

Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no bioma “campos sulinos”

Assessment of forage availability in the “campos sulinos” biome using an agrometeorological-spectral model

Eliana Lima da Fonseca¹; Flavio Jorge Ponzoni²; Antonio Roberto Formaggio³.

Resumo: Os modelos agrometeorológicos-espectrais integram os modelos agrometeorológicos de produtividade vegetal com as informações espectrais da vegetação obtidas a partir de sensores remotos orbitais permitindo estimar o rendimento da vegetação e monitorar o seu desenvolvimento nos diferentes estádios do ciclo fenológico. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento e a avaliação da parametrização de um modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa da produção das pastagens naturais que compõem o bioma *Campos Sulinos*, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O modelo foi equacionado a partir do desenvolvimento de dois submodelos conceituais: o submodelo agrometeorológico de estimativa da produção de forragem e o submodelo espectral, cuja finalidade é estimar a disponibilidade de forragem inicial que define o crescimento da vegetação. A parametrização dos submodelos agrometeorológico e espectral foram avaliadas em uma área teste, com grandes extensões do bioma Campos Sulinos, sobre os municípios de Bagé e Aceguá. Verificou-se que o modelo proposto foi sensível para expressar as variações espaciais da disponibilidade de forragem. Os valores de disponibilidade de forragem estimados variaram entre 700 e 1.100 kgMSha⁻¹, estando estes valores dentro de um intervalo válido de acúmulo de biomassa para este tipo de formação vegetal. Também observou-se uma sensibilidade do modelo em estimar a diminuição da produção em função da ocorrência de déficits hídricos.

Palavras-chaves: radiometria orbital, Landsat, pastagens naturais, estimativa de biomassa

Abstract: The agrometeorological-spectral models integrate the group of models used to assess the vegetation yield based on spectral information taken from orbital remote sensors and meteorological data, allowing to monitor the vegetation in different phases along the phenological cycle and quantifying the biomass yield. The aim of this work was to present the development and the parametrization evaluation of an agrometeorological-spectral model for estimation of natural pastures production of Campos Sulinos biome, in the State of the Rio Grande do Sul, Brazil. The model was equated by development of two concept submodels: the agrometeorological submodel to estimate forage production and the spectral submodel to predict initial forage availability witch defines vegetation growth. Two submodels parametrization was evaluated in an area test constituted by vast typical fields of Campos Sulinos biome, comprising Bagé and Aceguá counties. The model showed sensibility to express the spatial variations of forage availability. The estimates of forage production values are around 700 and 1.100 kgDMha⁻¹, which are in the valid range of biomass production for this king of vegetation. Also, the model shows its capability to forecast lower forage production values in function of water deficit occurrence.

Keywords: orbital radiometry, Landsat, rangelands, estimates of the vegetation yield

¹ Eng^a Agr^a, Dr^a., Professora Adjunto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Geociências – Departamento de Geografia, Av. Bento Gonçalves, 9500 CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail: eliana.fonseca@ufrgs.br.

² Eng. Ftal., Dr., Pesquisador, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: flavio@dsr.inpe.br.

³ Eng. Agr., Dr., Pesquisador, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. E-mail: formag@dsr.inpe.br.

Introdução

Os modelos agrometeorológicos-espectrais integram modelos agrometeorológicos de produtividade vegetal e informações espectrais da vegetação obtidas a partir de sensores remotos orbitais (KING, 1989). Esses modelos permitem fazer tanto estimativas da previsão do rendimento da vegetação, como o monitoramento nos seus diferentes estádios fenológicos, informando a ocorrência de problemas durante seu crescimento e desenvolvimento que possam influenciar na sua produtividade (MOTTA et al., 2003), tais como déficit hídrico ou nutricional.

As imagens orbitais fornecem dados quantitativos que podem ser utilizados com o objetivo de monitorar a vegetação de um determinado local. A radiância detectada pelos sensores orbitais é função das propriedades espectrais dos objetos imageados, bem como da interferência da atmosfera. No que se refere à vegetação, o conhecimento dos fatores morfológicos e fisiológicos que influenciam sobre suas propriedades espectrais permite o estabelecimento de relações entre a produtividade do dossel com os dados radiométricos obtidos por imagens orbitais. À medida que ocorrem alterações morfofisiológicas no dossel, as frações absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética apresentam variações (RUSSEL et al., 1989), sendo que a análise e a quantificação destas variações é o que possibilita a integração dos dados espectrais com modelos matemáticos de produção vegetal. Para este tipo de estudo a reflectância da vegetação medida em diferentes faixas do espectro eletromagnético é preferida devido a sua medição remota operacional feita pelos sensores radiométricos orbitais.

Os modelos agrometeorológicos representam, de forma simplificada, as relações existentes entre a resposta fisiológica das plantas e as condições ambientais verificadas durante os diferentes estádios fenológicos da vegetação. O desenvolvimento desses modelos requer um conhecimento detalhado sobre as interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, as quais são transpostas para equações que são capazes de quantificar as contribuições das variáveis agrometeorológicas na expressão da produtividade final de um determinado cultivo.

Nesses modelos, a decisão sobre quais variáveis agrometeorológicas utilizar é baseada em robustas relações empíricas, obtidas através do conhecimento experimental, e consideram todos os processos fisiológicos da vegetação (KING, 1989).

Para os Campos Sulinos brasileiros, o desenvolvimento de um modelo desta natureza é justificada pela ausência de estudos nesta linha de pesquisa que tenham sido realizados em escalas que possibilitem o manejo local da vegetação campestre natural, conforme TUELLER (2001) e FONSECA (2004). A partir dos resultados estimados de disponibilidade de forragem, em escala local, é possível estabelecer e ajustar a carga animal em pastejo visando a manutenção da diversidade natural de espécies e a exploração econômica da vegetação do bioma.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a integração de dados radiométricos obtidos a partir de sensoriamento remoto orbital com as variáveis agrometeorológicas que atuam no sistema solo-planta-atmosfera para o desenvolvimento de um modelo conceitual de estimativa da disponibilidade de forragem da vegetação campestre natural que compõem o bioma *Campos Sulinos* do Estado do Rio Grande do Sul. O modelo, doravante denominado JONG, recebeu esse nome em homenagem ao pesquisador José Otávio Neto Gonçalves. Também é objetivo deste trabalho apresentar a parametrização dos submodelos desenvolvidos e avaliar os resultados obtidos neste procedimento.

Material e Métodos

Base teórica

Para a maioria dos sistemas biofísicos modelados são necessárias várias simplificações da realidade para que o desenvolvimento de um modelo possa ter aplicações práticas (MASS, 1993). Visando obter um modelo com um mínimo de parâmetros de entrada, mas que forneça resultados práticos e efetivos no monitoramento da disponibilidade de forragem das pastagens naturais, foram feitas algumas simplificações teóricas no desenvolvimento do modelo JONG, a saber:

a) Para a estimativa da produção potencial (ou máxima) de forragem, foi considerada somente a Produção Primária Líquida Acima do Solo (ANPP), uma vez que a forragem disponível para o consumo animal é composta somente pela biomassa aérea da vegetação.

Para estimativas da produção potencial em condições não limitantes são utilizados modelos que têm como variável de entrada a radiação solar incidente (NABINGER, 1996). Esses modelos são baseados nas relações apresentadas por MONTEITH (1977), que demonstrou existir linearidade entre a quantidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa Incidente (PAR_i ; MJm^{-2}) e a matéria seca total (MST) produzida por um dossel vegetal. Assim, a ANPP é função da quantidade de PAR_i sobre o dossel em um intervalo de tempo considerado e da eficiência de conversão desta radiação em biomassa aérea (ε_{CA} ; gMJ^{-1}):

$$ANPP = \varepsilon_{CA} \Sigma PAR_i \quad (1)$$

b) Considerou-se que a eficiência de conversão da radiação solar incidente em biomassa aérea (ε_{CA}) representa a variação temporal das condições ambientais vigentes, uma vez que o valor dessa variável é regulado tanto pelo suprimento quanto pela sua demanda sazonal e nutrientes da vegetação (REYNOLDS & D'ANTONIO, 1996);

c) Para o cálculo da produção real de forragem, o consumo de água foi representado por um índice hídrico, que representa tanto a disponibilidade de água para o dossel quanto o seu consumo. O índice hídrico foi calculado tomando como base o modelo de estimativa da produção vegetal que considera a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração potencial (ETP) como variáveis de entrada para estimar o consumo de água do dossel (JENSEN, 1968; HANKS, 1974; KANEMASU et al., 1976; HANKS & HILL, 1980). Este modelo, por sua vez, baseia-se na razão entre ETR e ETP para estimar o rendimento real (Y), partindo-se da premissa de que o rendimento máximo seja conhecido (Y_m) (Equação 2).

$$\frac{Y}{Y_m} = \frac{ETR}{ETP} \quad (2)$$

d) A disponibilidade de forragem inicial do dossel (DF_0) foi representada considerando a variação na reflectância da vegetação em função da quantidade de biomassa verde e do déficit hídrico nas regiões do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro eletromagnético. A quantificação da reflectância da vegetação nestas regiões do espectro eletromagnético, em conjunto com as análises das propriedades biofísicas do dossel, possibilita o monitoramento da vegetação a partir da integração de dados orbitais com modelos

matemáticos para estimativa de produção vegetal, como descrito em FONSECA et al. (2007).

Dados utilizados na parametrização

Foram utilizados os valores de Fatores de Reflectância Bidirecional de superfície (FRB de superfície) das imagens ETM+/Landsat 7, adquiridas em 19 de novembro de 2002 e em 6 de janeiro de 2003, para o cálculo das variáveis Wetness (oriundas da transformação Tasseled Cap) e B7 (reflectância da banda 7 do sensor ETM+/Landsat 7). Essas variáveis selecionadas para parametrizar o submodelo espectral representam a disponibilidade inicial de forragem no tempo $t = 0$. Todos os detalhes da parametrização deste submodelo, tais como procedimentos de metodológicos para utilização das imagens de satélite, seleção e cálculo das variáveis foram apresentados por FONSECA et al. (2007).

Para o submodelo agrometeorológico, os dados climáticos foram agrupados para períodos de 16 dias, iniciados a partir da data de aquisição das imagens pelo sensor ETM+/Landsat 7, listadas na Tabela 1. Para a variável conversão da radiação solar incidente em biomassa aérea (ε_{CA}) foi utilizada a parametrização apresentada por FONSECA et al. (2005). Essa parametrização apresenta valores de ε_{CA} para diferentes períodos do ano, função das variações da fenologia da vegetação do bioma e da variação sazonal do clima na região. As variáveis evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (PAR_i) foram calculadas a partir dos valores medidos dos elementos meteorológicos nos dois períodos de aplicação do modelo, que também estão apresentados na Tabela 1. Para a conversão da radiação global em radiação fotossinteticamente ativa incidente foi utilizada a relação estabelecida por FRANÇA et al. (1997). A evapotranspiração potencial foi estimada utilizando o método combinado proposto por PENMAN (1956) e a evapotranspiração real foi calculada a partir da técnica do balanço hídrico climático (THORNTHWAITE & MATHER, 1955). Foram utilizadas os dados meteorológicos obtidos na estação automática instalada na sede da Embrapa Pecuária Sul, no município de Bagé (31°20'50" S; 54°00'45" W), localizada no interior da área de testes. Em função da existência de apenas uma estação meteorológica no interior da área de testes os valores do submodelo agrometeorológico foram os mesmos para todos os pixels, admitindo-se uma pequena variabilidade espacial das condições climáticas na área coberta pelas imagens.

Tabela 1. Valores das variáveis agrometeorológicas utilizadas na avaliação da espacialização do modelo JONG para os dois períodos analisados.

Período	ϵ_{CA} (gMSMJ ⁻¹)	Chuva Total (mm)	ETP Total (mm)	ETR Total (mm)	Radiação Global Total (MJm ⁻²)	Velocidade do Vento Média (km dia ⁻¹)	Umidade Relativa Média (%)	Temperatura do Ar Média °C
19/nov - 04/dez	0,38	256,8	82,6	82,6	266,7	167,7	80,6	20,0
06/jan - 21/jan	0,50	34,9	135,0	86,9	427,7	113,8	68,0	22,4

Como cada pixel das imagens do sensor ETM+/Landsat 7 tem 30 metros de resolução espacial, esta foi definida como sendo a resolução da espacialização do modelo agrometeorológico-espectral. Para a espacialização dos resultados foi selecionada uma área de testes com 230.000 ha, correspondente a uma região homogênea do bioma Campos Sulinos. A área selecionada localiza-se entre os municípios de Bagé e Aceguá e é caracterizada pela existência de vastas áreas exploradas economicamente com criação extensiva de bovinos e ovinos (IBGE, 2004). Os valores estimados pelo modelo JONG foram calculados para cada um dos pixels da imagem, sobre a área selecionada, usando procedimentos de álgebra de mapas dentro de um sistema de informações geográficas - SPRING, versão 3.6 (CÂMARA et al., 1996). Para facilitar a visualização, o resultado final da operação algébrica foi discretizado, sendo os pixels agrupados em classes de disponibilidade de forragem de acordo com o valor individual calculado.

Resultados

Com base nas simplificações teóricas foi desenvolvido um modelo conceitual para estimar a disponibilidade de forragem (JONG), o qual foi dividido em dois submodelos: o espectral e o agrometeorológico, apresentados esquematicamente na Figura 1.

Para equacionar matematicamente o sistema apresentado na Figura 1, iniciou-se pelo desenvolvimento de um modelo de produção potencial de forragem que estima o acúmulo máximo (ou potencial) de forragem pela vegetação campestre, em um determinado período de tempo (t), a partir do conhecimento da quantidade de radiação solar incidente, na forma de radiação fotossinteticamente ativa (PAR_i) e considerando a disponibilidade de forragem existente (DF₀) ou inicial (Equação 3):

$$\frac{dDF}{dt} = f(DF_0, PAR_i) \quad (3)$$

A disponibilidade de forragem final (DF_n) é função da disponibilidade de forragem inicial (DF₀) no tempo t = 0 e do crescimento da vegetação no intervalo de tempo compreendido entre 0 e n dias, obtido a partir da integração do acúmulo de matéria seca aérea diário (A_{MSA}):

$$DF_n = DF_0 + \int_0^n A_{MSA} dt \quad (4)$$

O acúmulo de matéria seca aérea diário (A_{MSA}), é função do total da PAR incidente sobre o dossel, no intervalo de tempo compreendido entre 0 e n dias, e da eficiência da conversão da radiação incidente em biomassa aérea:

$$\int_0^n A_{MSA} dt = \epsilon_{CA} \sum_{i=0}^n PAR_i \quad (5)$$

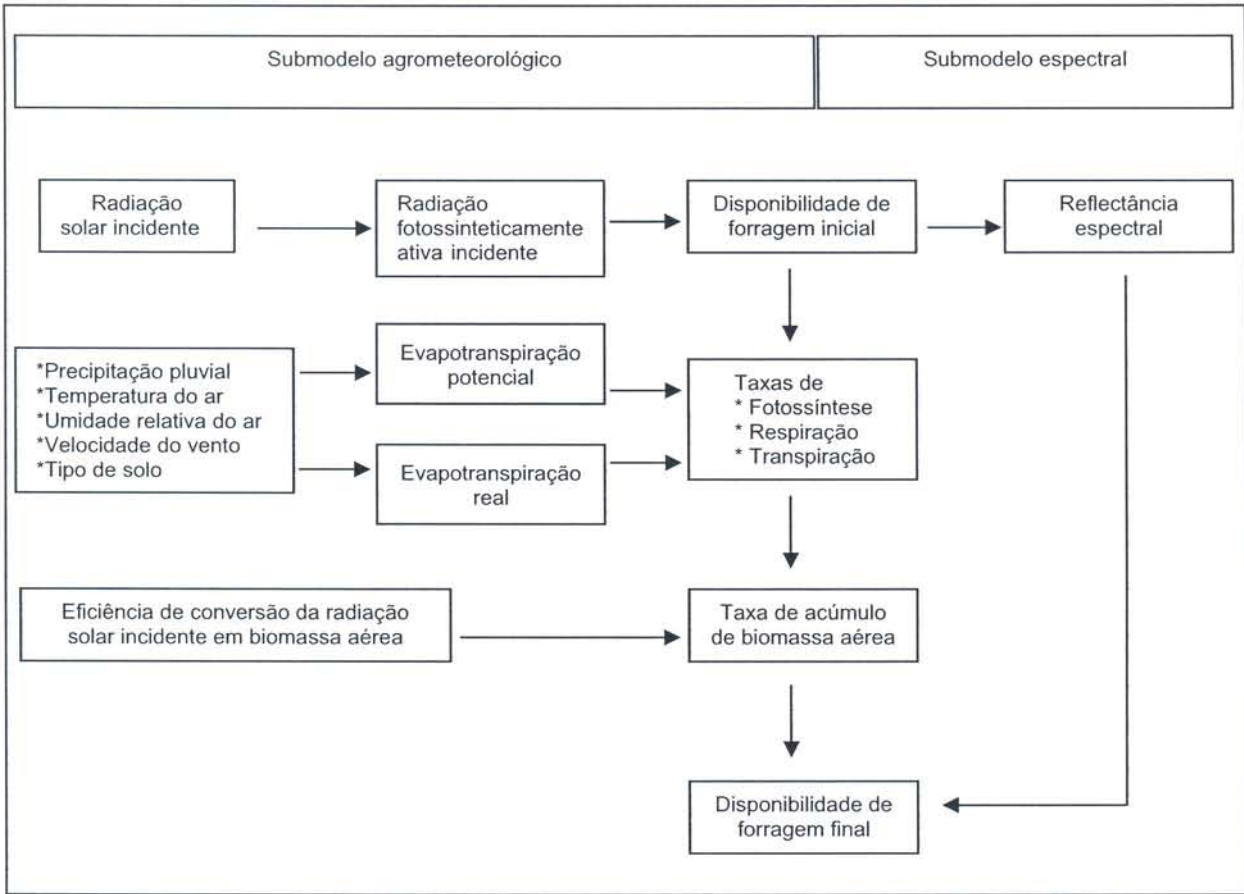


Figura 1. Representação esquemática do modelo agrometeorológico-espectral JONG.

Substituindo a integração do acúmulo de biomassa aérea no tempo (Equação 5) na Equação 4, tem-se a estimativa da disponibilidade potencial de forragem final (DF_n) no tempo t considerado:

$$DF_n = DF_0 + \epsilon_{CA} \sum_{i=0}^n PAR_i \quad (6)$$

Para o desenvolvimento de um modelo de produção real de forragem no qual se estima a quantidade real de forragem que a vegetação pode produzir em um determinado período de tempo (t), é necessário conhecer a limitação no acúmulo de biomassa que possa haver em decorrência de um déficit hídrico. Para tanto, utilizou-se a razão ETP/ETR para a composição de um índice hídrico que representasse a disponibilidade de água no sistema solo-planta-atmosfera, já que a produtividade real da vegetação está diretamente relacionada com o status hídrico das plantas. A razão ETR/ETP apresenta variação finita, entre 0 e 1 e tende a zero à medida que a evapotranspiração real for menor que a evapotranspiração potencial.

Assim, quando o índice hídrico for multiplicado a equação do cálculo da produção potencial, irá simular a diminuição na produção de forragem causada pelo déficit hídrico, obtendo-se a estimativa da real produção de fitomassa aérea do dossel:

$$DF_n = \left(DF_0 + \epsilon_{CA} \sum_{i=0}^n PAR_i \right) * \frac{ETR}{ETP} \quad (7)$$

A integração da resposta espectral da vegetação é feita a partir da substituição da disponibilidade de forragem inicial (DF_0) por uma componente espectral, através da relação existente entre os dados espectrais e a quantidade de vegetação existente na superfície. Para fins de demonstração matemática, considera-se uma variável espectral genérica, VE , que é medida no tempo $t = 0$, pelo sensor orbital, sendo função da disponibilidade de forragem inicial (DF_0) observada em campo:

$$VE_0 = f(DF_0) \quad (8)$$

Utilizando as relações apresentadas nas Equações 7 e 8, tem-se que a produção real de forragem passa a ser estimada a partir das características espectrais da vegetação no tempo $t = 0$, da PAR_i no intervalo de tempo compreendido entre $0 < t \leq n$, da eficiência de conversão da radiação solar incidente em fitomassa aérea e de um índice hídrico que representa a disponibilidade de água para o dossel, compondo assim o modelo JONG:

$$DF_n = \left((VE_0) + \varepsilon_{CA} \sum_{t=0}^n PAR_t \right) * \frac{ETR}{ETP} \quad (9)$$

O modelo JONG é válido para estimar a produção de forragem em qualquer formação campestre natural que esteja sob pastejo, sendo necessárias a parametrização da porção espectral e da eficiência de conversão da radiação solar incidente em fitomassa aérea para a área de aplicação. No modelo JONG, de forma semelhante ao modelo agrometeorológico-espectral para estimativa do rendimento de soja proposto por MELO (2003), a componente espectral é utilizada para estimar a condição da vegetação durante o ciclo fenológico, representando a disponibilidade hídrica e nutricional às quais a vegetação foi exposta (RUDORFF & BATISTA, 1990) as quais irão determinar o crescimento e a produção final das plantas (CHAPIN III et al., 1987). Este modelo também pode ser empregado para qualquer intervalo de tempo considerado, já que para as plantas forrageiras a produção final não é medida somente ao final do ciclo fenológico, mas sim durante o período de crescimento, no qual a vegetação pastejada alterna ciclos sucessivos de desfolha (em função do pastejo) e de rebrota (devido ao crescimento vegetativo das plantas). Para a aplicação do modelo JONG em pastagens cultivadas, torna-se necessário adicionar uma componente que represente o incremento na produção em função do aporte de nutrientes para as plantas, semelhante ao apresentado por SILVEIRA (1999).

Discussão

Para avaliar o desempenho do modelo JONG foram gerados mapas síntese de disponibilidade de forragem a partir da espacialização dos valores estimados pelo modelo agrometeorológico-espectral.

A partir do modelo conceitual definido na Equação 9, foram integrados os parâmetros do submodelo espectral, apresentados por FONSECA et al. (2007), possibilitando a aplicação prática do modelo parametrizado (Equação 10) para fazer estimativas de disponibilidade de forragem na área de testes. Foram gerados mapas de estimativa da disponibilidade de forragem acumulada em 16 dias, a partir da Equação 10, para os dois períodos avaliados, apresentados na Figura 2A e 2B. Para facilitar a visualização, o resultado final da operação algébrica foi discretizado, sendo os pixels agrupados em classes de disponibilidade de forragem de acordo com o valor individual calculado. Para este cálculo foram utilizados os valores apresentados na Tabela 1 e os valores de Fatores de Reflectância Bidirecional de superfície (FRB de superfície) das imagens ETM+/Landsat 7, adquiridas em 19 de novembro de 2002 e em 6 de janeiro de 2003.

$$\Delta DF = \left[(9581,07 - 325,72B7 - 80,22Wetness) + \varepsilon_{CA} \sum_{t=0}^n PAR_t \right] * \frac{ETR}{ETP} \quad (10)$$

Os mapas de disponibilidade de forragem foram avaliados quanto à capacidade de representar a disponibilidade de forragem média da região e também quanto à capacidade de representar as variações sazonais desta disponibilidade. O modelo foi sensível em representar as variações espaciais da disponibilidade de forragem, sendo esta sensibilidade função das variações da resposta espectral da vegetação, que é utilizada no submodelo espectral para estima a disponibilidade de forragem inicial. Verificou-se que os valores de disponibilidade de forragem calculados para a maioria dos pixels da área de testes variaram entre 700 e 1.100 kgMSh⁻¹, estando estes valores acima dos valores médios apresentados por MACHADO (1999), mas dentro de um intervalo válido de acúmulo de biomassa para este tipo de formação vegetal, segundo este mesmo autor. Observou-se uma diminuição da disponibilidade de forragem calculada pelo modelo agrometeorológico-espectral em decorrência do déficit hídrico que ocorreu na área de estudo durante o período de 6 de janeiro a 21 de janeiro de 2003, fazendo com que as estimativas da disponibilidade de forragem fossem menores do que as estimativas feitas para o período de 19 de novembro a 4 de dezembro de 2002, quando não existiu déficit hídrico, como demonstrado na Tabela 1.

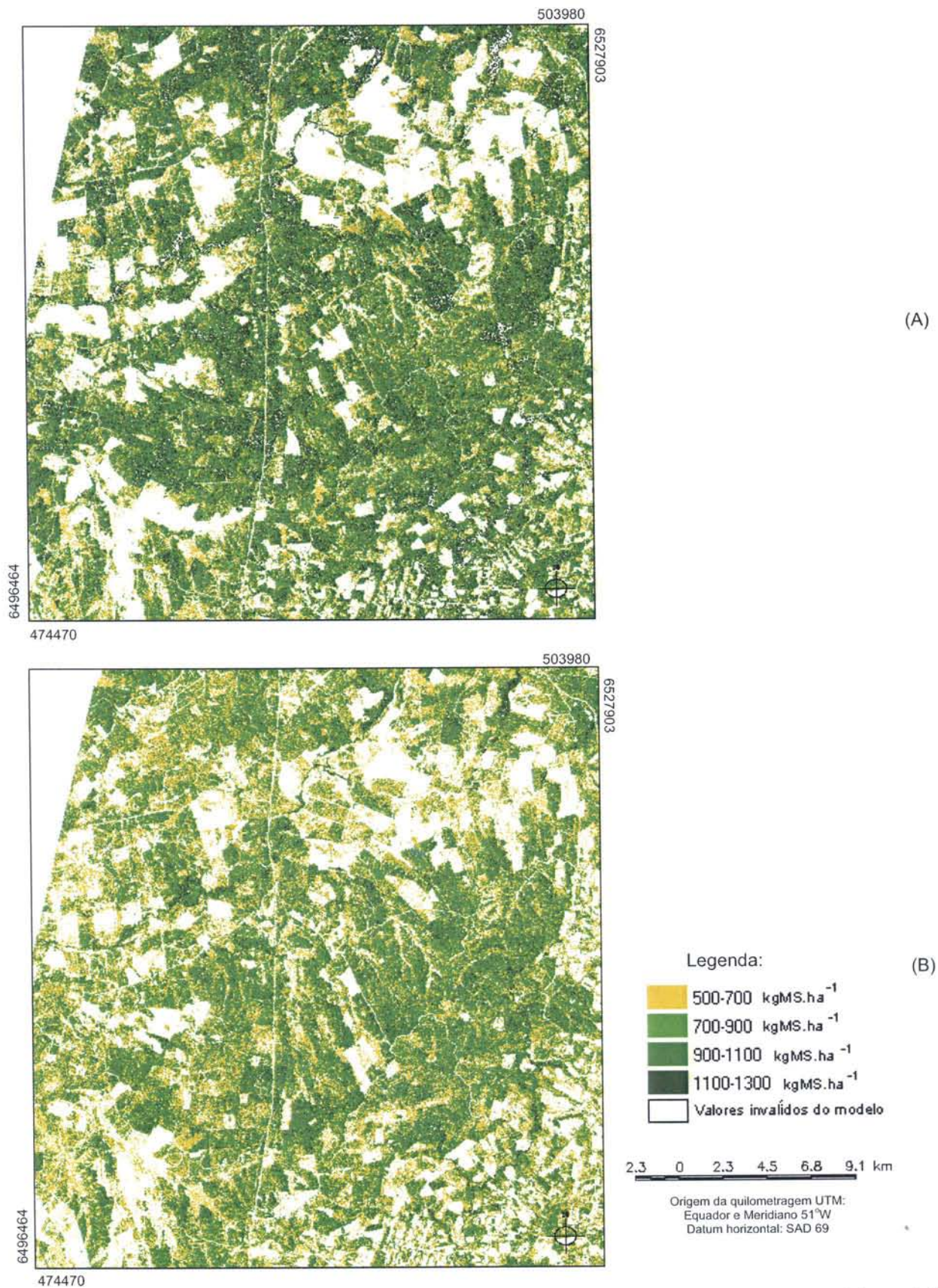


Figura 2. Mapas de disponibilidade de forragem obtidos a partir do modelo JONG para os dois períodos analisados: A (19 de novembro a 4 de dezembro de 2002) e B (6 de janeiro a 21 de janeiro de 2003).

Conclusões

Foi definido o modelo JONG, um modelo agrometeorológico-espectral conceitual para a estimativa do acúmulo de forragem na unidade homogênea Campo Sul localizada sobre o bioma *Campos Sulinos*. O modelo foi desenvolvido a partir da elaboração de dois submodelos conceituais: o submodelo agrometeorológico de estimativa da produção de forragem, que apresenta o submodelo espectral acoplado, cuja finalidade é estimar a disponibilidade de forragem inicial sobre a qual irão atuar os fatores agrometeorológicos que definem o crescimento da vegetação.

O modelo JONG parametrizado foi sensível para expressar as variações espaciais da disponibilidade de forragem e a diminuição da produção em função da ocorrência de déficit hídrico durante o período de crescimento vegetativo das plantas, após a total cobertura do solo. Os valores de disponibilidade de forragem estimados variaram entre 700 e 1.100 kg MS.ha⁻¹, estando estes valores dentro de um intervalo válido de acúmulo de biomassa para este tipo de formação vegetal.

Agradecimentos

Ao professor Carlos Nabinger, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao professor Vicente Celestino Pires da Silveira, da Universidade Federal de Santa Maria, pelas contribuições dadas a este trabalho.

Referências Bibliográficas

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

CÂMARA, G. et al. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computer & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.

FONSECA, E. L. **Desenvolvimento de modelos de disponibilidade de fitomassa aérea para formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e aerometeorológicos**. 2004. 193 p. (INPE-12969-TDI/1017). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

FONSECA, E.L., et al. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.656-659, 2005.

FONSECA, E.L., et al. Estimativa da disponibilidade de forragem do bioma Campos Sulinos a partir de dados radiométricos orbitais: parametrização do submodelo espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1668-1674, 2007.

FRANÇA, S. et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.147-153, 1997.

HANKS, R.J. Model for predicting plant yield as influenced by water use. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, n.5, p.660-665, 1974.

HANKS, R.J.; HILL, R.W. **Modeling crop responses to irrigation in relations to soils, climate and salinity**. Jerusalem: International Irrigation Information Center, 1980. 66p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Pesquisa Pecuária Municipal**. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em jan.2004.

JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T.T.; (ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v.2. cap.1, p.1-22.

KANEMASU, E.T., et al. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agronomy Journal**, v.68, n.6, p.840-842, 1976.

KING, D. **Remote sensing and agrometeorological models for yield forecasts**. Ispra: Joint Research Centre, 1989. 25p.

MAAS, S.J. Parametrized model of gramineous crop growth: I. Leaf area and dry mass simulation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.2, p.348-353, 1993.

MACHADO, L.A.Z. **Manejo de pastagem nativa**. Guaíba: Editora Agropecuária, 1999. 156p.

MELO, R.W. **Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o estado do Rio Grande do Sul.** 2003. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.281, series B, p.277-294, 1977.

MOTTA, J.L.G., et al. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.353-360, 2003.

NABINGER, C. Aspectos ecofisiológicos de manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. In: Reunião do Grupo técnico em Melhoramento e Utilização de Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical do Cone Sul, 16, 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: FAO, 1996. p.17 - 62

PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.4, n.1, p.9-29, 1956.

REYNOLDS, H.L.; D'ANTONIO, C. The ecological significance of plasticity in root weight ratio in response to nitrogen: Opinion. **Plant and Soil**, v.185, n.1, p.75-97, 1996.

RUDORFF, B. F. T.; BATISTA, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n.3, p.183-192, 1990.

RUSSEL, G., et al. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSEL, G., et al. **Plant canopies: their growth, form and function.** Cambridge: Cambridge University Press, 1989. cap.2, p.21-39.

SILVEIRA, V. **Farmer integrated decision model: integration between beef cattle and rice production in Rio Grande do Sul, Brazil.** 1999. 224 p. Thesis (Ph.D. Thesis) - University of Edinburgh, 1999.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. **Publications in Climatology**, v.10, n.3, p.181-311, 1955.

TUELLER, P.T. Remote sensing of range production and utilization. **Journal of Range Management**, v.54, p.A77-A89, 2001.