

## EFEITOS ASSOCIADOS A EL NIÑO E LA NIÑA NA VEGETAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, OBSERVADOS ATRAVÉS DO NDVI/NOAA

LIZANDRO OLIVEIRA JACÓBSEN<sup>1</sup>, DENISE CYBIS FONTANA<sup>2</sup> E YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Monitoramento e Previsão - Instituto Tecnológico SIMEPAR

<sup>2</sup> Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia - Faculdade de Agronomia - UFRGS

<sup>3</sup> Departamento de Sensoriamento Remoto - INPE

E-mail: lizandro@simepar.br, dfontana@vortex.ufrgs.br e yosio@ltid.inpe.br

Recebido Maio 2003 - Aceito Fevereiro 2004

### RESUMO

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. Os dados, classificados como El Niño, La Niña e neutro, foram utilizados para confeccionar imagens médias, imagens de anomalias e para traçar gráficos da evolução temporal de NDVI. Por fim, foi feita a análise da relação entre precipitação pluvial e NDVI. Os resultados mostraram que 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 aumentos na precipitação pluvial e consequentes anomalias positivas de NDVI, enquanto em anos de La Niña ocorrem diminuições da precipitação pluvial, as quais proporcionam 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. As condições meteorológicas favoráveis ou desfavoráveis mostram uma defasagem temporal entre o aumento ou diminuição da precipitação pluvial e o consequente aumento ou decréscimo de NDVI.

**Palavras-chave:** El Niño, La Niña, NDVI, cobertura vegetal, Rio Grande do Sul

### 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 temporal evolution in the state of Rio Grande do Sul, using NOAA satellite images. Monthly rainfall data and Normalized Difference of Vegetation Index (NDVI) images were used for the period from July 1981 to June 2000. 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 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 NDVI anomalies in some periods and regions of the state. The greatest impact of the el Niño and La Niña on the NDVI occurs in November and February. The favorable and unfavorable water conditions show a lag between the increase or decrease of rainfall, and consequent increase or decrease of NDVI.

**Key words:** El Niño, La Niña, NDVI, vegetation cover, Rio Grande do Sul

## 1. INTRODUÇÃO

El Niño e La Niña é um fenômeno que ocorre no Oceano Pacífico tropical e que interfere nas condições meteorológicas, especialmente precipitação pluvial e temperatura, em diversas regiões do Globo. O Estado do Rio Grande do Sul situa-se numa das regiões de grande impacto, estando associado a alterações em alguns elementos meteorológicos. Os principais efeitos associados no Estado se dão sobre a precipitação

pluvial e a temperatura do ar. Grimm e Sant'Anna (2000), Fontana & Berlato (1997) e Puchalski (2000) mostraram que, associado à La Niña, ocorre diminuição na precipitação pluvial, notadamente nos períodos de primavera e verão. Além da quantidade, verifica-se alteração também na distribuição da precipitação pluvial, sendo o número de dias de chuva inferior em anos de La Niña (Fontana e Almeida, 2002). Quanto ao efeito sobre a temperatura do ar, Puchalski (2000) mostrou que em anos de La Niña a temperatura média é inferior à normal

em praticamente todos os meses do ano. Posteriormente, Lopes e Berlatto (2001) constataram que o efeito sobre a temperatura média ocorre como consequência da diminuição da temperatura mínima em todos os meses do ano, mas com maior intensidade nos meses de outubro e novembro. Em condições de El Niño os efeitos associados são aproximadamente inversos. Em consequência de alterações nestes elementos meteorológicos, também o déficit hídrico mostra associação com El Niño e La Niña. Puchalski (2000) verificou que em anos de La Niña os riscos de ocorrência de déficit hídrico no final da primavera e início de verão aumentam de forma significativa, principalmente na metade sul do Estado, enquanto que em anos de El Niño as probabilidades de déficit diminuem drasticamente.

Sabendo-se que as condições meteorológicas do Rio Grande do Sul em anos de El Niño e La Niña sofrem alterações, pode-se esperar, em decorrência, que a evolução temporal da cobertura vegetal nas áreas afetadas, também seja alterada. Isto porque a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais, incluindo condições de clima, de topografia e de solos.

Neste contexto, técnicas de sensoriamento remoto são de grande utilidade, pois possibilitam a realização de estudos sobre o desenvolvimento da vegetação em grandes áreas, devido à alta resolução espacial e temporal dos sensores atualmente disponíveis. O Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration (AVHRR/NOAA) é um dos sensores que tem sido mais amplamente utilizado para o monitoramento da vegetação em nível regional (Batista et al., 1993 e Rizzi e Fonseca, 2001). A escala temporal, combinações mensais, dos dados deste sensor permite acompanhar o crescimento e desenvolvimento da vegetação. Já a escala espacial, de alguns quilômetros, mostra-se compatível com a dos efeitos associados a fenômenos de grande escala, como é o caso do El Niño e La Niña.

Em geral, estudos deste tipo utilizam os denominados índices de vegetação. Entre os numerosos índices de vegetação disponibilizados na literatura do ramo, com certeza o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais utilizado.

O NDVI é calculado pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do visível e do infravermelho próximo, conforme a equação:

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

onde  $\rho_v$  e  $\rho_{iv}$  são as reflectâncias nas bandas do visível e infravermelho próximo, respectivamente.

O contraste entre a reflectância nas bandas do visível e infravermelho da vegetação é singular, o que facilita a distinção de outros alvos. A vegetação, enquanto verde, caracteriza-se pela baixa reflectância na porção visível do espectro, devido a grande absorção da radiação incidente pelos pigmentos das plantas, aumentando rapidamente na porção do infravermelho próximo, devido ao espalhamento da radiação no interior do

mesófilo (Baret & Guyot, 1991).

Este índice possui uma relação de dependência com as características estruturais e fisiológicas da vegetação. A geometria do dossel (ângulo de inserção, distribuição, orientação, espaçamento das folhas), as propriedades espectrais das folhas, bem como do solo, o teor de pigmentos, principalmente a clorofila, o conteúdo de água, o grau de senescência e os estresses ambientais ou nutricionais aos quais as plantas estão submetidas, são os principais fatores que modificam a reflectância de um dossel (Baret & Guyot, 1991; Antunes et al., 1993; Gamon et al., 1995). Entretanto, o NDVI mostra limitações em seu uso, sendo a principal limitação decorrente da falta de sensibilidade em estimar parâmetros de crescimento da vegetação em condições de alta densidade de biomassa, o que já foi observada por diversos autores, como Antunes et al. (1993) e Fonseca et al. (2002).

Mais do que proporcionar uma visão de como a cobertura vegetal se encontra distribuída na superfície, o NDVI permite um estudo da dinâmica da cobertura, evidenciando as variações apresentadas por ela em decorrência de forçantes climáticas isoladas, dos ciclos fenológicos anuais e de eventos episódicos, como é o caso do El Niño e La Niña.

Alguns dos estudos mais recentes que têm demonstrado a possibilidade de monitorar as alterações na condição da cobertura vegetal, usando imagens de satélite, associado ao El Niño e La Niña, 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.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos associados ao El Niño e La Niña sobre o desenvolvimento da cobertura vegetal e sua evolução temporal no Estado do Rio Grande do Sul, usando imagens AVHRR do satélite NOAA, e determinar as áreas e épocas do ano de maior influência deste fenômeno.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo abrangeu o Estado do Rio Grande do Sul, localizado entre as latitudes 27° 05' e 33° 45' S e longitudes 49° 43' e 57° 39' W, correspondendo a área total de 282.184 Km<sup>2</sup>. O clima do Estado é, segundo Köppen, pertencente à zona fundamental temperada ou "C", tipo úmido ou "Cf", com as variedades "Cfa" e "Cfb" (sub-tropical e temperado, respectivamente).

O período de estudo 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 definição dos anos seguiu Trenberch (1997) e CPC-NCEP-NOAA (2002), sendo apresentada na Tabela 1.

O conjunto de imagens AVHRR/NOAA utilizado foi fornecido pelo Grupo GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modelling Studies) da NASA/GSFC (National Aeronautics

and Space Administration/Goddard Space Flight Center), com as correções radiométricas e geométricas processadas, para a região da América do Sul. Os mosaicos quinzenais são derivadas das imagens AVHRR adquiridas no formato GAC (Global Area Coverage, resolução espacial de 4 km x 4km) e reamostradas para a resolução de aproximadamente 8km x 8km. Este conjunto de dados foi a seguir processado em colaboração com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), gerando as composições mensais através do mesmo critério utilizado anteriormente, ou seja, o máximo valor de NDVI. Estas composições foram então geometricamente retificadas (registro imagem-imagem) e registradas utilizando a projeção “albers área igual cônica” e o elipsóide “clark”A, assegurando assim a fidelidade da superposição entre os pixels. Finalmente, a área de estudo foi recortada gerando um novo conjunto de imagens mensais abrangendo 130 colunas por 140 linhas. Os valores de NDVI, situados entre -1 e +1 foram multiplicados por 1000. Em cada imagem, os valores fora destes limites, foram substituídos por -9999 e nas regiões de lagoas e do oceano o valor atribuído foi de -9998, conforme utilizado por Dessay et al. (2001).

As imagens, inicialmente, em formato do software Envi foram renomeadas e exportadas para o software Idrisi v.3.2, onde, posteriormente, foram multiplicadas por uma imagem “booleana” (máscara) do Estado do Rio Grande do Sul, na

qual o contador digital dos pixels correspondentes às lagoas, oceano e regiões fora dos limites do Estado foi atribuído o valor zero.

Para o período básico de estudo foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial provenientes de 40 estações meteorológicas do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) e da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO-RS), distribuídas no Rio Grande do Sul. 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 utiliza a técnica de regressão linear múltipla.

O método de Kriging foi utilizado para realizar a interpolação espacial e geração de isolinhas de precipitação pluvial mensal. Neste método é utilizado 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 foi de 140 linhas e 130 colunas, compatível com as imagens NDVI.

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

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											
83-84	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
84-85	N	N	LN									
85-86	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
86-87	N	EN										
87-88	EN	N	N	LN	LN							
88-89*	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											
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	N	N	N								
95-96	N	N	LN	N	N	N						
96-97	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN
97-98*	EN	N										
98-99*	LN											
99-00*	LN											

Tabela 1: 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 (2002). \* Eventos fortes

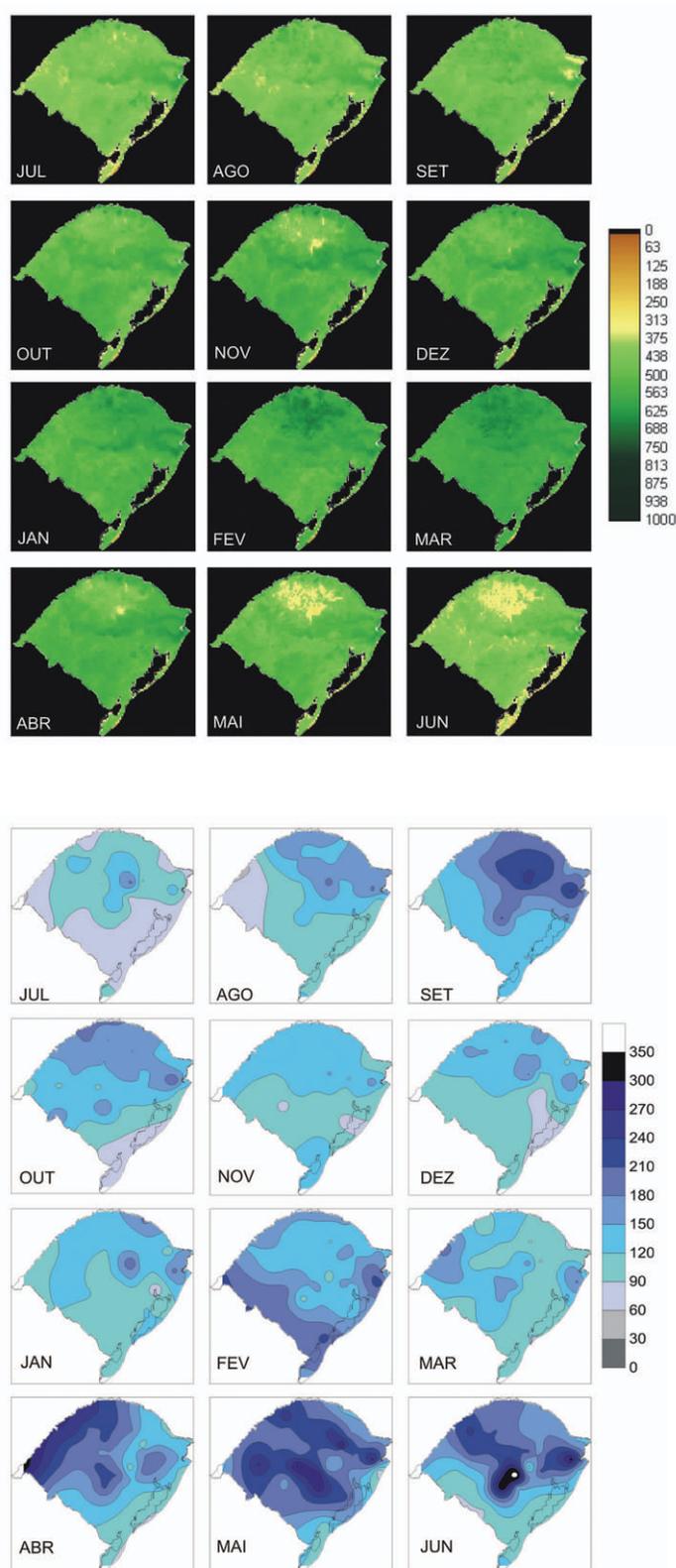


Figura 1:

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. 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.

A média dos anos neutros, ou seja, anos de não ocorrência do fenômeno, foi utilizada como base de cálculo das anomalias em analogia à metodologia amplamente utilizada em trabalhos de meteorologia.

Por fim, foram analisadas as imagens de anomalias de NDVI e de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul nos anos de maior intensidade do fenômeno El Niño e La Niña.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que, para os três cenários

(imagens médias dos anos de El Niño, La Niña e Neutros), existe variação no decorrer do ano tanto para NDVI como para precipitação pluvial.

Em anos Neutros (Figura 1) a precipitação pluvial foi regularmente distribuída ao longo do ano, sendo que na maior parte do Estado, as precipitações pluviais foram superiores a 90mm. 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, 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

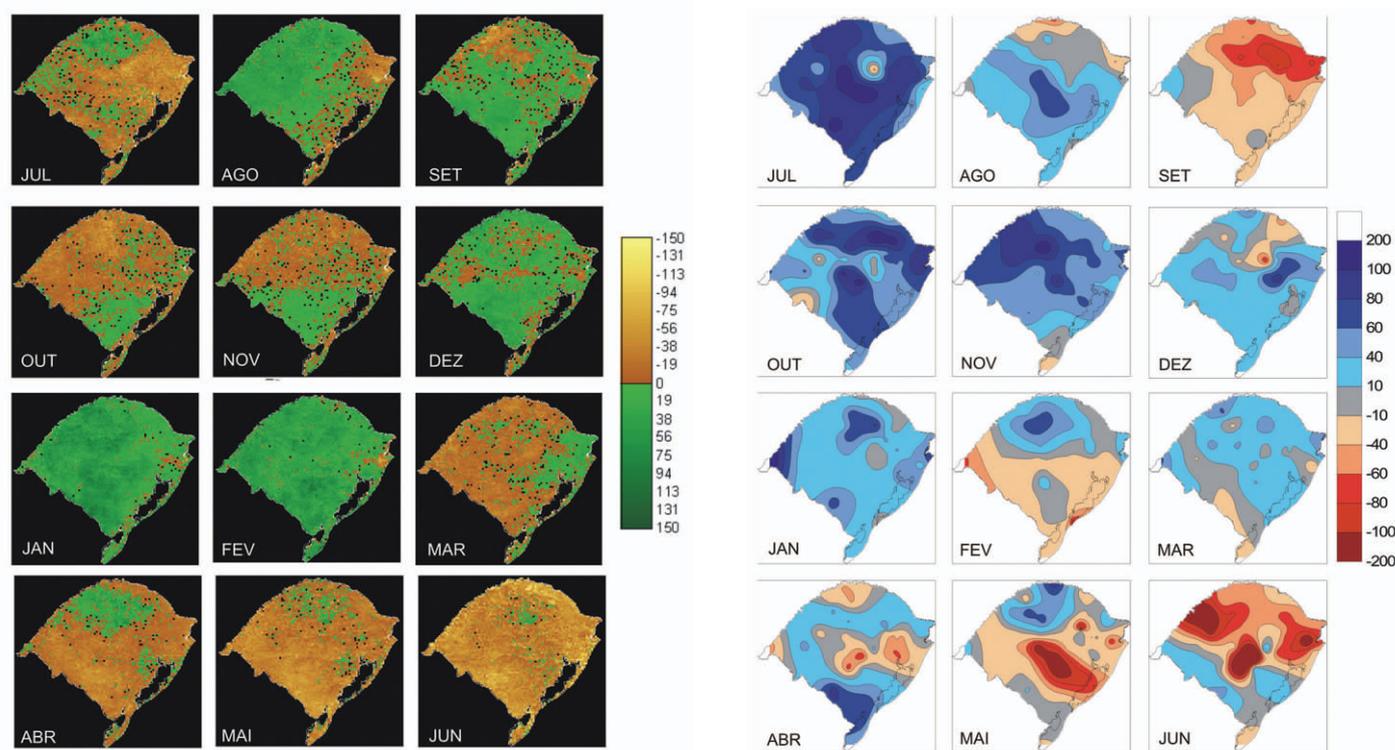


Figura 2:

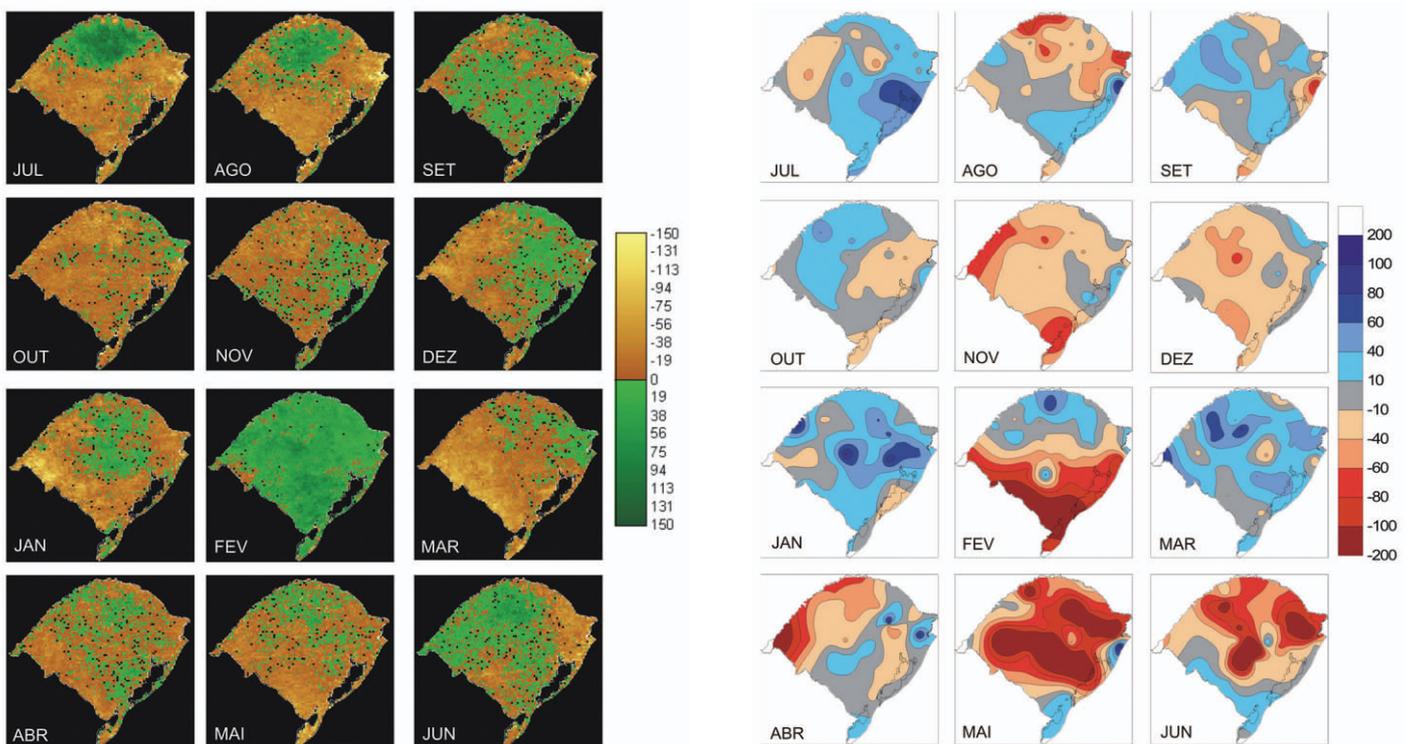


Figura 3:

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. Os valores mínimos de NDVI ocorreram em setembro, possivelmente associado à prática de queimadas na região e final do ciclo das culturas de inverno, e os valores máximos ocorreram 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 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 (Rizzi e Fonseca, 2001).

Em anos de El Niño (Figura 2) 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 Berlatto (1997), Grimm e Sant'Anna (2000) e Puchalski (2000), os quais utilizando uma série de dados mais longa do que a 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 Berlatto 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 2, observa-se que o excedente de precipitação pluvial verificado nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro acarretou anomalias positivas de NDVI no Estado, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Estes meses caracterizam-se por intensa atividade agrícola no Estado, com predominância de culturas de sequeiro. Quando as condições de precipitação pluvial são favoráveis, as perdas agrícolas são minimizadas, verificando-se melhores condições de estabelecimento e crescimento das lavouras e, portanto, incrementos de NDVI no período seguinte. Este incremento também pode ser consequência de uma resposta positiva dos agricultores às condições favoráveis, com incremento de área cultivada. Estes e outros fatores fazem com que se observe uma defasagem temporal em termos de resposta da vegetação às condições meteorológicas, especialmente hídricas, favoráveis. Este “atraso”, em relação à resposta da vegetação ao estímulo da precipitação pluvial, também foi observado por Schroeder et al. (1999).

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

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

Tabela 3. 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).

Já nos anos de La Niña (Figura 3), 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. Ao longo

do ano, o mês de fevereiro é o único mês que, em condições de La Niña, predominam anomalias positivas de NDVI em todo o Estado, o que possivelmente seja consequência das anomalias positivas de precipitação pluvial verificadas no mês de janeiro.

A Tabela 2, 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 pluviiais 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 4, 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

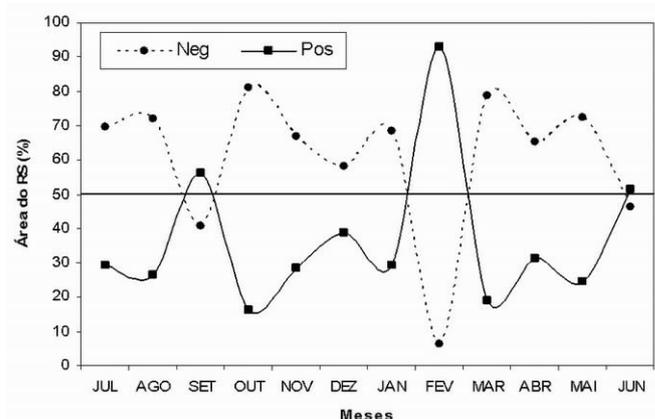
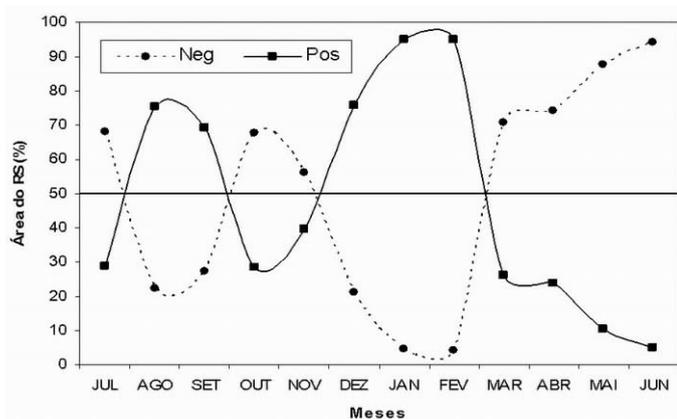


Figura 4: a) El Niño; b) La Niña.

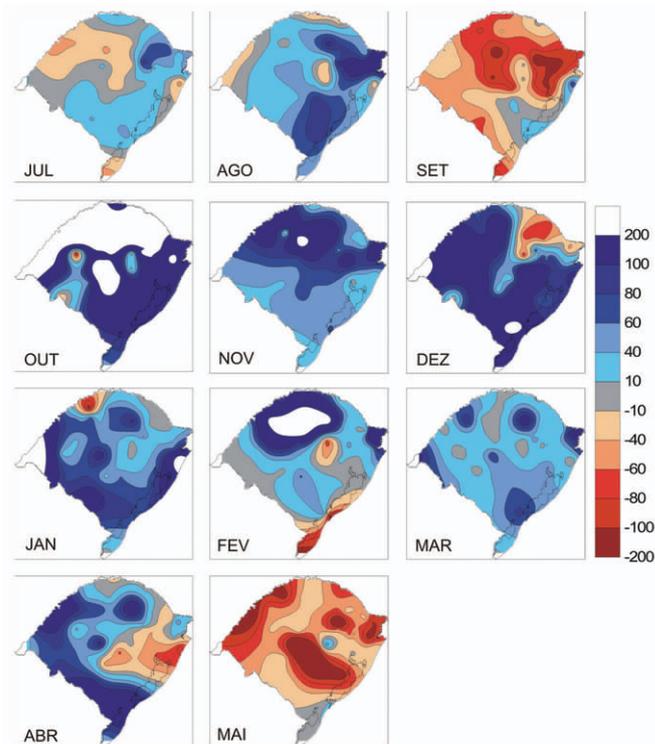
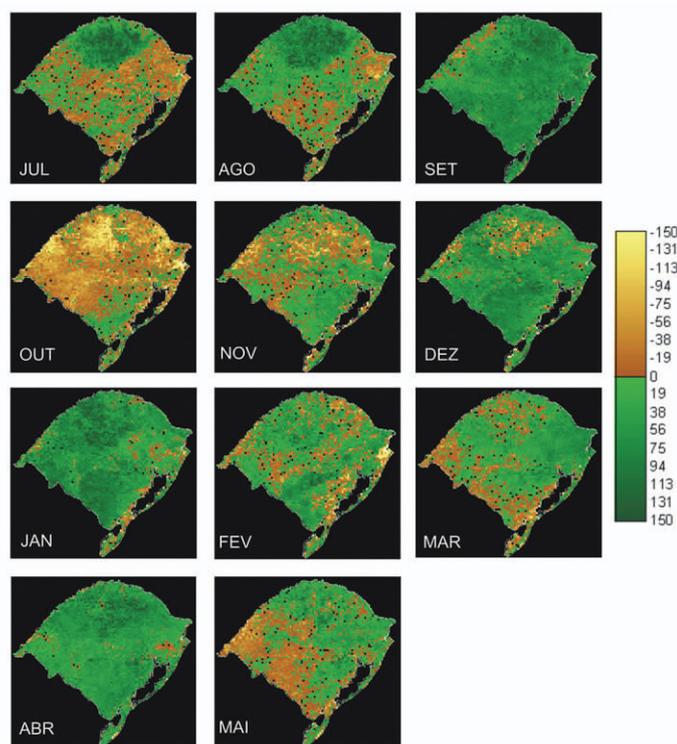


Figura 5:

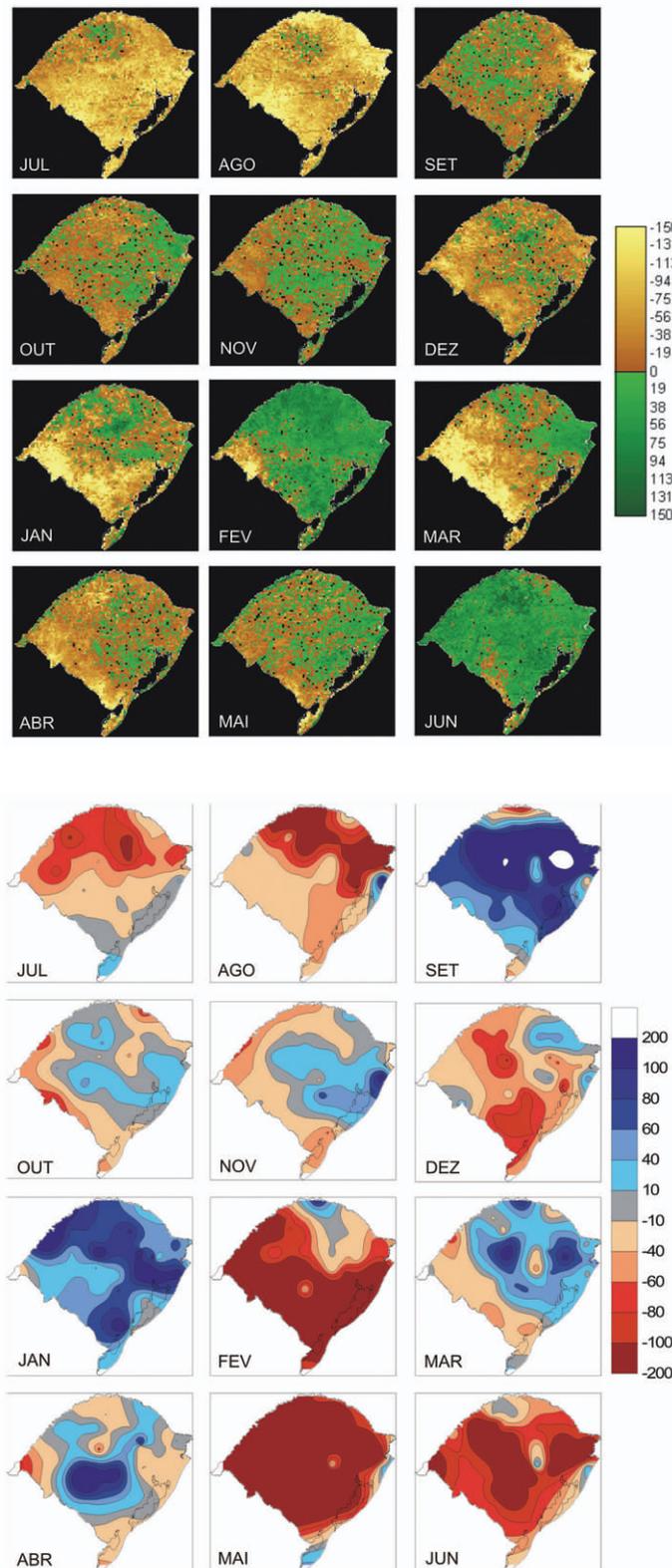


Figura 6:

95% da área no Estado.

Em anos de La Niña (Tabela 3), 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 4, 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.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os casos de El Niño de 1997-1998 e La Niña de 1988-1989, por serem classificados como os mais fortes eventos do período de estudo (Mota, 2000, Marengo, 2001 e CPC-NCEP-NOAA, 2002). Comparados aos demais anos de ocorrência de El Niño e La Niña analisados, 1997-1998 e 1988-1989 foram efetivamente os dois eventos que determinaram os maiores impactos tanto na precipitação pluvial como no NDVI no Estado do Rio Grande do Sul. Em ambos os anos, 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 5), 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. As anomalias positivas de NDVI predominaram em quase todos os meses do ano, abrangendo entre 57 e 96 % da área do Estado (Tabela 2). O mês de exceção foi outubro, quando somente 22% da área do Estado mostrou anomalias positivas de NDVI. Dessay et al. (2001) e Anyamba et al. (2001) também verificaram anomalias positivas de NDVI 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 6). A predominância de anomalias negativas também foi verificada nas imagens de NDVI, 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 3). As exceções foram os meses de fevereiro (17%) e junho (9%). As anomalias negativas de NDVI durante o inverno possivelmente sejam 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.

#### 4. CONCLUSÕES

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 aumentos na precipitação pluvial e consequentes anomalias positivas de NDVI, enquanto em anos de La Niña ocorrem diminuições da precipitação pluvial, as quais proporcionam 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. As condições meteorológicas favoráveis ou desfavoráveis mostram uma defasagem temporal entre o aumento ou diminuição da precipitação pluvial e o consequente aumento ou decréscimo de NDVI.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME/INMET), Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO-RS) e Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS) que cederam as imagens de NDVI, dados meteorológicos e softwares necessários à realização deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, M.A.H.; ASSAD, E.D.; BATISTA, G.T. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merril). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 1993. p.1-9.

- 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.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.35, 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., 1993, Curitiba, **Anais...**Curitiba: INPE, 1993. v.2, p. 30-37.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e o rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125. 1999.
- 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](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html)> Acesso em: 20.abr.2002.
- 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. 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.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1. p.135-141. 2002.
- 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.
- FONSECA, E.L.; ROSA, L.M.G.; FONTANA, D.C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p. 365-371, 2002.
- 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.
- 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.
- GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. da S. Influência de Fases Extremas da Oscilação Sul Sobre a Intensidade e Frequência 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

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. 1 CD-ROM.

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.

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.