

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 111-116, 1996.

Recebido para publicação em 21/11/95. Aprovado em 18/04/96.

ISSN 0104-1347

CORRELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO GLOBAL E ELEMENTOS AGROMETEOROLÓGICOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

CORRELATION BETWEEN THE GLOBAL VEGETATION INDEX AND AGROMETEOROLOGICAL ELEMENTS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

Denise Cybis Fontana², Moacir Antonio Berlato³, Homero Bergamaschi³ e Daniela Oliveira⁴

RESUMO

Dentre os parâmetros gerados a partir de satélites, o índice de vegetação global (GVI) é o mais apropriado para fazer estimativas de alguns elementos agrometeorológicos em escala regional. A estimativa é feita de forma indireta, visto que o índice GVI é relacionado às condições da biomassa, que, por sua vez, são resultantes das condições meteorológicas às quais a vegetação é submetida durante seu desenvolvimento. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização do índice GVI para a estimativa de elementos agrometeorológicos no Estado do Rio Grande do Sul. Neste sentido, foi utilizada uma série temporal de elementos meteorológicos e de imagens GVI, abrangendo o período de setembro de 1982 a maio de 1986. Foi efetuada uma análise de correlação simples entre o GVI e elementos agrometeorológicos, estabelecida em nível mensal, bimensal, trimensal e estacional. Os coeficientes de correlação mais expressivos foram observados para a região oeste do Estado, associados a variáveis envolvendo o fator hídrico no período de primavera-verão.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, índice de vegetação global, elemento agrometeorológico.

SUMMARY

¹Parte da tese de Doutorado em Fitotecnia, Opção Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Março, 1995. Projeto parcialmente financiado pelo CNPq.

²Eng^a Agr^a, Dr^a, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Cx Postal 776, CEP 91540000, Porto Alegre, RS.

³Eng^o Agr^o, Dr^o, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Cx Postal 776, CEP 91540000, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

⁴Bolsista de iniciação científica, Fac de Agronomia, UFRGS, Cx Postal 776, CEP 91540000, Porto Alegre, RS.

Among all the satellite generated parameters, the global vegetation index (GVI) is very useful to estimate the agrometeorological elements at regional level. The estimation is indirect, since the GVI index is related to biomass conditions and it is the result of the meteorological conditions that the vegetation is submitted during development. The main objective of this paper was to evaluate the possibility of using GVI to estimate agrometeorological elements in the State of Rio Grande do Sul. A temporal series of meteorological elements and GVI images were used from 1982 to 1986. A simple correlation analysis between GVI and agrometeorological elements was studied in periods of one, two, three and six months. Better correlations were found for the west portion of the state, associated to variables involving an hydric factor at the spring-summer season that represent a critical agricultural period.

Key words: Remote sensing, global vegetation index, agrometeorological element.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul ocupa um papel de destaque na produção agrícola nacional, contribuindo, em média, com 25% da produção brasileira de grãos. Entre os diversos fatores determinantes do rendimento agrícola no Estado, são os elementos meteorológicos relacionados às condições hídricas, os principais fatores determinantes das flutuações nos rendimentos das culturas de primavera-verão (BERLATO, 1992). Mesmo sendo o conhecimento dos elementos meteorológicos de grande relevância para a agricultura, sabe-se que é limitado o número de estações meteorológicas existentes no Estado, tornando-se, necessário buscar formas de estimar algumas dessas variáveis. Uma possibilidade de estimativa é através da utilização de sensoriamento remoto orbital, usando os denominados índices de vegetação.

Os índices de vegetação são obtidos a partir de razões ou transformações de valores de reflectância da vegetação, sendo sensíveis indicadores da presença e da condição da vegetação (BARET & GUYOT, 1991). Os fundamentos das relações entre os índices de vegetação e os elementos agrometeorológicos relacionam-se ao fato de que o crescimento e o desenvolvimento vegetal são resultantes das condições meteorológicas, sendo, portanto, possível estimar alguns elementos meteorológicos a partir da condição da vegetação e, em última instância, dos índices de vegetação.

Dentre os parâmetros gerados a partir de satélites, o índice de vegetação global (GVI) é o mais apropriado para fazer estimativas de alguns elementos meteorológicos em escala regional. Esta singularidade deve-se a características como cobertura diária global da Terra (grande faixa de imageamento por órbita), disponibilidade de bandas espectrais próprias ao monitoramento da vegetação

e ao pequeno volume de dados gerados (baixa resolução espacial).

Diversos autores têm demonstrado uma boa associação entre o GVI e as variáveis agrometeorológicas, principalmente, em condições de clima semi-árido (JUSTICE & HIERNAUX, 1985; MALINGREAU, 1986; MASSELI et al, 1992), mas também para outras regiões do globo (CIHLAR et al, 1991; DEBLONDE & CIHLAR, 1993). Em condições brasileiras, no Estado de Minas Gerais, ASSAD et al. (1988) verificaram um coeficiente de correlação de 0,74 entre GVI e a precipitação pluviual, utilizando 255 estações pluviométricas de superfície. BATISTA et al. (1993) observaram que os valores mais elevados de GVI ocorreram nos anos de maior precipitação para os vários tipos de cobertura estudados (floresta, caatinga e cerrado).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização do GVI para a estimativa de elementos agrometeorológicos nas condições climáticas do Estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados meteorológicos do período 1981 a 1986, provenientes de 28 estações da rede de estações agrometeorológicas da Fundação de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO/SCT-RS), distribuídos de forma a representar as condições climáticas do Estado.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada através da equação de PENMAN(1956), sendo o saldo de radiação estimado a partir da radiação solar global (BERGAMASCHI e GUADAGNIN, 1987). A partir dos dados de precipitação pluviual e de ET_o foram calculados os balanços hídricos meteorológicos seqüenciais em nível mensal (THORNTHWAITE e MATHER, 1955), utilizando uma capacidade de armazenamento de água disponível no solo de 100 mm. A evapotranspiração real (ET_r) foi obtida como variável derivada do balanço hídrico.

Para o mesmo período, foi utilizada uma seqüência de imagens semanais do índice de vegetação global (GVI) obtido a partir do sensor AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer") a bordo do satélite NOAA ("National Oceanic and Atmospheric Administration"), doadas pelo "Joint Research Center", com as correções atmosférica e geométrica já processadas.

Os valores de contador digital dos "pixels" (CD), extraídos da seqüência de imagens, foram transformados em valores de índice de vegetação (GVI) utilizando a seguinte equação (KIDWELL, 1990):

$$GVI = \frac{240 - cd}{350} - 0,05 \quad 1$$

A navegação das imagens foi feita utilizando um algoritmo de transformação por polinômio de

segundo grau (LEITÃO, 1994). Tomando cada uma das 28 estações agrometeorológicas como um ponto amostral, foram extraídos os valores dos contadores digitais de uma vizinhança composta pelos 8 "pixels" mais próximos do "pixel" central localizado sobre o ponto amostral e, após, calculada a média aritmética desses nove valores. Assim, a resolução espacial de cada ponto amostral foi de 45 x 45 Km.

Foi efetuada uma análise de correlação simples entre o GVI e as variáveis agrometeorológicas originais e derivadas do balanço hídrico, estabelecidas em nível mensal, bimensal, trimensal e estacional (setembro a maio).

A integração do GVI e das variáveis meteorológicas foi aproximada por:

$$\int \text{var}(t) dt - \frac{1}{\sum d_i} (\text{var}_1 d_1 + \text{var}_2 d_2 + \dots + \text{var}_n d_n) \quad 2$$

sendo **var** as variáveis estudadas (GVI e os elementos agrometeorológicos) e **d_i** (**i=1, 2, ..., n**) o número de dias do mês de integração.

Os mapas, representando a distribuição espacial dos coeficientes de correlação através de isolinhas, foram obtidos através do processo de interpolação espacial, utilizando o método de Kriging (CRESSIE, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os coeficientes de correlação entre o GVI e os elementos agrometeorológicos testados. Foram verificadas grandes variações nos valores destes coeficientes entre locais, elementos agrometeorológicos e períodos de integração. Entretanto, é possível observar que, via de regra, as melhores correlações corresponderam, para todos os elementos, a períodos que envolvem os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Nestes meses os coeficientes de correlação foram superiores àqueles observados, até mesmo, no período que abrange toda a estação de crescimento das culturas de primavera-verão (novembro a maio). Este comportamento evidencia a máxima sensibilidade das culturas de primavera-verão aos fatores do meio, especialmente à deficiência hídrica, durante os denominados períodos críticos, que no Rio Grande do Sul coincide com o período mencionado. Aliado a isto, em dezembro, janeiro e fevereiro a probabilidade da evapotranspiração potencial superar a

precipitação é inferior a 60% em praticamente todo o Estado (ÁVILA, 1994), determinando alta frequência de ocorrência de deficiências hídricas e conseqüentes quebras de safras das culturas produtoras de grãos. A razão ET_r/ET_0 e a deficiência hídrica foram os elementos agrometeorológicos, relacionados ao fator hídrico, com os maiores coeficientes de correlação.

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre o índice de vegetação global (GVI) e precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul, período 1982 a 1986.

Local	Períodos						
	dez- jan	jan- fev	fev- mar	mar- abr	abr- maí	nov- maí	dez- fev
Alegrete	0,85	0,83	-0,26	-0,68	-0,78	0,14	0,77
Quaraí	0,36	0,95	0,14	0,03	0,08	0,07	0,85
São Gabriel	0,54	0,77	0,39	0,70	-0,42	0,53	0,75
Santo Augusto	0,94	0,88	0,07	0,89	-0,27	0,94	0,96
Santa Rosa	0,84	0,97	0,51	0,97	0,21	0,98	0,95
Ijuí	0,38	0,79	0,21	0,86	-0,12	0,85	0,80
Encruzilhada do Sul	0,80	0,94	0,64	0,87	-0,34	-0,47	0,98
Guaíba	0,24	0,34	0,60	0,49	-0,91	0,03	0,48
Santa Maria	0,90	0,64	-0,58	0,35	-0,94	0,12	0,78
Taquarí	0,57	0,82	-0,19	0,02	-0,84	0,20	0,65
Cachoeira do Sul	0,84	0,46	0,65	0,43	-0,69	-0,19	0,95
Viamão	0,54	0,22	-0,30	0,59	-0,42	-0,49	0,48
São Borja	0,66	0,94	-0,53	0,51	0,62	0,80	0,98
Cruz Alta	0,40	0,62	0,44	0,54	-0,57	0,87	0,73
Júlio de Castilhos	0,83	0,76	0,31	0,49	-0,74	0,76	0,86
Erechim	0,47	0,77	0,46	0,57	-0,17	0,28	0,70
Vacaria	-0,53	0,07	0,66	0,98	-0,75	0,46	0,29
Farroupilha	0,09	-0,12	0,26	0,07	-0,73	-0,07	0,06
Veranópolis	0,00	0,27	0,80	0,02	-0,96	0,41	0,43

As isolinhas de coeficientes de correlação entre o GVI e a razão ET_r/ET_0 (Figura 1) mostram que as correlações foram crescentes no sentido leste-oeste do Estado. Na porção oeste, possivelmente em função da maior homogeneidade em termos de cobertura vegetal, o GVI mostrou-se um melhor estimador das condições de biomassa, onde foram observados os maiores coeficientes de correlação, atingindo valores superiores a 0,80.

A regressão linear estabelecida entre GVI e a razão ET_r/ET_0 para as algumas localidades situadas na região oeste do Estado, é mostrada na Figura 2. Verifica-se que Alegrete, Quaraí e São Gabriel, com coeficientes de determinação de 0,73, 0,87 e 0,75, respectivamente, responderam de forma mais intensa ao fator hídrico, apresentando os maiores parâmetros de inclinação das retas ajustadas. Este comportamento pode ser atribuído à maior ocorrência de solos rasos nessa região, com uma menor capacidade de armazenamento de água (CAD), o que torna as culturas mais suscetíveis às estiagens.

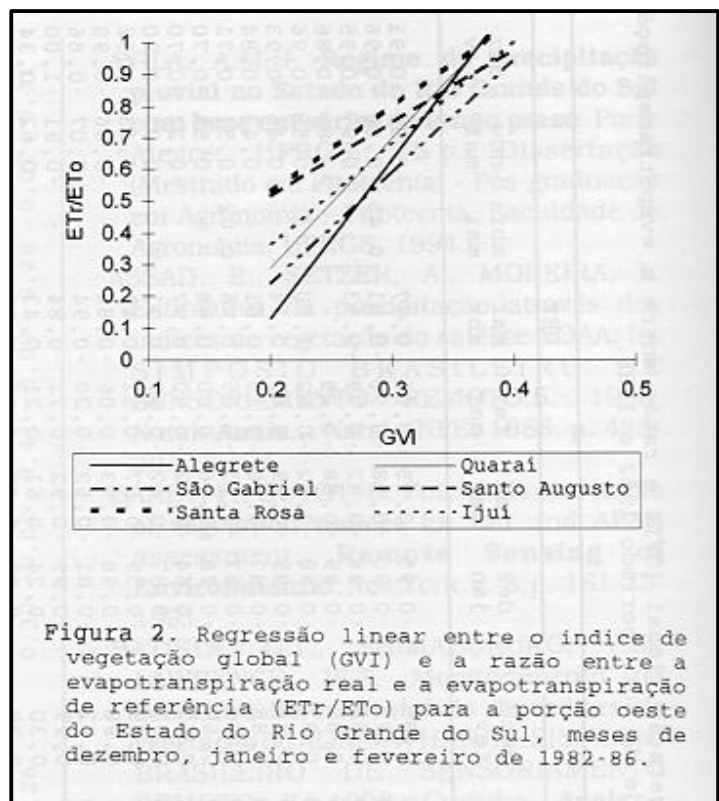
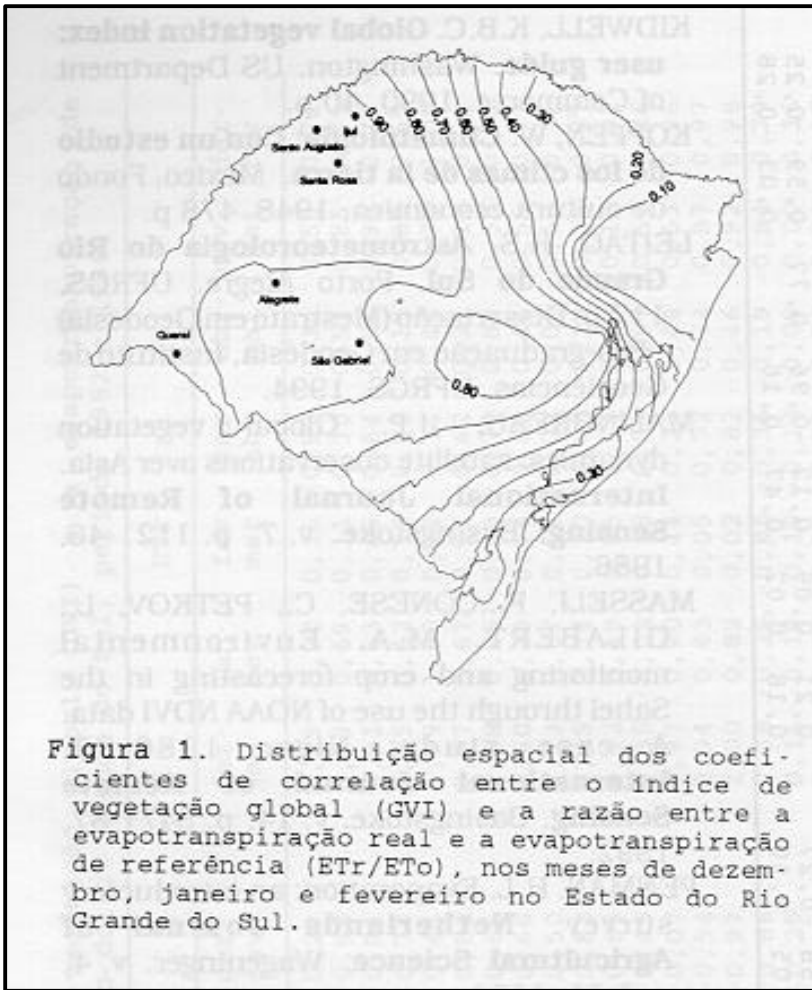
As localidades de Ijuí, Santo Augusto e Santa Rosa, com parâmetros de inclinação da reta de regressão linear menores, apresentaram coeficientes de determinação maiores do que os anteriores (0,91, 0,94 e 0,88, respectivamente). Esta resposta demonstra a potencialidade de utilização do GVI exatamente na região responsável pelo maior volume de produção agrícola do Estado.

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre o índice de vegetação global (GVI) e a evapotranspiração de referência (ETo) e a evapotranspiração real (ETr) no Estado do Rio Grande do Sul, período 1982 a 1986.

Locais	ETo							ETr						
	dez- jan	jan- fev	fev- mar	mar- abr	abr- mai	nov- mai	dez- fev	dez- jan	jan- fev	fev- mar	mar- abr	abr- mai	nov- mai	dez- fev
Alegrete	0,50	0,80	0,96	-0,63	-0,40	-0,07	-0,29	0,89	0,70	-0,36	-0,99	-0,34	0,50	0,72
Quarai	-0,95	-1,00	-0,96	0,44	0,57	-0,78	-0,98	0,69	0,69	-0,11	0,30	0,53	0,85	0,79
São Gabriel	-0,81	-0,99	-0,92	-0,27	0,54	-0,78	-0,91	0,91	0,63	0,66	0,64	0,54	0,99	0,79
Santo Augusto	-0,87	-0,60	-0,02	-0,03	0,13	-0,99	-0,74	0,75	0,62	0,78	-0,03	0,13	-0,89	0,65
Santa Rosa	0,37	0,50	0,38	-0,04	-0,46	0,22	0,45	0,99	1,00	0,92	0,14	-0,46	0,73	1,00
Ijuí	-0,54	-0,66	-0,08	-0,88	-0,39	-0,92	-0,82	0,97	0,67	-0,94	-0,62	-0,39	0,11	0,93
Encruzilhada do Sul	-0,69	-0,60	-0,87	0,00	0,82	-0,30	-0,66	0,88	0,85	-0,83	0,74	0,82	0,50	0,92
Guaíba	-0,51	-0,73	-0,68	-0,46	0,70	0,37	-0,66	0,60	0,39	0,76	0,86	0,46	0,55	0,73
Santa Maria	-0,87	-0,33	-0,43	-0,78	0,05	-0,65	-0,50	0,73	0,87	-0,64	-0,22	0,05	0,52	0,72
Taquari	-0,79	-0,92	-0,15	-0,46	0,15	-0,96	-0,83	0,45	0,74	0,30	-0,08	0,15	-0,38	0,37
Cachoeirinha	-0,45	-0,29	-0,97	-0,69	-0,13	-0,31	-0,65	0,92	0,48	0,95	0,74	-0,13	-0,11	0,92
Viamão	-0,48	-0,27	-0,44	-0,25	0,57	0,21	-0,45	0,35	-0,02	-0,38	0,59	0,57	-0,54	0,26
São Borja	-0,55	-0,16	0,58	0,20	0,44	-0,26	-0,07	0,97	0,90	0,44	0,26	0,44	0,63	0,96
Cruz Alta	-0,49	-0,54	-0,07	0,47	0,74	-0,15	-0,54	0,94	0,83	0,05	0,72	0,74	0,87	0,97
Júlio de Castilhos	-0,93	-0,99	-0,65	-0,56	0,46	-0,87	-0,97	1,00	0,82	0,02	0,82	0,46	0,92	0,98
Erechim	-0,56	-0,91	-0,90	0,35	0,19	-0,41	-0,86	-0,68	-0,29	-0,85	-0,36	0,19	-0,84	-0,79
Vacaria	0,29	-0,21	-0,54	0,32	0,27	0,21	-0,29	0,16	-0,19	0,19	-0,13	0,09	0,00	0,16
Farroupilha	0,38	-0,65	-0,95	-0,93	-0,90	-0,33	-0,61	-0,10	-0,56	-0,94	-0,91	-0,90	-0,73	-0,37
Veranópolis	-0,11	0,03	-0,49	0,28	0,28	-0,08	-0,26	0,30	-0,02	0,41	0,00	0,28	-0,05	0,31

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre o índice de vegetação global (GVI) e razão entre a evapotranspiração real e a de referencial (ETr/ETo) no Estado do Rio Grande do Sul, período 1982 a 1986.

Locais	ETr/ETo							DEF						
	dez- jan	jan- fev	fev- mar	mar- abr	abr- mai	nov- mai	dez- fev	dez- jan	jan- fev	fev- mar	mar- abr	abr- mai	nov- mai	dez- fev
Alegrete	0,97	0,90	-0,22	-0,77	0,45	0,62	0,85	-0,95	-0,95	-0,01	0,77	-	-0,59	-0,91
Quarai	0,84	0,89	0,88	0,01	-	0,78	0,93	-0,90	-0,88	-0,90	-0,01	-0,45	-0,82	-0,96
São Gabriel	0,93	0,77	0,79	0,91	-	0,99	0,86	-0,96	-0,82	-0,79	-0,93	-	-0,97	-0,95
Santo Augusto	1,00	0,89	0,25	-	-	0,85	0,87	-0,99	-0,88	-0,25	-	-	-0,83	-0,86
Santa Rosa	0,98	0,93	0,81	1,00	-	0,60	0,97	-0,98	-0,92	-0,82	-1,00	-	-0,58	-0,96
Ijuí	0,89	0,72	-0,85	0,13	-	0,39	0,94	-0,89	-0,69	0,82	-0,14	-	-0,46	-0,93
Encruzilhada do Sul	0,90	0,80	0,15	0,61	-	0,48	0,88	-0,87	-0,76	-0,15	-0,61	-	-0,43	-0,84
Guaíba	0,59	0,56	0,84	0,94	-0,04	0,58	0,74	-0,57	-0,53	-0,85	-0,96	0,02	-0,51	-0,71
Santa Maria	0,79	0,72	0,00	0,88	-	0,65	0,69	-0,78	-0,76	0,00	-0,88	-	-0,59	-0,70
Taquari	0,57	0,90	0,80	0,97	-	0,14	0,63	-0,64	-0,92	-0,80	-0,97	-	-0,22	-0,70
Cachoeirinha	0,87	0,51	0,99	0,91	-	0,08	0,91	-0,87	-0,42	-0,99	-0,91	-	-0,03	-0,90
Viamão	0,38	0,04	-0,10	0,48	-	-0,44	0,29	-0,39	-0,07	0,11	-0,49	-	0,43	-0,32
São Borja	0,96	0,93	-0,06	0,86	-	0,89	0,98	-0,98	-0,93	0,06	-0,86	-	-0,86	-0,98
Cruz Alta	0,87	0,77	0,02	0,94	-	0,80	0,92	-0,81	-0,69	-0,20	-0,94	-	-0,07	-0,86
Júlio de Castilhos	0,99	0,88	0,67	0,84	-	0,93	0,99	-0,99	-0,92	-0,72	-0,84	-	-0,91	-1,00
Erechim	0,19	0,63	-0,26	-0,43	-	-0,65	0,30	-0,24	-0,61	0,21	0,43	-	0,62	-0,34
Vacaria	0,02	-0,07	0,25	-0,22	-0,86	-0,06	0,20	-0,02	0,06	-0,24	0,21	0,86	0,07	0,20
Farroupilha	-0,22	-0,12	-0,13	0,95	-0,77	-0,58	-0,27	0,21	0,09	0,12	-0,96	0,77	0,59	0,25
Veranópolis	0,21	0,01	0,47	-0,15	-	0,05	0,30	-0,18	0,02	-0,47	0,16	-	-0,03	-0,28



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O índice de vegetação global (GVI) está associado a variáveis agrometeorológicas, o que é importante na medida em que é limitado o número de estações meteorológicas e agrometeorológicas no Estado do Rio Grande do Sul. O GVI pode, portanto, ser utilizado como um estimador, principalmente das condições hídricas locais.

A abordagem deste trabalho considerou somente correlações simples entre o GVI e variáveis agrometeorológicas. Dados provenientes do sensor AVHRR/NOAA podem, ainda, ser utilizados para calcular a evapotranspiração máxima de uma região a partir da estimativa da radiação solar global e da temperatura máxima, utilizando as bandas espectrais individuais desse sensor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FEPAGRO pelo fornecimento dos dados meteorológicos, ao Joint Research Center pelo fornecimento das imagens GVI/AVHRR/NOAA e ao Dr. Luiz Mauro Rosa pelas sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, A.M.H. **Regime de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul com base em séries de longo prazo**. Porto Alegre, UFRGS. 75 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Pós-graduação em Agronomia - Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1994.
- ASSAD, E., SETZER, A., MOREIRA, L. Estimativa da precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, 1988, Natal. **Anais...** Natal, INPE, 1988. p. 425-29.
- BARET, F., GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environmental**, New York. v. 3, p. 161-73, 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. 479 p. p. 30-37.

- BERGAMASCHI, H., GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da estação experimental agronomica/UFRGS**. Porto Alegre, UFRGS, 1987. 84 p. (Não publicado).
- BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. Porto Alegre, UFRGS. 1992. 125 p. p. 11-24.
- CIHLAR, J., ST.-LAURENT, L., DYER, J.A. Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. **Remote Sensing of Environmental**, New York. v. 35, p. 279-98, 1991.
- CRESSIE, N. **Statistical for spatial data**. New York. Willey & Sons. 1991. 900 p. cap. 9.
- DEBLONDE, G., CIHLAR, J. A multiyear analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the canalian landmass. In: **Remote sensing reviews**, United Kingdon, Harwood Academic. v. 7. p. 151-77, 1993.
- JUSTICE, C.O., HIERNAUX, P.H.Y. Monitoring the grassland of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger 1983. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p. 1475-97, 1985.
- KIDWELL, K.B.C. **Global vegetation index: user guide**. Washington, US Department of Commerce, 1990. 40 p.
- KOPPEN, W. **Climatologia: Con un estudio de los climas de la tierra**. México, Fondo de cultura economica, 1948. 478 p.
- LEITÃO, R.S. **Astrometeorologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. UFRGS. 112 p. Dissertação (Mestrato em Geodesia) - Pós-graduação em Geodésia, Instituto de Geociências, UFRGS. 1994.
- MALINGREAU, J.P. Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke. v. 7, p. 1121-46, 1986.
- MASSELLI, F., CONESE, C., PETKOV, L., GILABERT, M.A. Environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel through the use of NOAA NDVI data. A case study: Niger 1986-89. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke. v. 14, p. 3471-87, 1992.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen. v. 4, p. 9-29, 1956.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. **The yearbook of agriculture**, Washington, D.C., p. 346-358, 1955.