNE.rst = imagem de NDVI do ano medio neutro(NE) do mês YY
(ex.: MEDIA_01NE.rst)
rem MEDNEYYIV.avl = arquivo de valores da media de NDVI(IV) para ano
medio neutro(NE) do mês YY (ex.: MEDNE01IV.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\NDVI_RGS\MEDIA_YYNE.rst*1*
4*c:\macro\MEDNEYYIV.avl

```

Apêndice 5. Macro para **extração de valores médios de precipitação pluvial para anos médios de El Niño, La Niña e neutros** para as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

```

rem extracao de precipitacao para medias de El Nino, La Nina e neutros
mês a mês com base no macrozoneamento tematico do RS
rem
rem MEDIA_YYEN.rst = imagem de precipitacao do ano medio de el
nino(EL) do mês YY (ex.: MEDIA_01EN.rst)
rem MEDENYYPR.avl = arquivo de valores da media de precipitacao
pluvial (PR) para ano medio de el nino(EL) do mês YY (ex.:
MEDEN01PR.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\PRECIP\MED_YYEN.rst*1*4*c:
\macro\MEDENYYPR.avl
rem
rem
rem MEDIA_YYLA.rst = imagem de precipitacao do ano medio de la
nina(LA) do mês YY (ex.: MEDIA_01LA.rst)
rem MEDLAYVPR.avl = arquivo de valores da media de precipitacao
pluvial (PR) para ano medio de la nina(LA) do mês YY (ex.:
MEDLA01PR.avl)
rem
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\PRECIP\MED_YYLA.rst*1*4*c:
\macro\MEDLAYVPR.avl
rem
rem MEDIA_YYNE.rst = imagem de precipitacao do ano medio neutro(NE) do
mês YY (ex.: MEDIA_01NE.rst)
rem MEDNEYYPR.avl = arquivo de valores da media de precipitacao
pluvial (PR) para ano medio neutro(NE) do mês YY (ex.: MEDNE01PR.avl)
rem
extract X
c:\macro\macrozoneamentoalbers.rst*C:\macro\PRECIP\MED_YYNE.rst*1*4*c:
\macro\MEDNEYYPR.avl

```

Apêndice 6. Macro para **reclassificação das imagens de NDVI** para os anos de El Niño e La Niña (individuais e médio) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

```

rem reclassificacao das imagens de anomalias de em anos de el nino
(en) e rem la nina (la) individuais e medio em tres classes: anom.
Negativa,
rem anom. Positiva e classe neutra(zero)
rem
rem
rem anzzXXXX_YY.rst = imagem de anomalia do evento zz do ano XXXX e
mês YY (ex.: anen8283_07.rst)
rem

```



```

rem anzzxxxx_yyrec.rst = imagem de anomalia reclassificada do evento
zz do ano xxxx e mês yy (ex.: anen8283_07rec.rst)
RECLASS X
I*c:\macro\area\anzzxxxx_yy.rst*c:\macro\area\anzzxxxx_yyrec.rst*3*e:\
macro\area\idrtemp.rcl
rem
rem anomalia_yyzz.rst = imagem de anomalia do ano medio do evento zz
no mês yy (ex.: anomalia_07en.rst)
rem
rem anomalia_yyzzrec.rst = imagem de anomalia reclassificada do ano
medio do evento zz no mês yy (ex.: anomalia_07enrec.rst)
RECLASS X
I*e:\macro\area\anomalia_yyzz.rst*e:\macro\area\anomalia_yyzz.rstrec.r
st*3*e:\macro\area\idrtemp.rcl

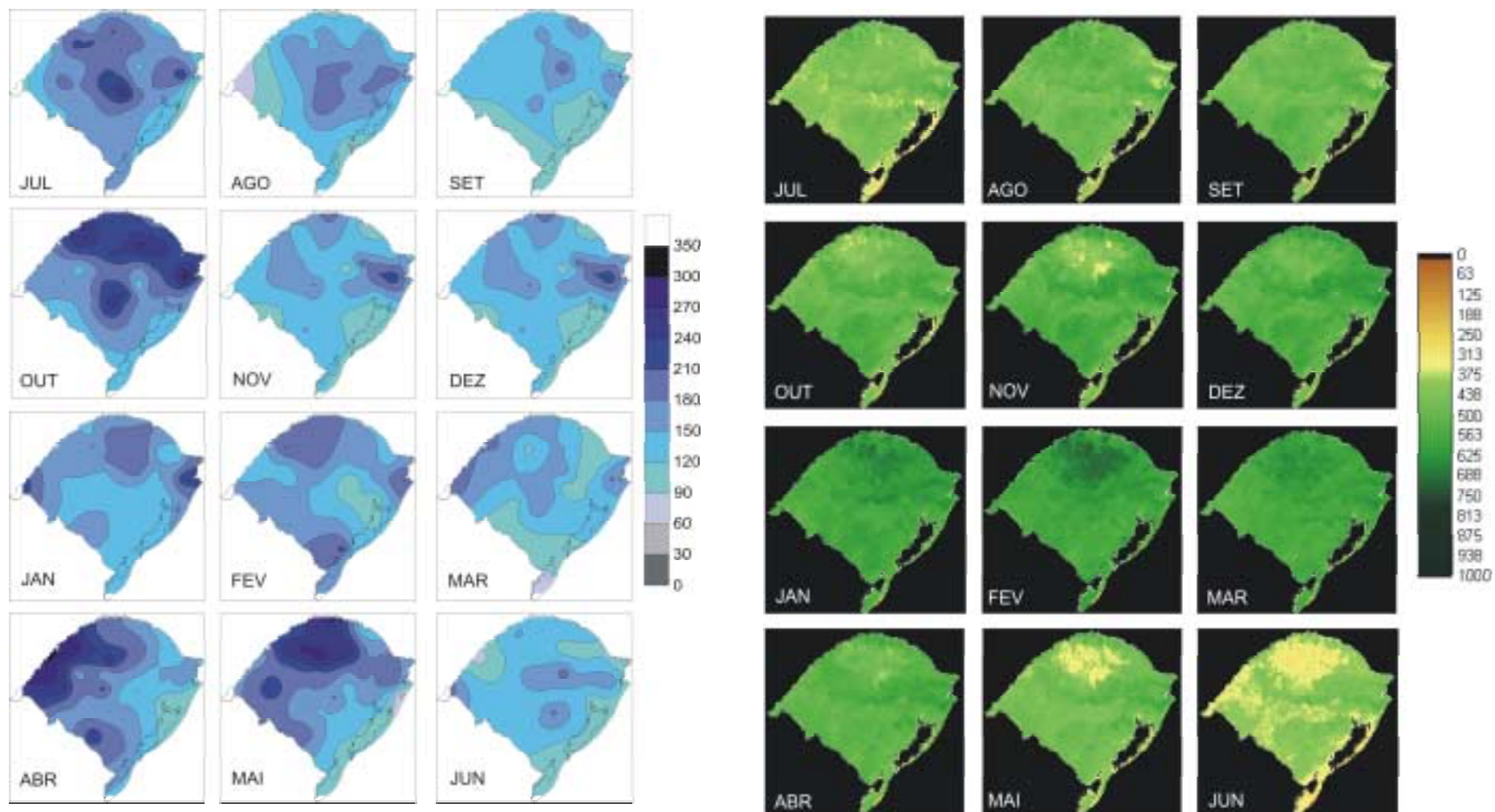
```

Apêndice 7. Macro para **cálculo da área de anomalias negativas e positivas de NDVI** em km² para os anos de El Niño e La Niña (individuais e médio) do Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.

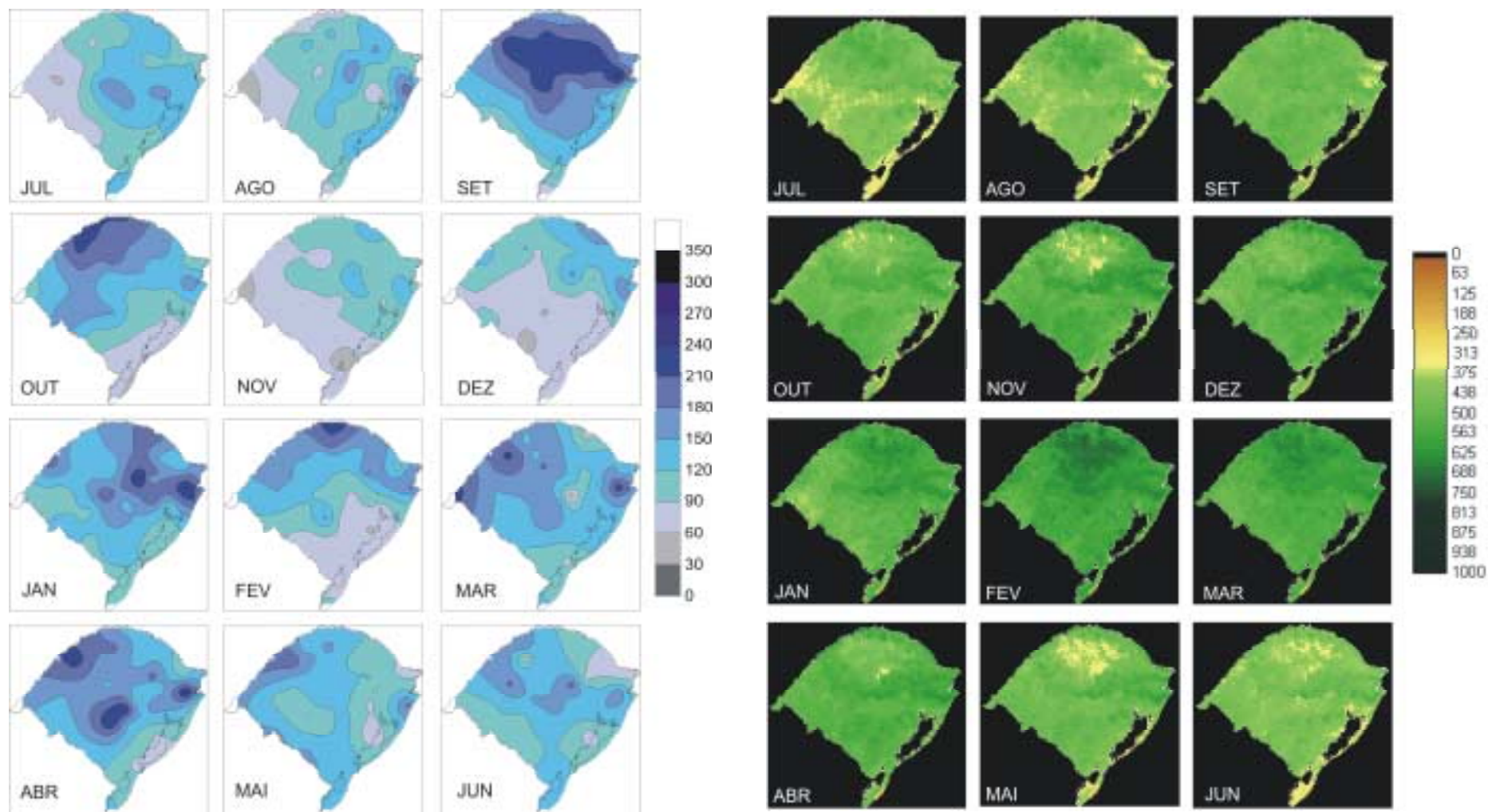
```

rem calculo da area de anomalias pos. e neg. do RS em Km2 em anos de
el rem nino (en) e la nina (la) individuais e medio
rem
rem
rem anzzxxxx_yyrec.rst = imagem de anomalia reclassificada do evento
zz do ano xxxx e mês yy (ex.: anen8283_07rec.rst)
rem anzzxxxx_yy.avl = arquivo de valores com area negativa,positiva e
neutra do evento zz, do ano xxxx e mês yy (ex.: anen8283_07.avl)
rem
AREA X
c:\macro\area\ anzzxxxx_yyrec.rst*2*6*c:\macro\area\ anzzxxxx_yy.avl
rem
rem anomalia_yyzzrec.rst = imagem de anomalia reclassificada do ano
medio do evento zz no mês yy (ex.: anomalia_07en.rst)
rem anomalia_yyzz.avl = arquivo de valores com area negativa,positiva
e neutra do ano medio do evento zz no mês yy (ex.: anomalia_07en.avl)
rem
AREA X
e:\macro\area\anomalia_yyzzrec.rst*2*6*e:\macro\area\anomalia_yyzz.avl

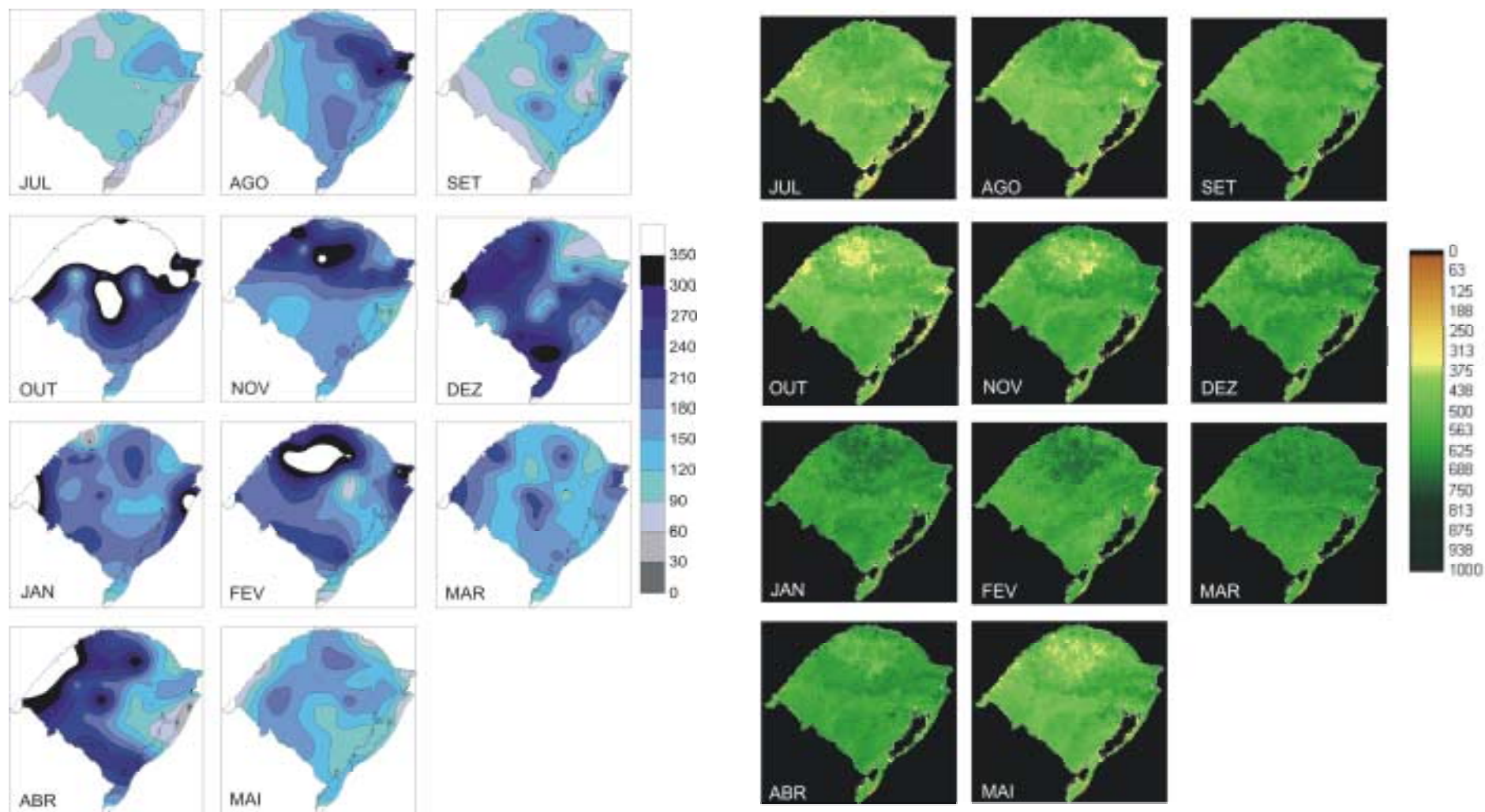
```



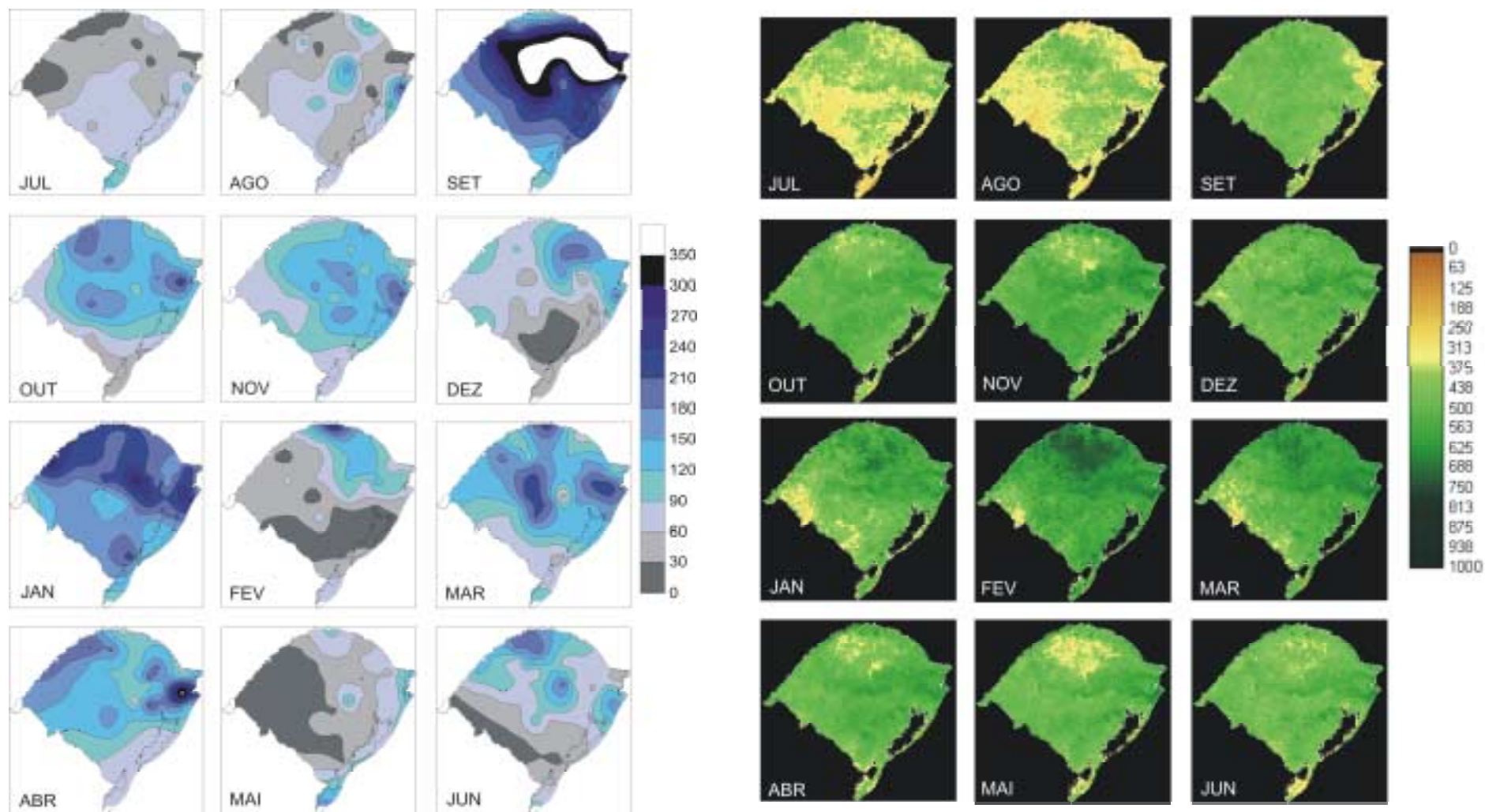
Apêndice 8. Precipitação pluvial (mm) e NDVI médios dos anos de **El Niño** no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.



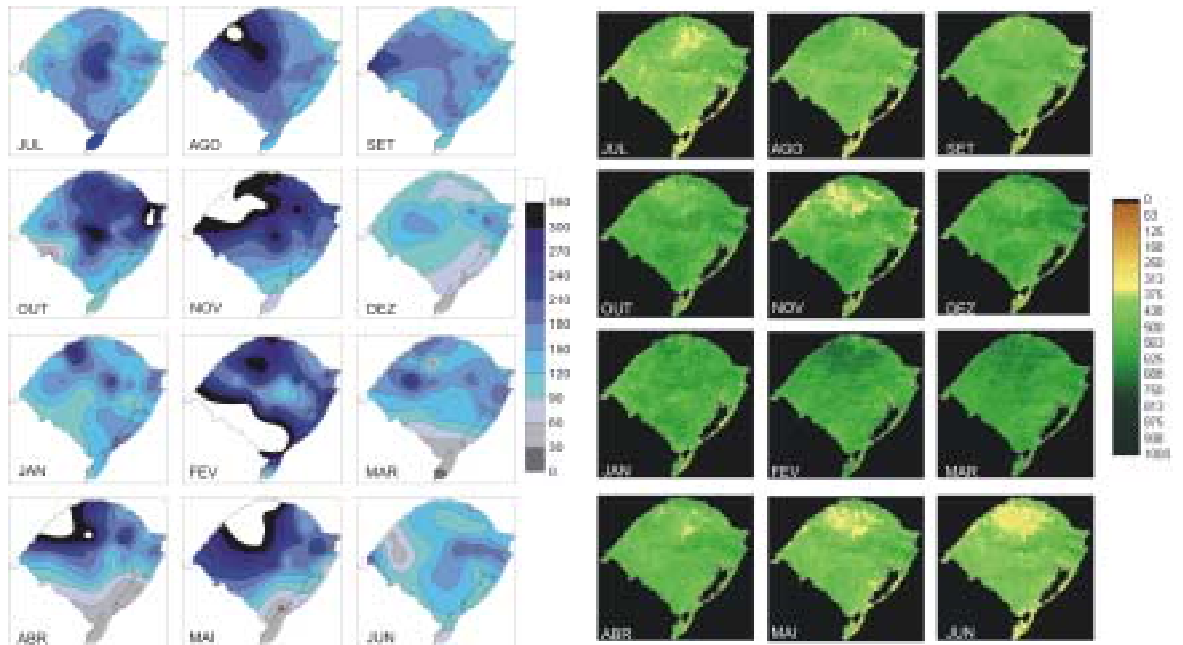
Apêndice 9. Precipitação pluvial (mm) e NDVI médios dos anos de **La Niña** no Estado do Rio Grande do Sul. Período de 1981 a 2000.



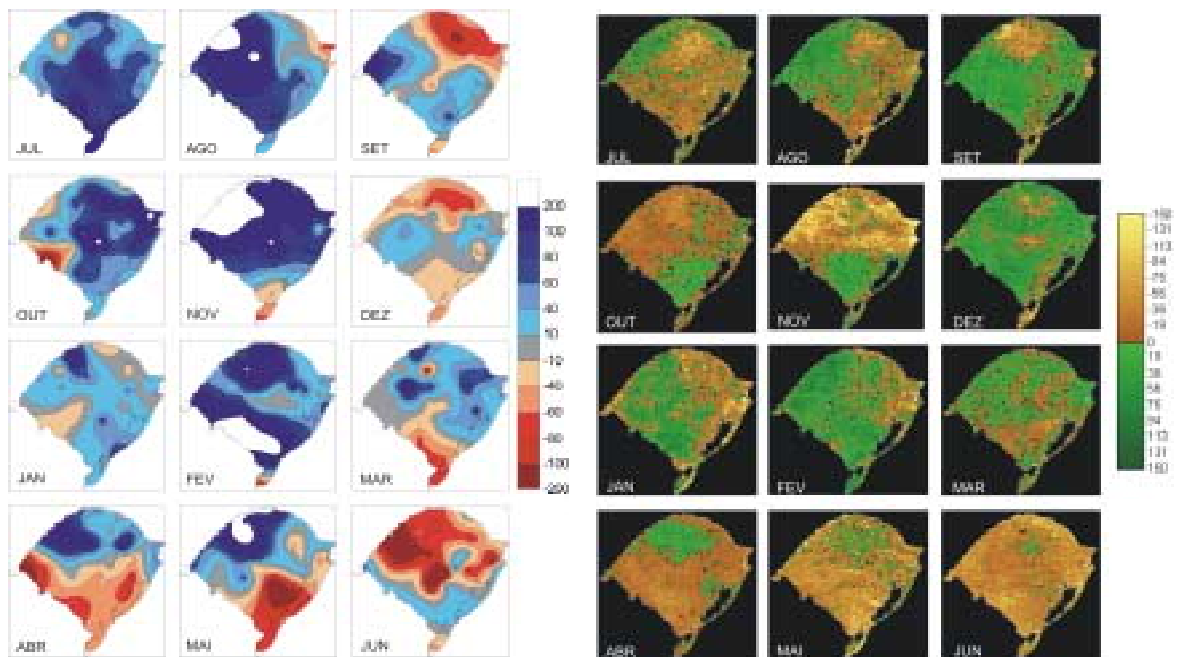
Apêndice 10. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1997-1998** no Estado do Rio Grande do Sul.



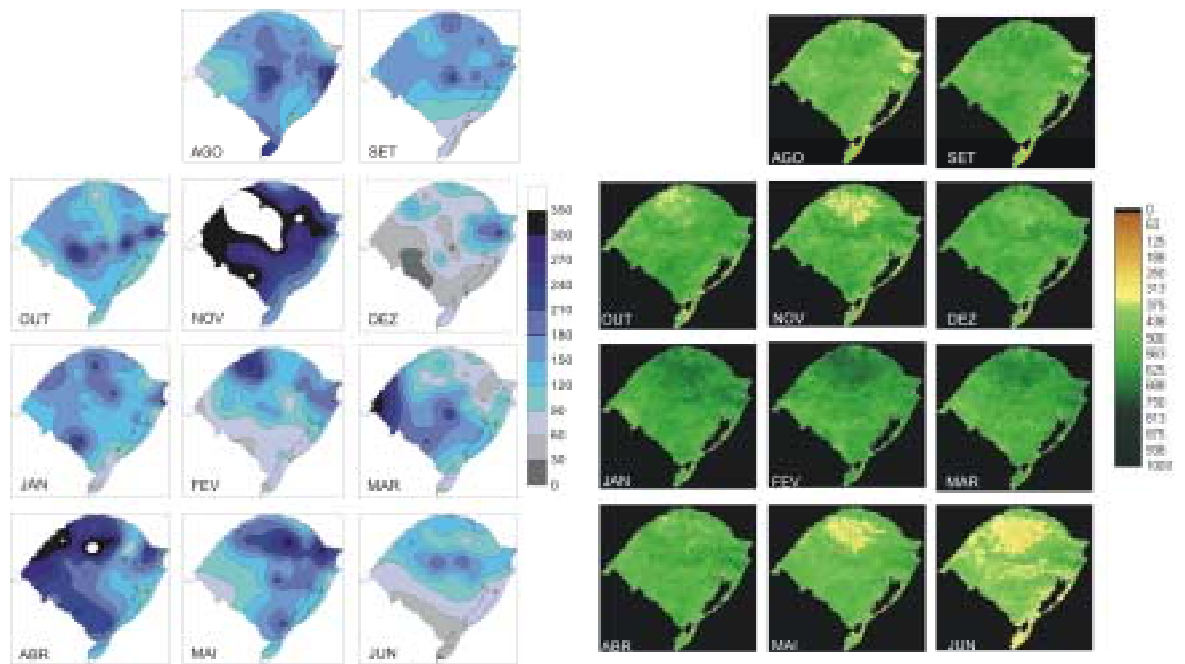
Apêndice 11. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante a **La Niña de 1988-1989** no Estado do Rio Grande do Sul.



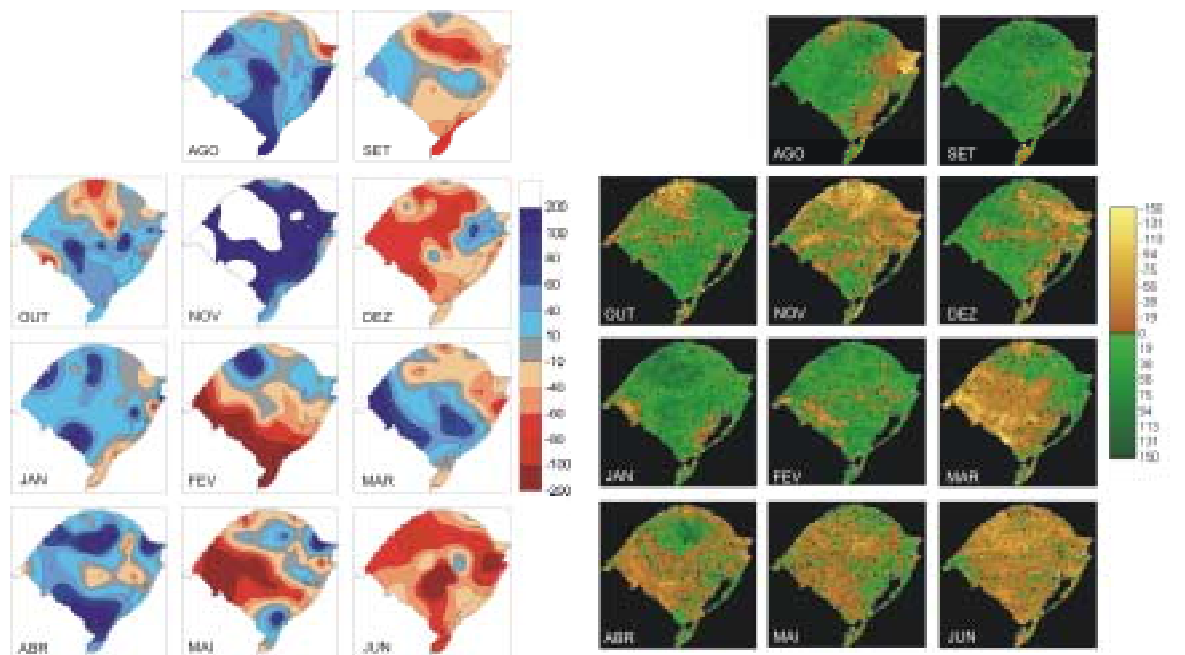
Apêndice 12. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1982-1983** no Estado do Rio Grande do Sul.



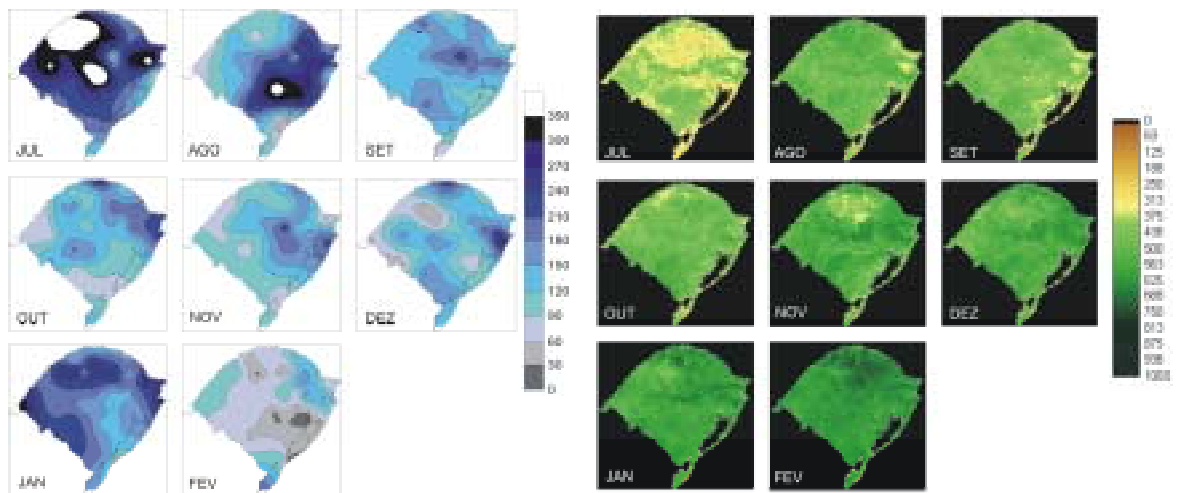
Apêndice 13. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1982-1983** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



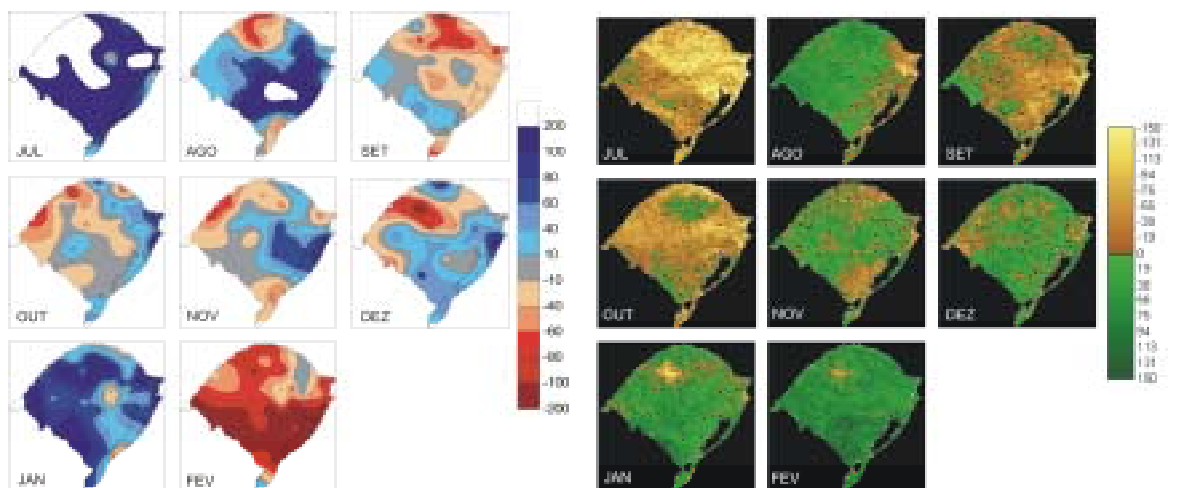
Apêndice 14. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1986-1987** no Estado do Rio Grande do Sul.



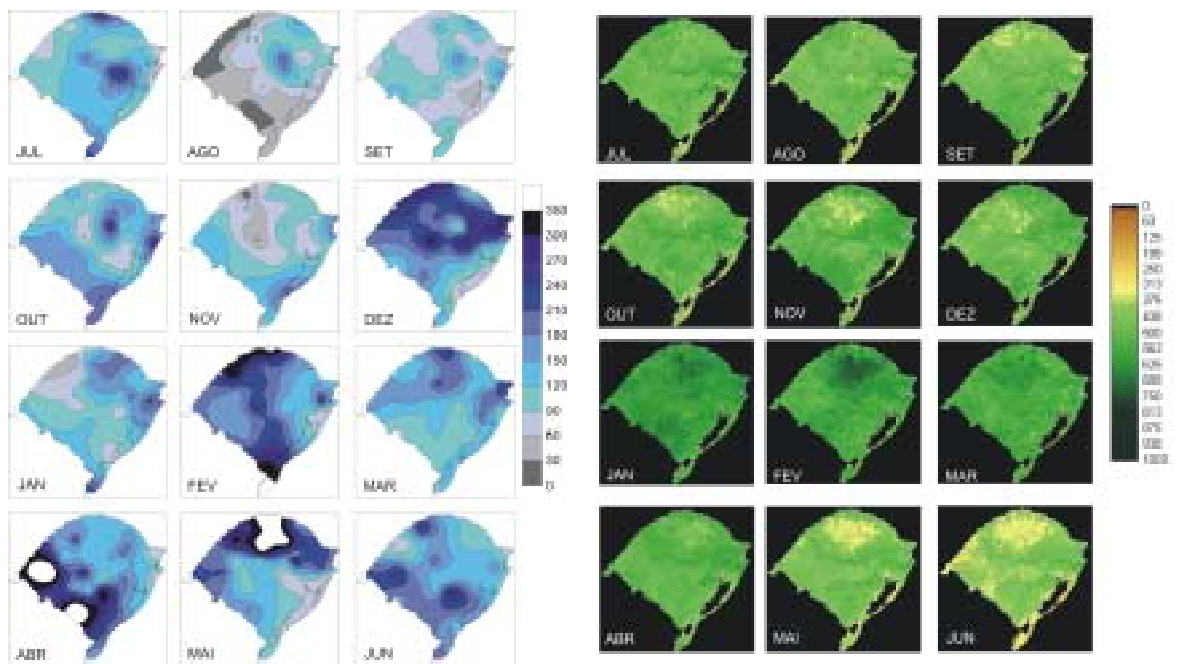
Apêndice 15. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1986-1987** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



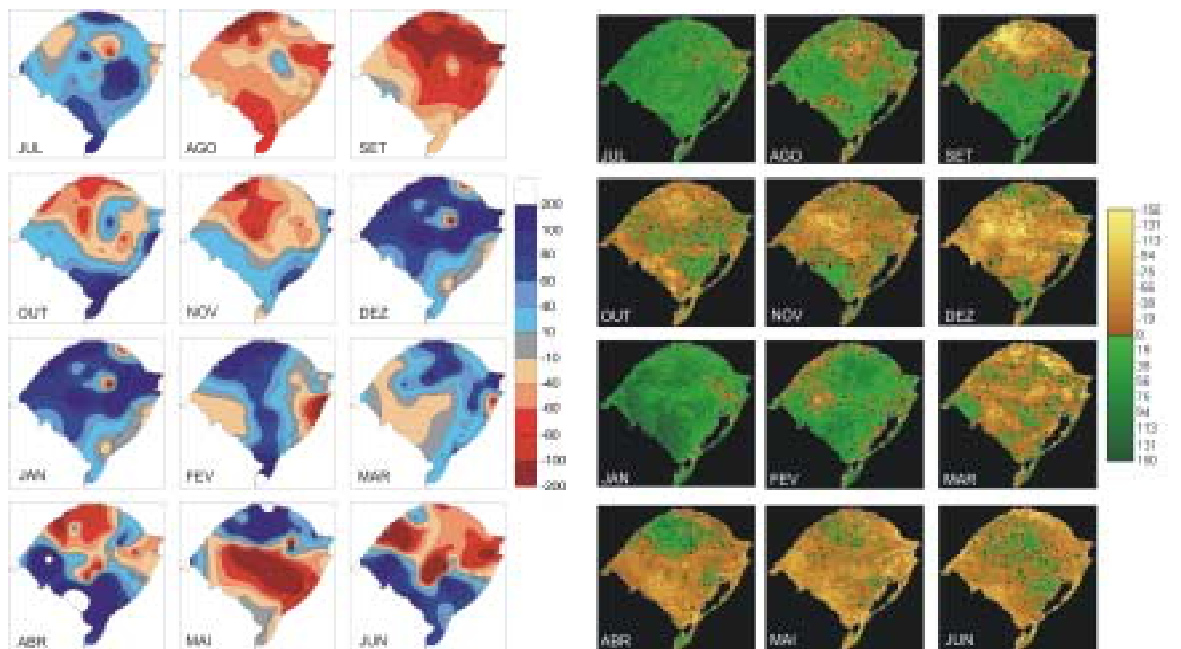
Apêndice 16. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1987-1988** no Estado do Rio Grande do Sul.



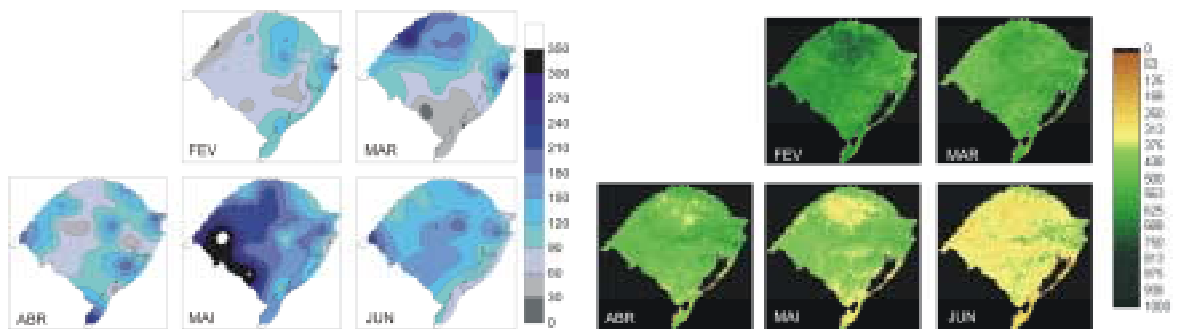
Apêndice 17. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1987-1988** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



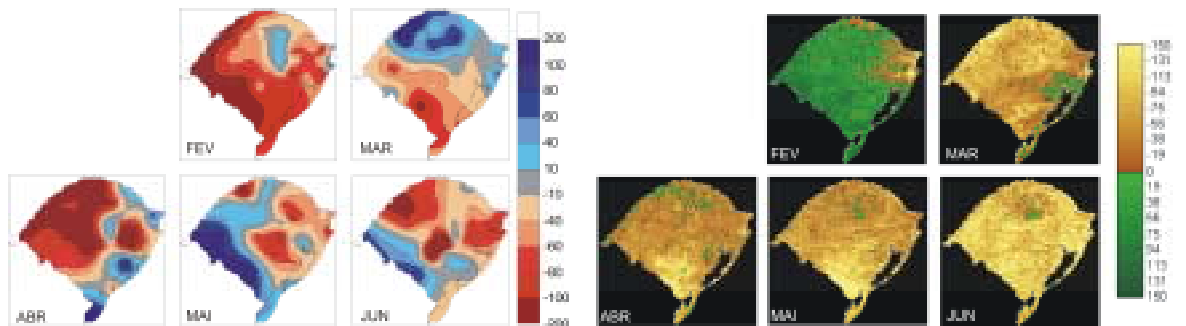
Apêndice 18. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1991-1992** no Estado do Rio Grande do Sul.



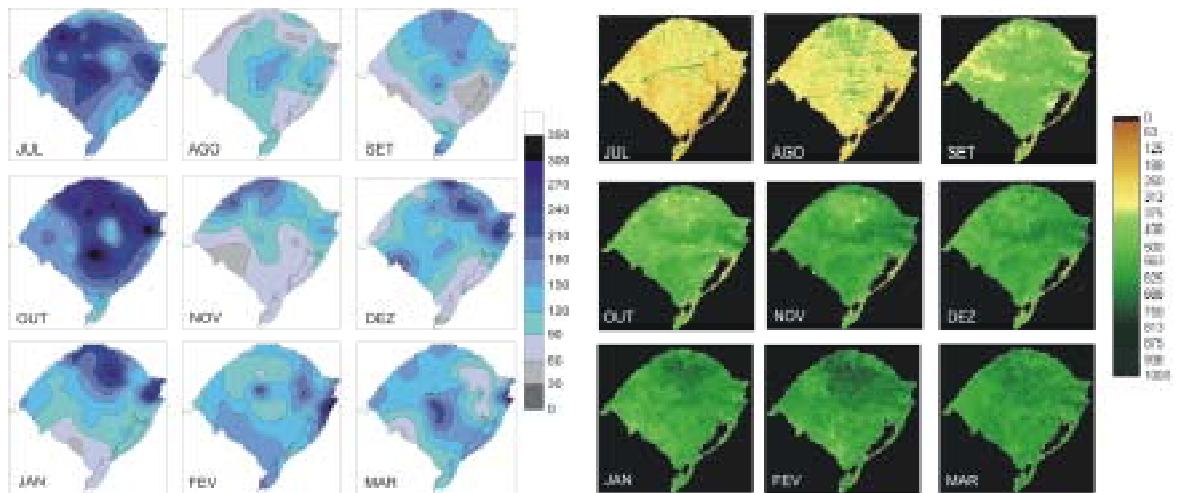
Apêndice 19. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1991-1992** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



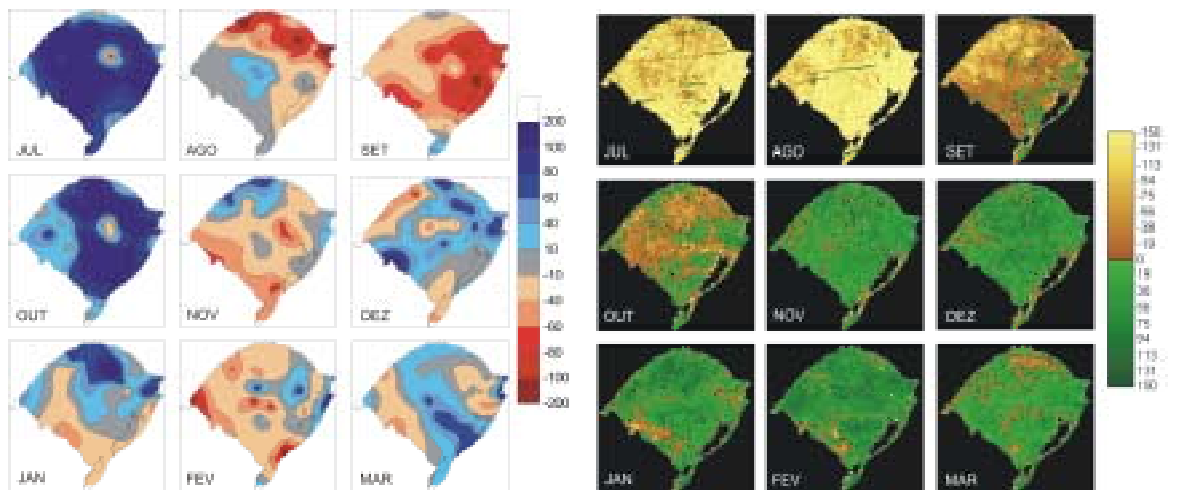
Apêndice 20. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1992-1993** no Estado do Rio Grande do Sul.



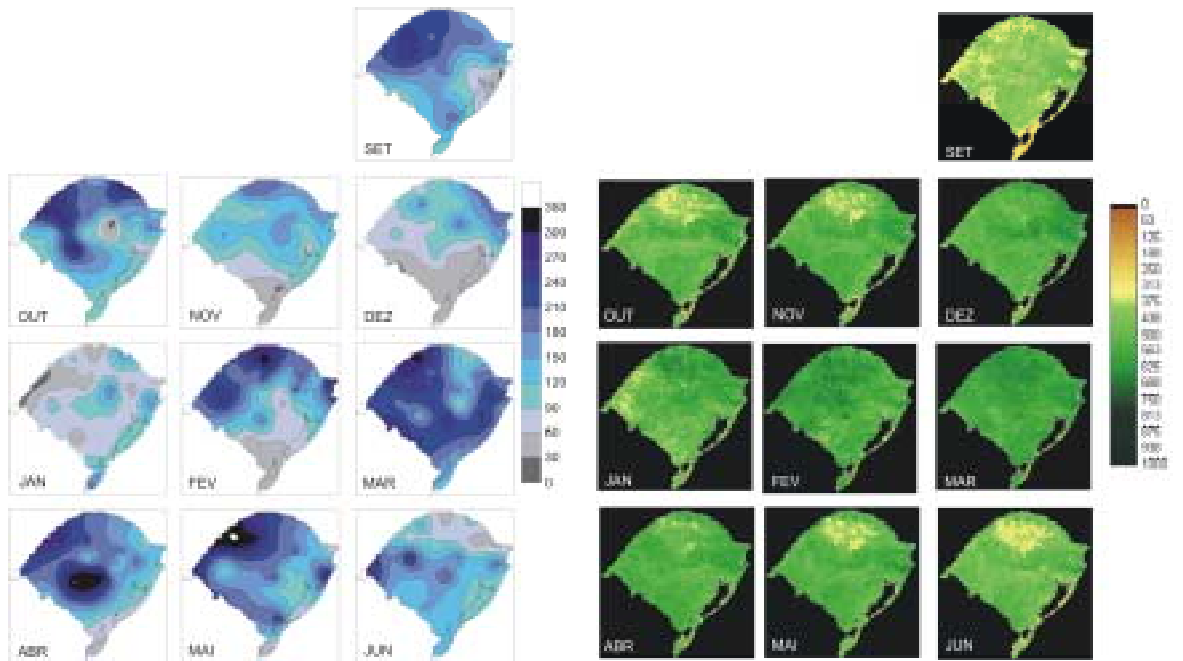
Apêndice 21. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1992-1993** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



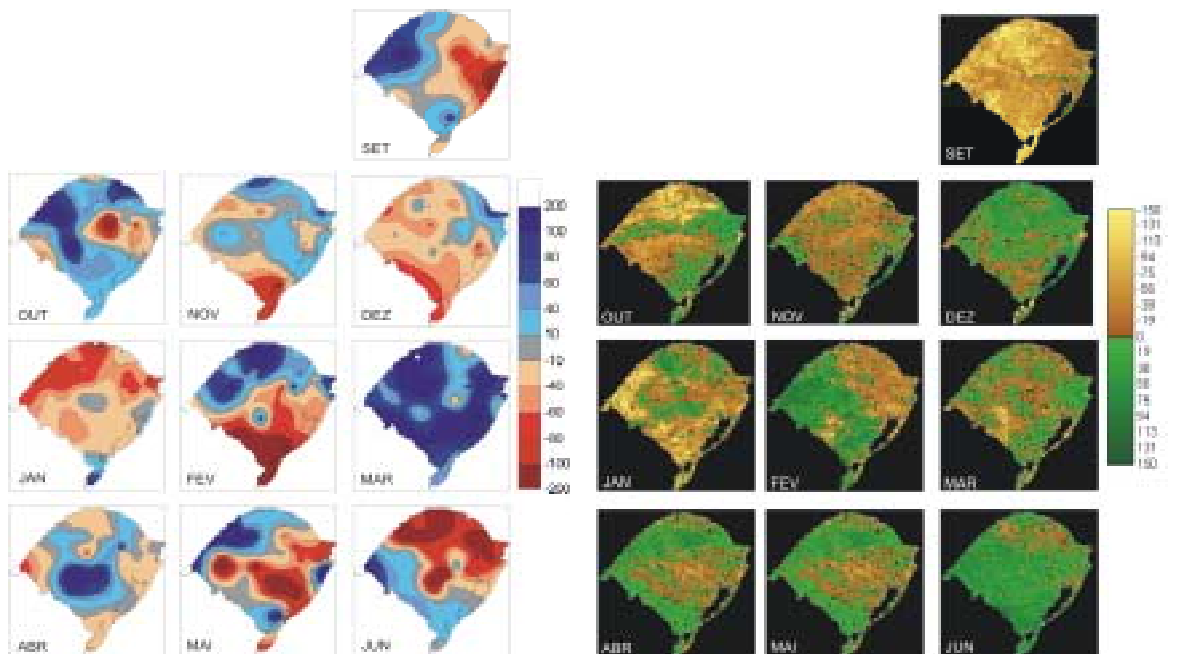
Apêndice 22. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante o **El Niño de 1994-1995** no Estado do Rio Grande do Sul.



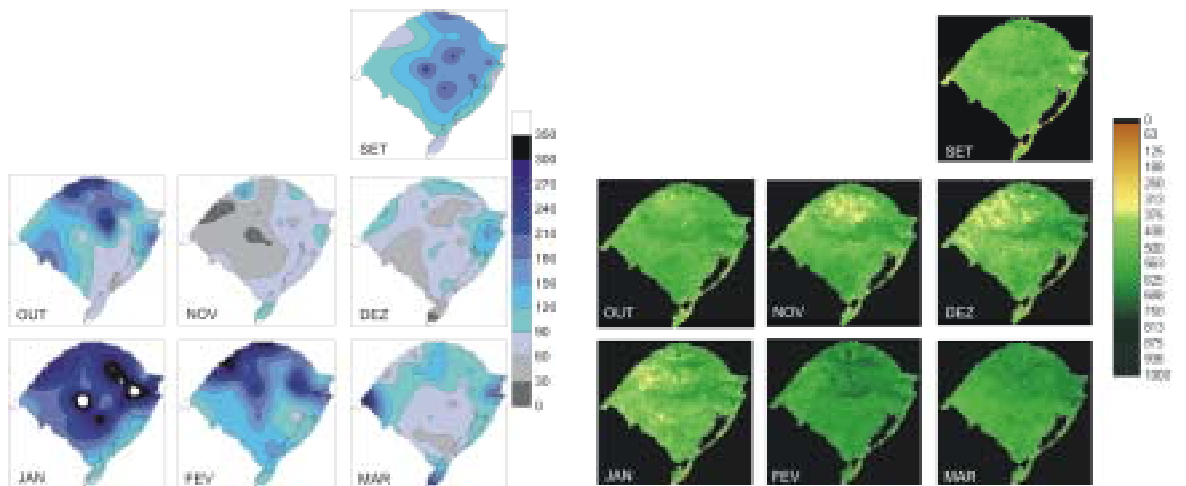
Apêndice 23. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **El Niño de 1994-1995** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



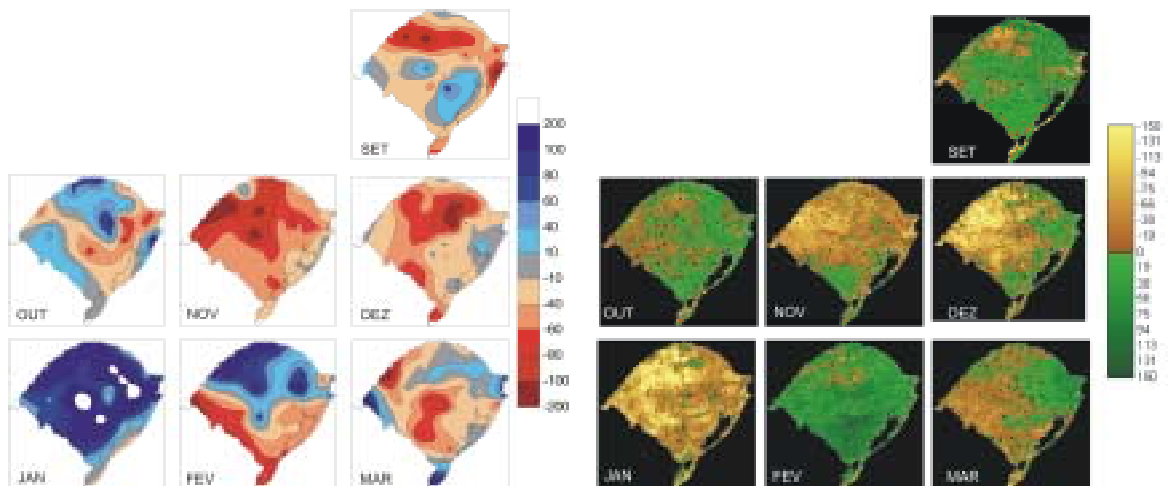
Apêndice 24. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante a **La Niña de 1984-1985** no Estado do Rio Grande do Sul.



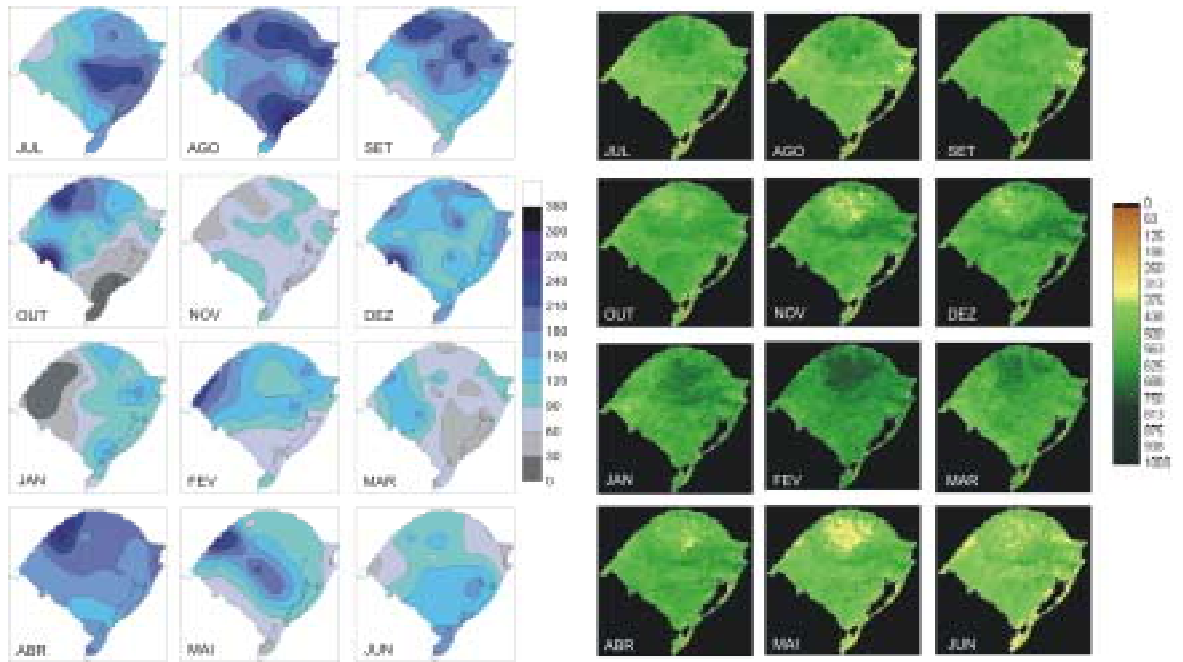
Apêndice 25. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante a **La Niña de 1984-1985** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



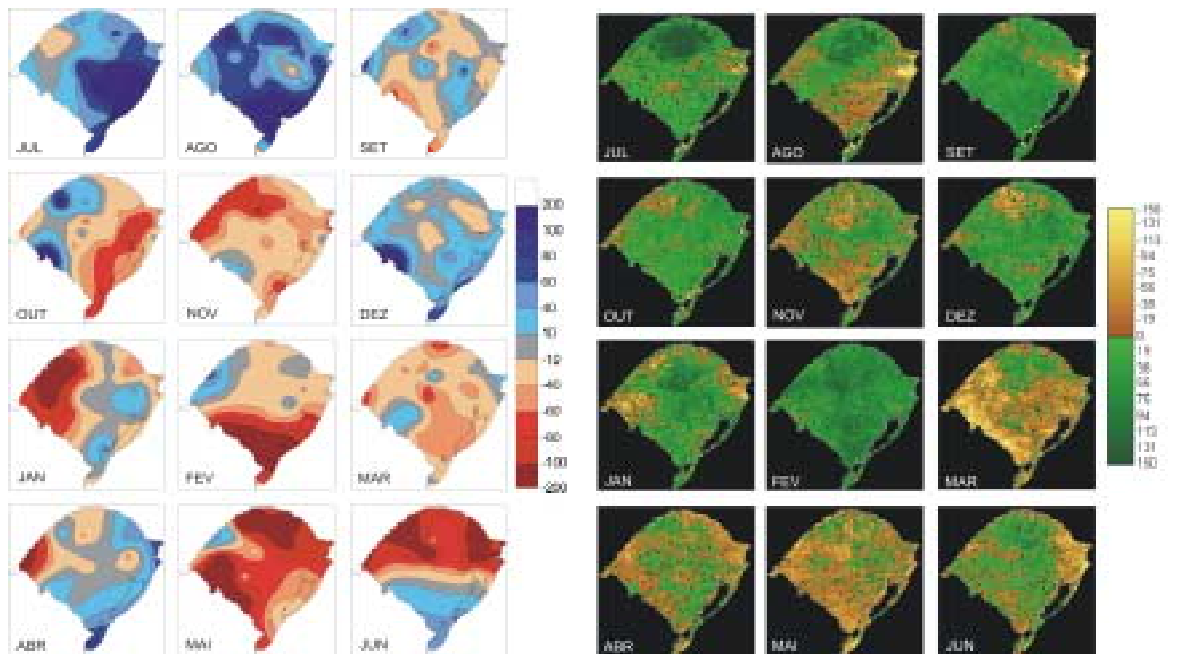
Apêndice 26. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante a **La Niña de 1995-1996** no Estado do Rio Grande do Sul.



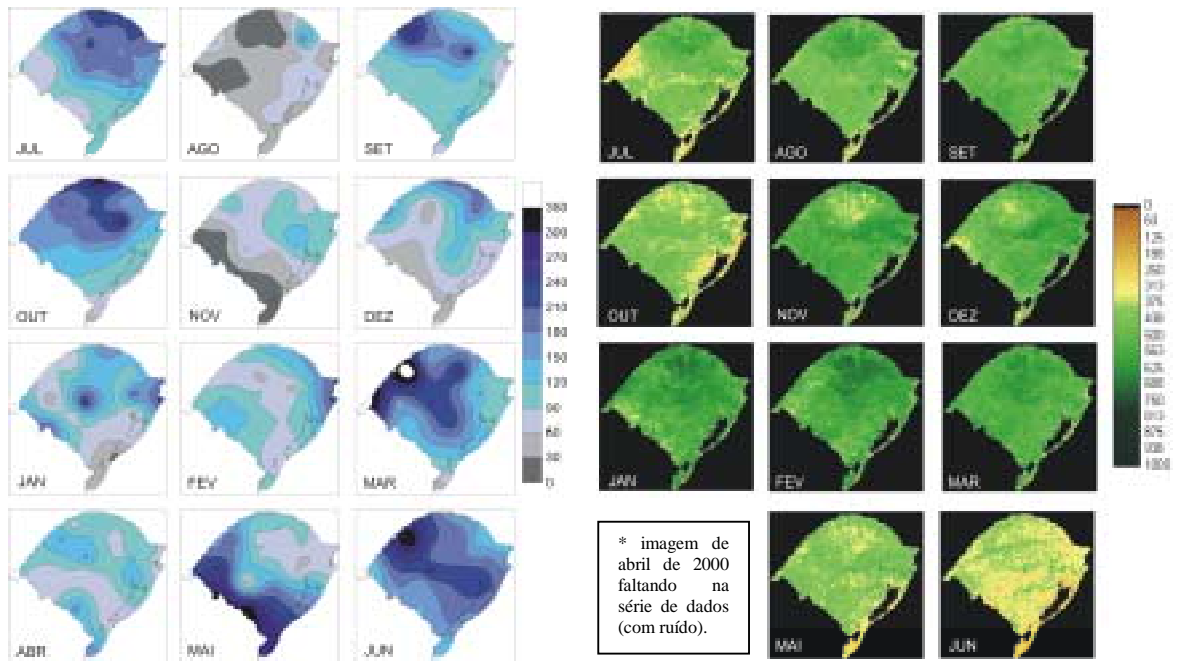
Apêndice 27. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante o **La Niña de 1995-1996** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



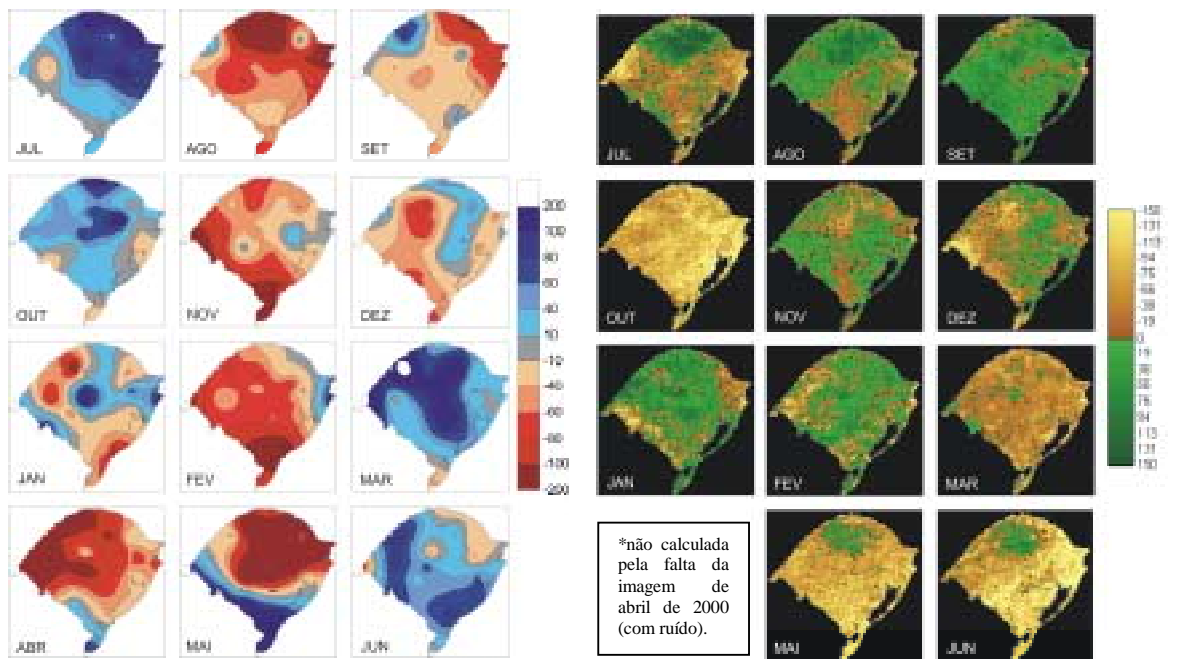
Apêndice 28. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante a **La Niña de 1998-1999** no Estado do Rio Grande do Sul.



Apêndice 29. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante a **La Niña de 1998-1999** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.



Apêndice 30. Precipitação pluvial (mm) e NDVI durante a **La Niña de 1999-2000** no Estado do Rio Grande do Sul.



Apêndice 31. Anomalias de precipitação pluvial (mm) e NDVI médias durante a **La Niña de 1999-2000** no Estado do Rio Grande do Sul. As anomalias são relativas aos anos neutros no período de 1981 a 2000.

VITA

Lizandro Oliveira Jacóbsen, filho de Luiz Antônio Borba Jacóbsen e Eleni de Fátima Oliveira Jacóbsen, nasceu em 07 de maio de 1977, em Campos Novos, Santa Catarina.

Estudou na Escola Estadual de 1º e 2º Graus Jacinto Inácio em Santana da Boa Vista – RS, onde completou seus estudos de primeiro e segundo graus. Em 1995/1 ingressou na Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, graduando-se como Bacharel em Meteorologia em 1999/2. Em março de 2000 iniciou seus estudos de mestrado em Sensoriamento Remoto, no Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.