

Pesquisas desenvolvidas pelo grupo de agrometeorologia da UFRGS no contexto do monitoramento e previsão de safras usando imagens orbitais

Fontana, D.C.; R.W. Melo, A.H. Junges, E.V. Klering, A.P. Cordeiro, M.A. Berlatto y H. Bergamaschi

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo relatar alguns estudos desenvolvidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), nas áreas de monitoramento das culturas e de previsão de safras, especificamente no que diz respeito à pesquisa realizada pelo Grupo de Agrometeorologia - GA e pelo Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia - LEAA, ambos localizados em Porto Alegre, Brasil. Este grupo acumula uma história sólida, construída a partir de uma sequência constante e progressiva das pesquisas. O texto aborda os mais relevantes avanços do GA e do LEAA sobre os principais segmentos de um sistema de monitoramento de culturas, a saber: a estimativa de área cultivada e do rendimento de grãos e ferramentas de monitoramento para estimar a cobertura vegetal do solo. O método mais utilizado para quantificar as áreas de cultivo combina o uso de sensores de resolução espacial moderada e alta, utilizando amplamente o atributo espectro-temporal. Culturas anuais têm variações na resposta espectral ao longo do ciclo, que as distingue de outros alvos, permite a utilização da variabilidade temporal do índice de vegetação para a construção de máscaras de culturas. As estimativas de rendimento das culturas foram feitas por um modelo agrometeorológico-espectral, que adiciona parâmetros de biomassa vegetal, obtidos através de sensoriamento remoto, a equações que utilizam dados meteorológicos. Este tipo de modelo pressupõe que o termo agrometeorológico expressa a influência da radiação solar, temperatura e umidade do ar e disponibilidade de água na produção de grãos, enquanto o componente espectral expressa também alterações nas práticas de manejo das culturas, cultivares e outros estresses não incluído no modelo agrometeorológico. Um banco de dados de índices de vegetação é usado, principalmente, para o monitoramento da cobertura vegetal, considerando que eles são indicadores consistentes da resposta da vegetação aos efeitos ambientais, como do clima, de ações antrópicas ou de mudanças no uso e na cobertura da terra. Os grupos GA e LEAA têm estreita relação entre pesquisadores, incluindo um intercâmbio de estudantes entre o Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia (PPGFito/UFRGS) e o Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR/UFRGS). É dada especial atenção à formação de recursos humanos qualificados e à interação com outros grupos de pesquisa, em nível nacional e internacional. Os avanços do ponto de vista técnico, listados no texto, estão focados no desenvolvimento e teste de ferramentas e instrumentos que podem ser incorporados ao sistema de produção, a fim de qualificar os programas de monitoramento existentes na agricultura brasileira.

Palavras-Chave: modelo agrometeorológico-espectral, máscaras de cultivo, MODIS

Fontana, D.C.; R.W. Melo, A.H. Junges, E.V. Klering, A.P. Cordeiro, M.A. Berlato and H. Bergamaschi, 2016. Research developed by UFRGS agrometeorology group in the context of monitoring and crop forecasting, using satellite images. RADA VII: 27-40

SUMMARY

This work aims to report some studies developed at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), in the areas of crops monitoring and harvest forecasting, specifically with regard to research undertaken by the Agrometeorology Group - GA and the Research Laboratory Agriculture and Agrometeorology - LEEA, located in Porto Alegre, Brazil. This group accumulates a solid history, built from a constant and progressive sequence of researches. The text addresses the major advances made by the GA and LEAA on the main segments of a crops monitoring system, namely: estimation of cropping area and of grain yield, and monitoring tools for estimating the soil vegetation cover. The most commonly used method for quantifying cropping areas combines the use of moderate and high spatial resolution sensors, using widely the spectrum-temporal attribute. Annual crops have variations in spectral response throughout the cycle, which distinguishes them from other targets, permits the use of the temporal variability of vegetation index for constructing of crop masks. Estimations of crop yields have been made by an agrometeorological-spectral model, which adds parameters of vegetative biomass, obtained through remote sensing, to a weather database. This kind of model assumes that the agrometeorological term expresses the influence of solar radiation, air temperature and humidity, and water availability on the grain production, while the spectral component expresses also alterations in practices of crop management, cultivars, and other stresses not included in the agrometeorological model. A database of vegetation indexes is mostly used for monitoring the vegetation cover, considering that they are consistent indicators of vegetation response to environmental effects, such as climate, anthropogenic actions, or changes in use and land cover. The GA and LEAA groups have close relationship among researchers, including an interchange of students between the Post-graduation Program in Plant Science (PPGFito/UFRGS) and Post-graduation Program in Remote Sensing (PPGSR/UFRGS). Special attention is given to the training of qualified human resources and to the interaction with other research groups, at national and international level. Advances from the technical point of view, listed in the text, are focused on developing and testing of tools and instruments that can be incorporated to the production system, in order to qualify the existing monitoring programs of the Brazilian agriculture.

Key-word: agrometeorological-spectral models, crop mask, MODIS

D.C. Fontana, R.W. Melo, M.A. Berlato e H. Bergamaschi: Faculdade de Agronomia/UFRGS. A.H. Junges: Fundação de pesquisa Agropecuária – FEPAGRO. E.V. Klering e A.P. Cordeiro: Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Correspondencia a: dfontana@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Informações e parâmetros sobre monitoramento e previsão de safras são fundamentais tanto para o planejamento e definição de prioridades do setor agrícola, como para o estabelecimento da políticas de preços e manejo dos estoques reguladores, os quais, de modo geral, são de responsabilidade governamental. A grande extensão da área agrícola no Brasil, entretanto, faz com que a metodologia

de previsão de safras empregada pelos órgãos oficiais brasileiros, baseada em questionários aplicados a agricultores ou a entidades relacionadas ao setor agrícola, contenha certo grau de subjetividade. Este contexto evidencia a necessidade de desenvolver pesquisas que disponibilizem métodos que possam compor o sistema oficial brasileiro de previsão de safras, incorporando técnicas objetivas e que possibilitem estimar os erros inerentes às estimativas.

Este trabalho tem como objetivo relatar parte dos estudos desenvolvidos na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no tema de monitoramento e previsão de safras, especificamente no que se refere às pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Agrometeorologia – GA e pelo Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia – LEAA, localizados em Porto Alegre, Brasil.

O Grupo de Agrometeorologia da UFRGS tem extensa tradição em pesquisa e ensino, sendo referência nacional nesta área de conhecimento. O GA está situado na Faculdade de Agronomia/UFRGS (<http://www.ufrgs.br/agronomia/>). As principais atividades são desenvolvidas nas linhas de pesquisa Relações Clima-Planta, Relações Hídricas no Sistema Solo-Planta-Atmosfera, Variabilidade e Tendências Climáticas Aplicada à Agricultura e Sensoriamento Remoto Aplicado à Agrometeorologia. Neste trabalho, estão relatadas as principais atividades relacionadas ao tema específico do Monitoramento e Previsão de Safras, desenvolvidas no âmbito da linha de pesquisa Sensoriamento Remoto Aplicado à Agrometeorologia.

Por sua vez, o LEAA/UFRGS (<http://www.ufrgs.br/leaa/>) tem sede física no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS). Neste laboratório são desenvolvidas atividades de pesquisa relacionadas ao desenvolvimento de metodologias para previsão de safras, envolvendo, principalmente, o mapeamento e monitoramento de áreas ocupadas com culturas agrícolas e pastagens, utilizando, para isto, tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

A maior parte das pesquisas desenvolvidas foi amparada por dois grandes projetos de pesquisa, nos quais atuaram equipes multidisciplinares formadas por pesquisadores de diversas instituições. O primeiro projeto foi denominado GeoSafras, o qual foi financiado pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), tendo início em 1998. Neste projeto participaram diversas instituições brasileiras como UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e outras, sendo que o LEAA/UFRGS coordenou as ações na Região Sul do Brasil. Outro projeto relevante desenvolvido no tema foi o MAPAGRI (Mapeamento da Atividade Agrícola Brasileira), o qual foi coordenado e financiado pela EMBRAPA e, novamente, constituído por diversas instituições brasileiras.

Importante ressaltar ainda que, apesar do presente relato ter como foco principal os resultados

de pesquisa oriundos destes dois grandes projetos, tem sido de fundamental importância o suporte teórico e experimental gerado pelo próprio grupo, nas demais linhas de pesquisa desenvolvidas, na experimentação de campo e na análise de séries históricas em bancos de dados. De forma semelhante, as parcerias internacionais estabelecidas tem contribuído de forma marcante às ações do grupo.

Para fins de organização, neste trabalho são abordados os principais avanços obtidos pelos GA e LEAA nos três principais segmentos de um sistema de previsão de safras, quais sejam: estimativa de área cultivada, estimativa da produtividade de grãos e ferramentas de monitoramento da cobertura vegetal.

1. Estimativa de área cultivada

Avanços importantes, nos últimos 10 anos, foram obtidos no LEAA/UFRGS em relação à definição da área ocupada por diversos cultivos agrícolas, especialmente, quando a estimativa abrange a escala regional.

A metodologia mais utilizada para a definição de áreas cultivadas (mais frequentemente denominada de máscara de cultivos) tem sido o uso combinado de sensores de moderada e alta resolução espacial. Os sensores com alta resolução espacial (LANDSAT, Aster, CBERS e outros) podem contribuir com sistemas de previsão de safra por permitirem o detalhamento das informações, essencial para a caracterização e distinção de determinadas áreas agrícolas. Por sua vez, sensores de moderada resolução espacial (MODIS, NOAA, SPOTVeg e outros) podem contribuir para a generalização das informações e estimativas de safra em caráter regional.

É importante lembrar que, tradicionalmente, o emprego dos sistemas de alta resolução espacial é restrito à frequência de revisita (18 dias para os sistemas LANDSAT e 26 dias para o SPOT e CBERS, por exemplo), a qual, seguidamente, resulta em insuficiente número de imagens disponíveis para que as mudanças da vegetação, ao longo de um ciclo, sejam observadas de forma adequada. Devido ao volume excessivo de dados, estudos com estes satélites são restritos, ainda, a análises locais, ou seja, abrangendo áreas relativamente pequenas e não contemplando o desafio de estimativas de safras para um Estado ou País inteiro, especialmente quando se refere ao Brasil. Apesar desta situação estar sendo alterada pela disponibilização de sensores mais modernos e adequados à realidade agrícola, estes ainda não

estão sendo operacionalmente utilizados.

Em termos de satélites de moderada resolução espacial, mas com alta resolução temporal, salientam-se os sensores AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite TERRA, os quais são considerados, na literatura internacional, como os mais consistentes para a geração de produtos capazes de atender às necessidades agrícolas (Justice *et al.*, 1991; Maselli *et al.*, 1993; Huete *et al.*, 2002; Boken & Shaykewich, 2002; Manjunath *et al.*, 2002, entre outros). Esta peculiaridade é consequência de características como cobertura global diária da Terra, larga faixa de imageamento, disponibilidade de bandas espectrais próprias ao monitoramento da vegetação e, também, de uma série contínua de imagens a partir de 1982, no caso do AVHRR/NOAA (Kidwell, 1990), e a partir de 1999, no caso do MODIS/TERRA (Huete *et al.*, 2002).

As imagens do sensor MODIS/TERRA, na forma de índices de vegetação, têm sido muito utilizadas para o monitoramento da evolução da vegetação agrícola de diversas regiões do globo (Huete *et al.*, 2002; Rizzi 2005, Wardlow *et al.* 2007, Risso *et al.*, 2009). Com esse sensor, que opera com 36 bandas espectrais, é possível um recobrimento global e contínuo a cada dois dias, com resoluções espaciais variando de 250 a 1.000m. Uma característica importante em relação ao MODIS é de que os dados, já corrigidos para efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc...) e georeferenciados, são distribuídos gratuitamente na forma de diferentes produtos, entre os quais destacam-se os índices de vegetação: NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (Índice de Vegetação Realçado, do inglês *Enhanced Vegetation Index*), produzidos a cada 16 dias, com resoluções de 250, 500 e 1.000m. As imagens NDVI/MODIS/TERRA representam uma possibilidade de estender a série histórica de imagens NDVI/AVHRR/NOAA, ampliando a disponibilidade de dados para estudos de monitoramento. Nas imagens EVI/MODIS/TERRA foram introduzidas melhorias na qualidade da informação espectral (Huete *et al.*, 1997) através do aumento na sensibilidade em condições de alta biomassa e de correções para a redução da influência atmosférica e do fundo (solo, palha, água,...). As imagens MODIS têm sido utilizadas para o monitoramento das mudanças sazonais e da fenologia da vegetação em grandes áreas (Sakamoto *et al.*, 2006 e 2007), o que é essencial para a estimar a área e o rendimento de culturas agrícolas. A partir de março de 2016, o EOS (*Earth*

Observing System Data Gateway) da NASA iniciou a disponibilização da coleção 6 de imagens NDVI e EVI/MODIS, na qual as imagens de toda a série histórica disponível foi reprocessada, tornando as imagens ainda mais confiáveis. Esta é uma característica interessante deste programa e que se repete em intervalos de tempo, permitindo a cada avanço tecnológico a manutenção do aspecto de comparação temporal.

No LEAA/UFRGS os estudos com imagens MODIS, para fins de mapeamento das principais culturas agrícolas estabelecidas no Rio Grande do Sul, têm utilizado extensamente o atributo espectro-temporal. Culturas anuais apresentam, ao longo do ciclo, variações na resposta espectral que permitem distingui-las de outros alvos e, assim, a variabilidade temporal dos índices de vegetação tem sido utilizada para a construção de máscaras de cultivo.

O primeiro estudo do LEAA empregando máscaras de cultivo foi desenvolvido por Fontana *et al.* (2007), numa parceria com a University of Southern Queensland (USQ), Austrália, e motivou uma série de trabalhos subsequentes. Neste, foi construída uma máscara de cultivo para trigo em dois departamentos da Austrália. A técnica usada foi a de "imagem diferença", obtida pela subtração da imagem de mínimo NDVI e EVI/MODIS (imagem do período de implantação da cultura) daquela de máximo valor dos índices (imagem do período de pleno desenvolvimento da cultura). Sobre a imagem diferença foi estabelecido um limiar de corte, o qual determina a delimitação das áreas de cultivo e não-cultivo. As áreas que apresentam variação de NDVI ao longo do período de crescimento compatível com a variação de biomassa verde de uma cultura anual são inseridas na máscara de cultivo. Estabelecida a máscara, foram extraídos os valores médios dos índices de vegetação das áreas de cultivo e elaborados os perfis temporais para quatro safras (2000 a 2004). Nesse trabalho, as variações interanuais nos perfis temporais de NDVI e EVI/MODIS foram atribuídas às variações no aporte de água à cultura (precipitação pluvial).

Alguns trabalhos subsequentes evidenciaram, entretanto, que a técnica da imagem diferença apresenta uma limitação importante no contexto da previsão de safras, que é a forte dependência da determinação de um valor arbitrário (limiar de corte), o qual apresenta variações de safra para safra, visto que o objetivo era estabelecer uma máscara de cultivo com área semelhante à área oficial. Em função disso, diversas pesquisas foram desenvolvidas no LEAA visando obter metodologias mais robustas e objetivas e que tivessem menor grau de interferência de dados subjetivos ou mesmo da

aptidão do operador do sistema.

Wagner *et al.* (2007) propuseram uma metodologia baseada na utilização de duas cenas LANDSAT – TM5 abrangendo parte de uma das mais importantes regiões produtoras de grãos no Rio Grande do Sul. A partir da identificação da área cultivada com soja por metodologia de máscara de cultivo (uma imagem do início do ciclo (novembro) e outra de pleno desenvolvimento (fevereiro)), foi feita a sobreposição das imagens LANDSAT classificadas com as imagens MODIS e extraídos os valores de média e desvio padrão do NDVI/MODIS característicos das áreas mapeadas com soja nestes dois períodos. Os valores estatísticos, obtidos na área de sobreposição das imagens foram utilizados para a determinação da área de soja em uma região mais ampla, no noroeste do Rio Grande do Sul. As imagens foram reamostradas para dados binários, de modo que todos os valores de NDVI dentro do intervalo definido (média \pm 1,125 desvio padrão) passaram a assumir valor 1 e todos os outros assumiram o valor zero. A etapa final do processamento consistiu no cruzamento (multiplicação cruzada das imagens binárias das imagens dos dois períodos), o que resultou em uma imagem de soja e 'não-soja'. Os resultados mostraram alta correlação entre os mapeamentos, se observados em escala municipal (Figura 1).

Ainda para a cultura da soja, Santos *et al.* (2013) compararam a acurácia de várias metodologias de mapeamento das áreas de cultivo e verificaram a robustez da proposta metodológica de uso do atributo espectro-temporal para identificar as áreas de ocupadas com soja no norte do Rio Grande do Sul. Todas as metodologias testadas apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,85 entre a área estimada com as imagens e os dados oficiais (Figura 2).

Para a cultura do arroz irrigado, Klering *et al.* (2013) propuseram a construção das máscaras de cultivo através da classificação digital supervisionada, para as 6 regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, também utilizando o atributo espectro-temporal. As amostras para treinamento do classificador foram coletadas em uma imagem de composição colorida, frequentemente denominada composição RGB (R=vermelho, G=verde, B=azul), elaborada a partir de imagens multitemporais NDVI/MODIS, de determinados períodos do ciclo da cultura. A imagem correspondente ao menor crescimento vegetativo (período de entrada de água na lavoura - primeira quinzena de novembro – e primeira imagem de mínimo) foi alocada no canal verde. No canal azul foi colocada a imagem correspondente ao período de implementação da cultura (primeira quinzena de outubro - segunda imagem de míni-

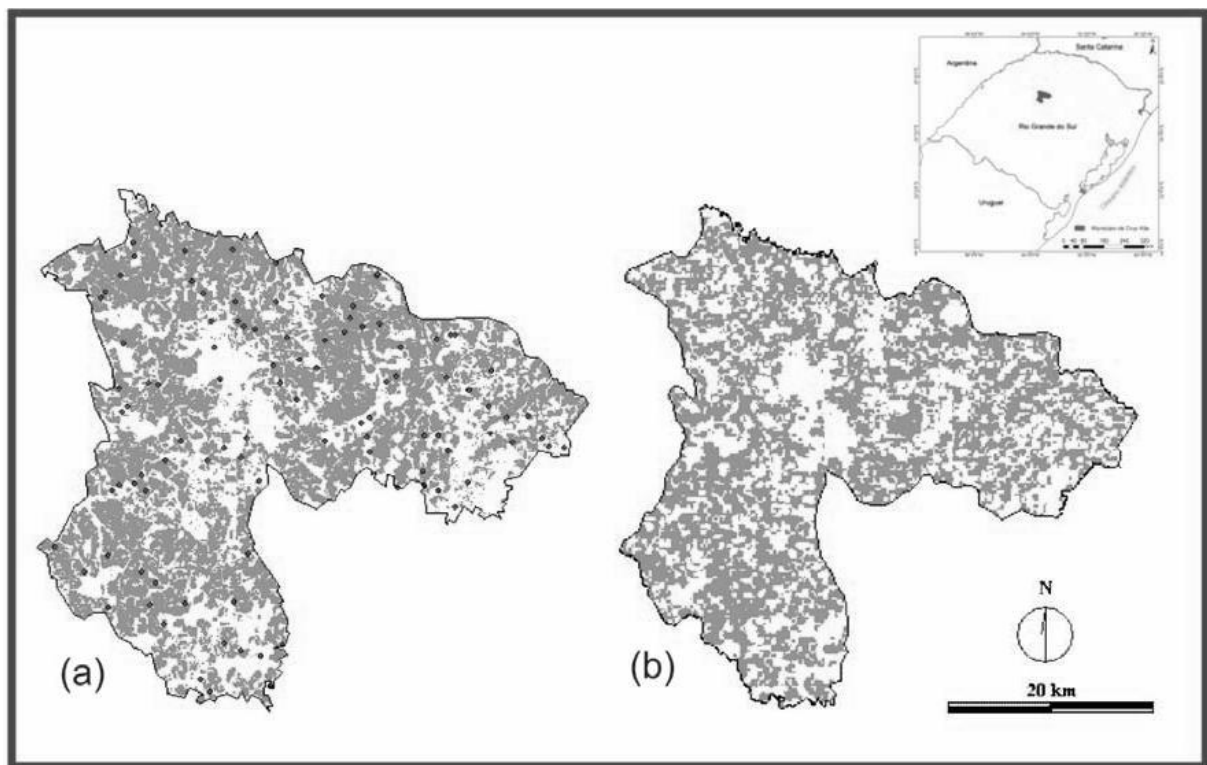


Figura 1. Área mapeada como de cultivo de soja no município de Cruz Alta –RS, Brasil, utilizando imagens LANDSAT (a) e MODIS (b), safra 2005/06. Fonte: Wagner *et al.* (2005).

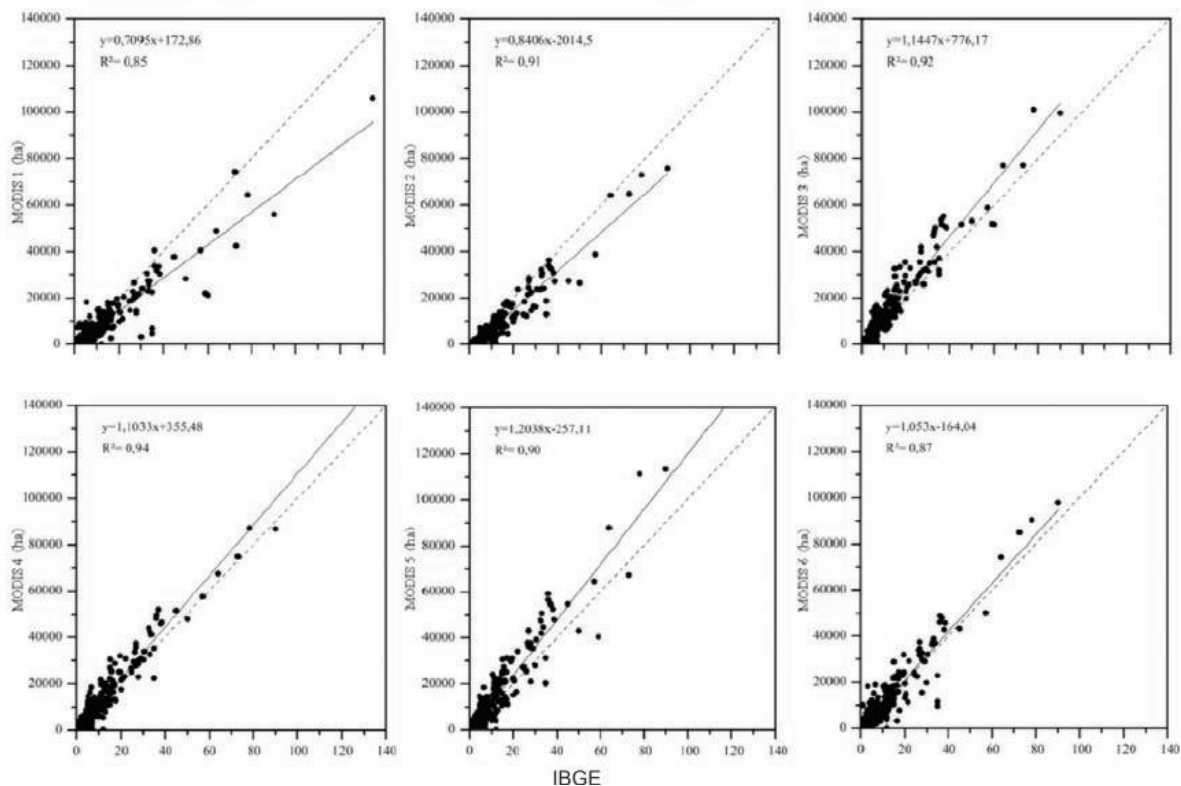


Figura 2. Comparação das estimativas de área cultivada com soja, entre os dados oficiais do IBGE e os obtidos por meio de imagens NDVI/MODIS, para 255 municípios avaliados no Rio Grande do Sul. A linha tracejada representa a linha 1:1. Fonte: Santos *et al.* (2014).

mo) e no canal vermelho foi colocada a imagem correspondente ao período de maior crescimento vegetativo (primeira quinzena de janeiro - imagem de máximo). Foram, então, selecionadas amostras em áreas com maior crescimento vegetativo dentro de cada composição RGB, as quais, provavelmente, estavam associadas às lavouras de arroz irrigado. A imagem classificada foi gerada tendo somente duas classes, sendo uma denominada “arroz” e a outra, “não arroz”. O índice de concordância de Willmott, que mede a dispersão dos dados em relação à reta (1:1), foi utilizado para mostrar a concordância dos valores de área de cultivo estimados em relação aos oficiais (de 95%). O estudo utilizou imagens de 2000/01 a 2009/10 e permitiu gerar uma imagem com as áreas potenciais de cultivo de arroz irrigado no Estado (Figura 3), o qual é um importante produto, que pode ser usado para fins de planejamento do setor.

Posterior a este trabalho, Mengue *et al.* (2015) propuseram um processamento extra para o mapeamento das áreas cultivadas com arroz irrigado, buscando melhorar, ainda mais, a acurácia dos resultados. Após a utilização do método proposto por Klering *et al.* (2013), os autores adicionaram um critério de exclusão de áreas mapeadas como

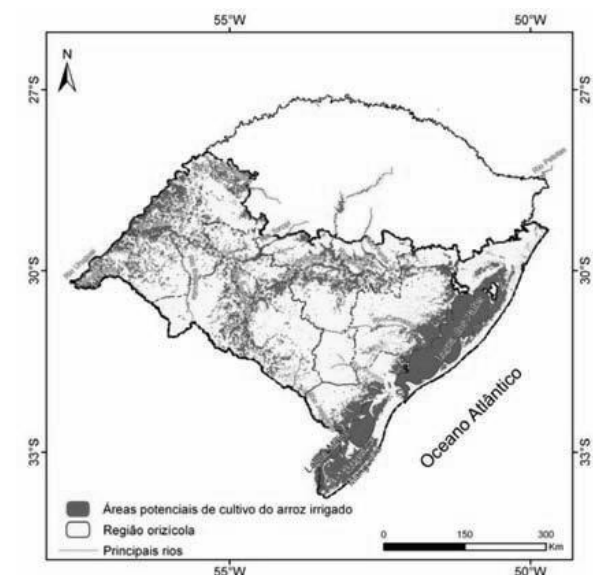


Figura 3. Áreas potenciais de cultivo do arroz irrigado na região orizícola do Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Klering *et al.* (2013).

arroz que não se situavam nas áreas de várzea, visto serem estas as áreas tradicionalmente destinadas ao cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Com o uso apenas do atributo de variação temporal dos índices de vegetação, é grande a

confusão na classificação entre soja e arroz irrigado, culturas agrícolas estabelecidas no mesmo período no Estado. O critério proposto por Mengue *et al.* (2015) foi baseado no modelo HAND, que calcula as alturas em relação à drenagem mais próxima (Figura 4). A exatidão global obtida no mapeamento da cultura do arroz irrigado, nesse trabalho, foi de 91,99%. Esse estudo foi um importante aprimoramento, na medida em que, dados os preços altos da soja no mercado internacional, esta cultura tem tido expressiva expansão no sul do Estado do Rio Grande do Sul, avançando sobre áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado e pastagens.

A principal cultura estabelecida no período

de outono-inverno no Rio Grande do Sul é o trigo, que foi estudada por Junges *et al.* (2013). Os autores elaboraram máscaras de cultivo usando dois critérios. Inicialmente, foi feita a subtração de imagens de mínimo NDVI (abril e maio, época de semeadura), daquelas de máximo NDVI (junho a outubro), buscando a identificação dos pixels com as maiores variações de biomassa verde, associadas ou não à produção de grãos. Em seguida, foi realizada uma classificação não supervisionada das imagens (algoritmo Isodata), considerando as áreas pertencentes às máscaras de cultivo. Esta classificação gerou classes cujos perfis temporais foram condizentes com diversos tipos de usos e coberturas do solo. Os perfis temporais de áreas

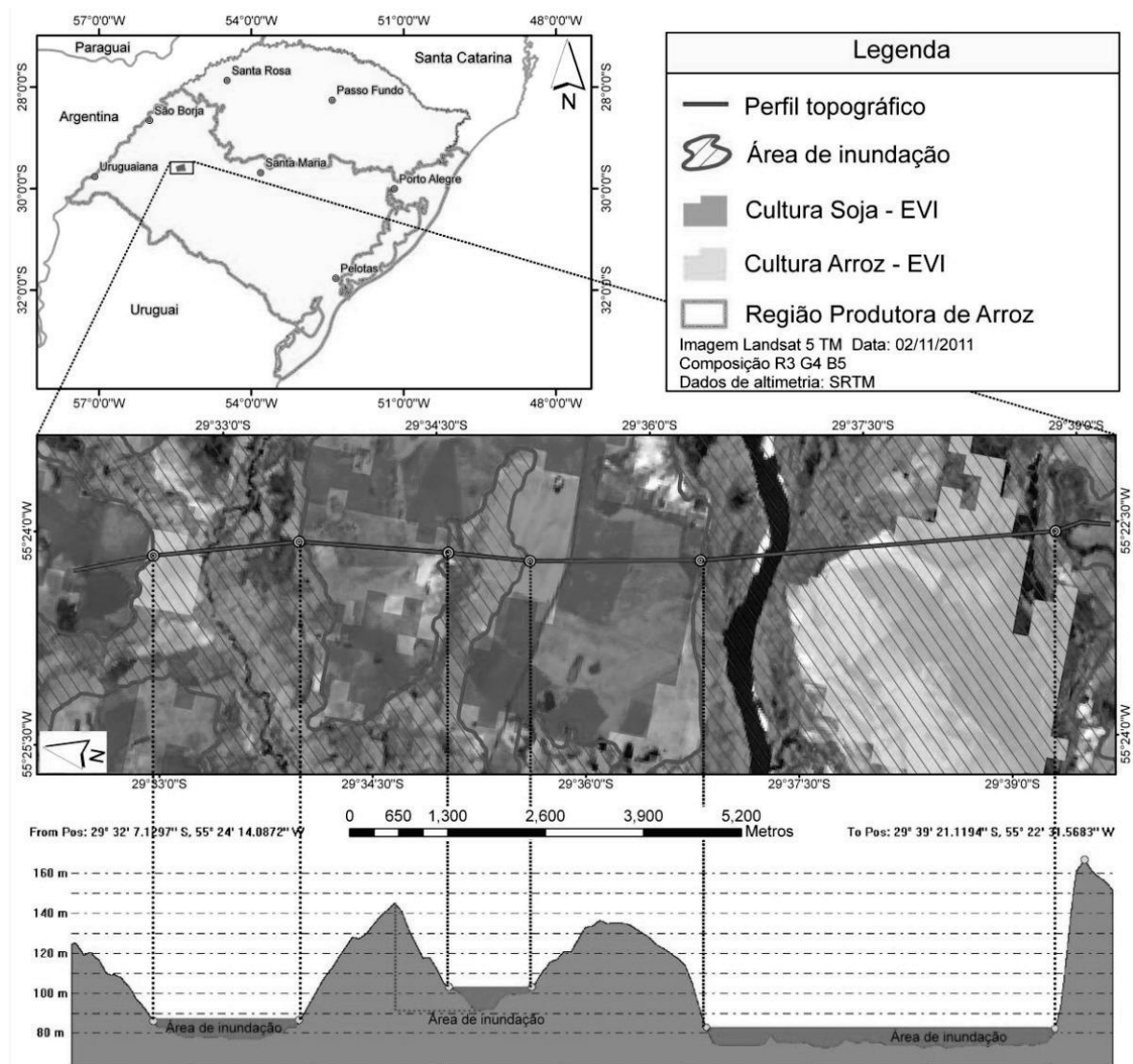


Figura 4. Corte transversal do terreno, ilustrando as áreas de várzea (inundação) do Estado do Rio Grande do Sul. Dados de altimetria: SRTM. Imagem: Landsat 5 TM. Data: 02/11/2011 Fonte: Mengue & Fontana (2015).

destinadas à produção de grãos concordaram com os padrões de cultivo dos cereais de inverno na região (ciclo de desenvolvimento, manejo e épocas de semeadura). Identificada a área de cultivo, foi possível traçar perfis temporais associados à cultura do trigo nas diversas regiões de produção avaliadas (Figura 5).

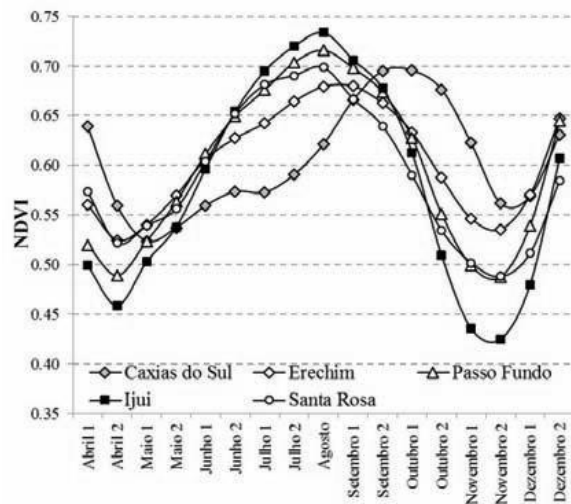


Figura 5. Perfis temporais de NDVI/MODIS, de abril a dezembro, das áreas agrícolas identificadas por meio da metodologia de máscaras de cultivo, nas regionais EMATER/RS de Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa (Rio Grande do Sul, Brasil), média dos anos 2000 a 2008. Fonte: Junges *et al.* (2013).

2. Estimativa da produtividade

No contexto da estimativa da produtividade, muitos trabalhos nacionais e internacionais têm comprovado a viabilidade da incorporação da modelagem agrometeorológica aos levantamentos oficiais de safras, introduzindo maior objetividade aos resultados obtidos. Estes modelos são fundamentados no fato de que a definição da produtividade da cultura é, principalmente, influenciada pelas condições meteorológicas. Seguem alguns exemplos de trabalhos realizados pelo Grupo de Agrometeorologia da UFRGS: Berlatto (1987), Fontana *et al.* (2001) e Kruger *et al.* (2007) para a cultura da soja, Barni (1994) para o girassol, Matzenauer *et al.* (1995) e Bergamaschi *et al.* (2006 e 2013) para a cultura do milho, e Carmona (2002) e Klering *et al.* (2008) para a cultura do arroz irrigado. Nestes estudos, destacam-se as parcerias estabelecidas entre o grupo e outras instituições, especialmente a FEPAGRO (Fundação de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul) e a University of Reading, Inglaterra.

Com o avanço tecnológico, entretanto, novas

abordagens têm sido sugeridas. A abordagem que o GA tem trabalhado de forma mais sistemática é o modelo agrometeorológico-espectral, o qual agrega às informações meteorológicas dados de biomassa vegetal obtidos através de sensores remotos. Neste tipo de modelo, o pressuposto é que o termo agrometeorológico expresse a influência sobre a produção de grãos das condições de radiação solar, temperatura e umidade do ar e disponibilidade hídrica, enquanto que o componente espectral expresse, além destas, também as diferenças de práticas de manejo, cultivares e estresses não incluídos no modelo agrometeorológico. Alguns dos trabalhos realizados nos últimos anos pelos GA e LEAA, os quais são descritos a seguir, buscaram ajustar modelos agrometeorológicos-espectrais de estimativa da produtividade para as culturas da soja, arroz e trigo no Estado do Rio Grande do Sul.

Os primeiros trabalhos no tema iniciaram ainda usando imagens oriundas do sensor AVHRR/NOAA, cuja resolução espacial é de 1 Km x 1 Km no nadir. Nestes, a área considerada para extração dos valores de NDVI (componente espectral) era de grande dimensão e não considerava o uso de máscaras de cultivo. A principal cultura estudada foi a soja. Os estudos partiam do pressuposto de que, sendo a soja uma cultura agrícola implantada no Rio Grande do Sul, majoritariamente sem irrigação, em safras caracterizadas pela ocorrência de maiores precipitações pluviais as plantas teriam maior vigor vegetativo. O oposto ocorreria nas safras com limitação de água à cultura. Independentemente da área de abrangência, portanto, o índice de vegetação poderia ser representativo das condições hídricas regionais. Neste contexto, Melo *et al.* (2005) trabalharam com uma série de imagens NDVI/NOAA de 1975 a 2000 (termo espectral - TE) aliado ao termo agrometeorológico (TA - modelo de Jensen, 1968, adaptado por Berlatto, 1987), o qual foi baseado no atendimento da demanda hídrica, ponderado pela sensibilidade da cultura ao longo do ciclo. A equação ajustada (Eq. 1) foi uma regressão múltipla do tipo:

$$Y = -2,63487 + 1084TA + 4,63420TE \quad (1)$$

sendo que o termo TE é o NDVI médio de dezembro e janeiro e o termo TA é dado pela equação 2:

$$Y = Y_m \prod_{i=1}^n \left(\frac{ETr}{ETm} \right)_i^{\lambda_i} \quad (2)$$

sendo ETr e ETm a evapotranspiração real e máxima, respectivamente, i o período do ciclo e λ_i a

sensibilidade do período *i* ao déficit hídrico.

Os coeficientes λ_i ajustados para o Rio Grande do Sul foram 0,404, 0,192 e 0,475, respectivamente, para os meses de janeiro, fevereiro e março. Os coeficientes de correlação entre dados estimados e observados foram de 0,96 e 0,94 para o ajuste e a validação, respectivamente (Figura 6), demonstrando a robustez do modelo e a real possibilidade do uso do mesmo no contexto da previsão de safras, visto que a estimativa poderia ser realizada, pelo menos, um mês antes da colheita.

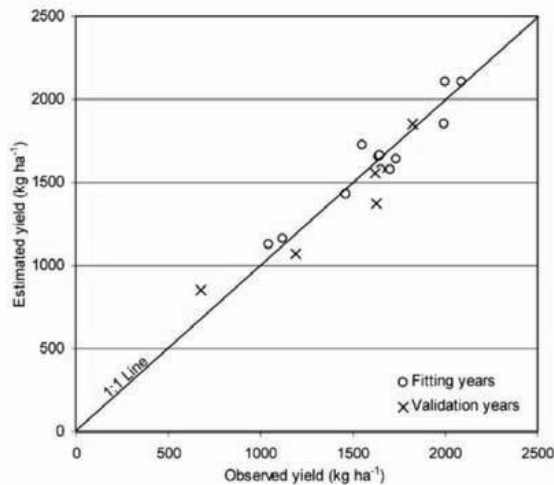


Figura 6. Rendimento de grãos de soja estimados a partir de modelos espectrais, em função dos rendimentos observados, considerando os anos de ajuste (R=0,94) e validação (R=0,94) no período de 1982 a 2000. Fonte: Melo *et al.* (2008).

Posteriormente, utilizando também abordagem agrometeorológica-espectral, mas com variações relacionadas ao tipo de sensor, variável agrometeorológica, ou forma de seleção das variáveis, novos modelos foram ajustados para estimativas da produtividade das culturas do trigo e arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

Para o arroz irrigado, Klering *et al.* (2016) ajustou um modelo utilizando a técnica *stepwise* para a seleção das variáveis de entrada do modelo. A variável espectral foi o NDVI proveniente de imagens MODIS, enquanto que as variáveis agrometeorológicas foram o número de dias com temperatura mínima do ar igual ou inferior a 15°C (NDIAS) e a temperatura mínima absoluta do ar (TMINABS), provenientes de estações meteorológicas situadas nas regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Em virtude de, independente da região, o rendimento de grãos responder de maneira semelhante às condições meteorológicas e de biomassa acumulada (NDVI), ajustou-se um único modelo para cultura do arroz no Estado. A variabilidade regional em termos da produtividade potencial de grãos de

arroz foi inserida no modelo, na forma de variáveis *dummies* (binárias) para indicação de cada região, conforme a Eq. 3.

$$Y = 15,43 - 0,82Reg1 - 0,82Reg3 - 0,92Reg4 - 1,82Reg5 - 1,47Reg6 - 5,17NDVI_{Nov1} - 6,04NDVI_{Mar2} - 0,06NDIAS_{Out2} - 0,12NDIAS_{Mar2} - 0,09TMINABS_{Mar1}$$

onde: *Y* é a produtividade estimada de grãos de arroz irrigado (t·ha⁻¹); *Reg1*, *Reg3*, *Reg4*, *Reg5* e *Reg6* correspondem, respectivamente, às regiões da Fronteira Oeste, Depressão Central, Planície Interna à Lagoa dos Patos, Planície Externa à Lagoa dos Patos e Zona Sul; *NDVINov1*, *NDVIMar2*, é o NDVI observado, respectivamente, no primeiro período de novembro, no segundo período de março; *NDIASOut2* e *NDIASMar2* é, respectivamente, o número de dias com temperatura mínima do ar igual ou inferior a 15 °C no segundo período de outubro e no segundo período de março; *TMINMar1* é a temperatura mínima do ar no primeiro período de março

Os resultados apresentados na Tabela 1 mostram que o enfoque metodológico é consistente e que o modelo atende às demandas da modelagem da produtividade de grãos em grandes áreas.

Pode-se citar, ainda, a modelagem proposta para a cultura do trigo. Junges & Fontana (2011) mostraram o avanço na precisão das estimativas da produtividade de grãos pela incorporação dos dados espectrais aos modelos agrometeorológicos. Os autores propuseram uma equação de regressão múltipla que usa as variáveis NDVI e graus-dia (*GD*) como indicadores do desenvolvimento vegetativo da cultura, o qual é penalizado com a ocorrência de geadas (*IG*) e de precipitação pluvial na colheita (*PP*). A regressão linear múltipla ajustada

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre os rendimentos de grãos de arroz irrigado oficiais e os estimados; Diferença média (t ha⁻¹) entre os rendimentos oficiais e os estimados a partir do modelo agrometeorológico-espectral, para as diferentes regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, Brasil. Período: safras agrícolas 2000/2001 até 2009/2010. Fonte: Klering *et al.* (2016).

Região orizícola	r**	Diferença média (t ha ⁻¹)
Fronteira Oeste	0,86	0,40
Campanha	0,84	0,27
Depressão Central	0,66	0,35
Planície Interna à Lagoa dos Patos	0,79	0,29
Planície Externa à Lagoa dos Patos	0,91	0,23
Zona Sul	0,89	0,31

** Significativo a 5% pelo teste t-Student.

(Eq. 4 e Figura 7) apresentou um coeficiente de determinação de 0,99, sendo definida por:

$$Y = -18929 + (5,94NDVI) - (0,41IG) - (1,24PP) + 5,73GD \quad (4)$$

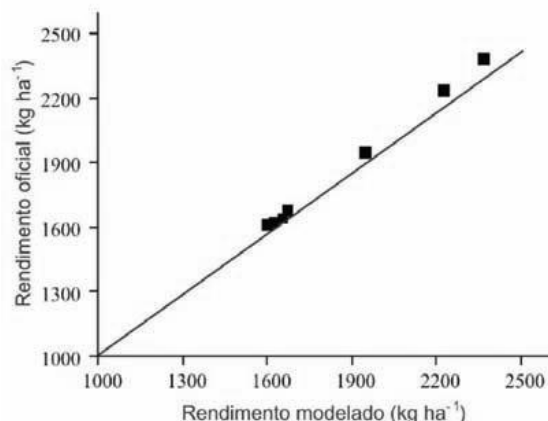


Figura 7. Relação entre rendimento de grãos de trigo (kg ha^{-1}) oficial e estimado pelas equações de regressão linear múltipla, sendo as variáveis independentes NDVI, índice de geada de setembro, precipitação pluvial de outubro e graus-dia acumulados de maio a outubro, de 2000 a 2006, na região de abrangência da Cooperativa Triticola do Alto Uruguai - Cotrijal (13 municípios localizados ao norte do Estado do Rio Grande do Sul). Fonte: Junges & Fontana (2013).

3. Ferramentas de monitoramento da cobertura vegetal

Os estudos desenvolvidos neste tema no âmbito do LEAA e do GA, em sua maioria, utilizam como base os dados de índices de vegetação, tomando como premissa o fato de que os mesmos são consistentes indicadores da resposta da vegetação aos efeitos climáticos, antrópicos ou decorrentes de alteração no uso e cobertura do solo. Neste tema, foram desenvolvidos vários trabalhos, com destaque para os que serão descritos, a seguir, de forma sucinta.

Marques *et al.* (2005) utilizaram imagens AVHRR/NOAA para avaliar a correlação entre a temperatura da superfície do mar (TSM), em regiões dos oceanos Atlântico e Pacífico (TSM), e a cobertura vegetal (NDVI) no Rio Grande do Sul, mensalmente, de forma simultânea e com defasagem de 1, 2 e 3 meses. As imagens NOAA, de baixa resolução espacial, se mostraram úteis em estudos regionais, especialmente aqueles associados a eventos de grande escala. Os autores verificaram que há associação entre a TSM e o NDVI, a qual é dependente da época do ano e da região do Estado (Figura 8).

Nesse trabalho foram lançadas algumas hipóteses sobre os mecanismos de conexão entre as alterações de grande escala nos oceanos Pacífico e Atlântico e as condições meteorológicas do Estado.

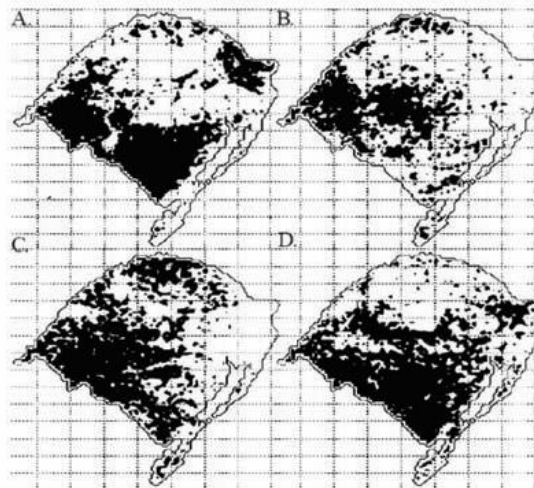


Figura 8. Áreas do Rio Grande do Sul com coeficientes de correlação significativos a nível de 5% entre NDVI e TSM (em preto), no período de 1982 a 1999: A) TSM do Oceano Pacífico Equatorial no Niño 3.4 de novembro e NDVI de janeiro; B) TSM do Oceano Atlântico Subtropical de julho e NDVI de julho; C) TSM do Oceano Atlântico Subtropical de julho e NDVI de agosto e D) TSM do Oceano Atlântico Subtropical de julho e NDVI de setembro. Fonte: Marques *et al.* (2005).

Também com o AVHRR/NOAA e relacionado-se ao monitoramento do efeito de eventos de grande escala, Jacobsen *et al.* (2005) analisaram os efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Rio Grande do Sul, dada a associação já extensamente comprovada de relação entre ENOS e o clima e a agricultura no Estado (Berlato & Fontana, 2003).

Ainda com o AVHRR/NOAA, mas com uma série mais longa (GIMMS - *Global Inventory Modeling and Mapping Studies* - de 1982 a 2008), Cordeiro (2014) verificou que, através dos perfis temporais de NDVI, é possível monitorar variações fenológicas da vegetação em decorrência da sua dinâmica temporal, a qual está associada às condições meteorológicas, sendo que a variável meteorológica limitante ao crescimento depende da estação do ano. A autora, também, verificou que a variabilidade de NDVI permite agrupar regiões homogêneas, de forma a identificar e mapear os principais grupos vegetais do Rio Grande do Sul. Além disso, através de análises espaço-temporais e de anomalias no padrão normal da vegetação foi observado que maiores valores de NDVI estão associados, em geral, a eventos El Niño no Rio Grande do Sul, enquanto que menores à La Niña.

Sobre El Niño e La Niña, é importante ressaltar

que o fenômeno teve grande destaque, especialmente no âmbito do GA da UFRGS no final da década de 1990 e início da década de 2000. Foram diversos os estudos realizados, os quais foram compilados em um livro que objetivou analisar os efeitos associados a este fenômeno no clima e na agricultura do Rio Grande do Sul (Berlato & Fontana, 2003).

Destaca-se, ainda, outro relevante estudo realizado no LEAA acerca de monitoramento da cobertura vegetal. Wagner *et al.* (2007), por meio de séries temporais de NDVI/MODIS, observaram e quantificaram a dinâmica temporal da cobertura vegetal de áreas campestres do Bioma Pampa do Rio Grande do Sul e do Uruguai. Os resultados mostraram que, em regiões com predomínio de campos, há uma declividade negativa na tendência linear da média temporal dos índices de vegetação. A tendência negativa dos índices de vegetação, relacionada à combinação da ocor-

rência de déficit hídrico em solos rasos e com sobrepastoreio, indica alterações no padrão de cobertura vegetal do Pampa, com redução do vigor vegetativo. Wagner (2013) também analisou os efeitos do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) sobre o “verdor” dos campos desse Bioma. Foi observado que a variabilidade interanual das condições meteorológicas no Estado é alta, a qual, em parte, está associada ao fenômeno ENOS. No período do verão é quando o fenômeno mostra as maiores alterações no padrão climático da região (Figura 9), com aumento na precipitação pluvial e na amplitude térmica durante o El Niño. O oposto é verificado na fase La Niña. Os autores concluíram que os índices de vegetação são adequados para retratar as relações entre a variabilidade espaço-temporal dos padrões de vegetação campestre e o clima do Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai.

Por fim, extrapolando os limites geográficos do

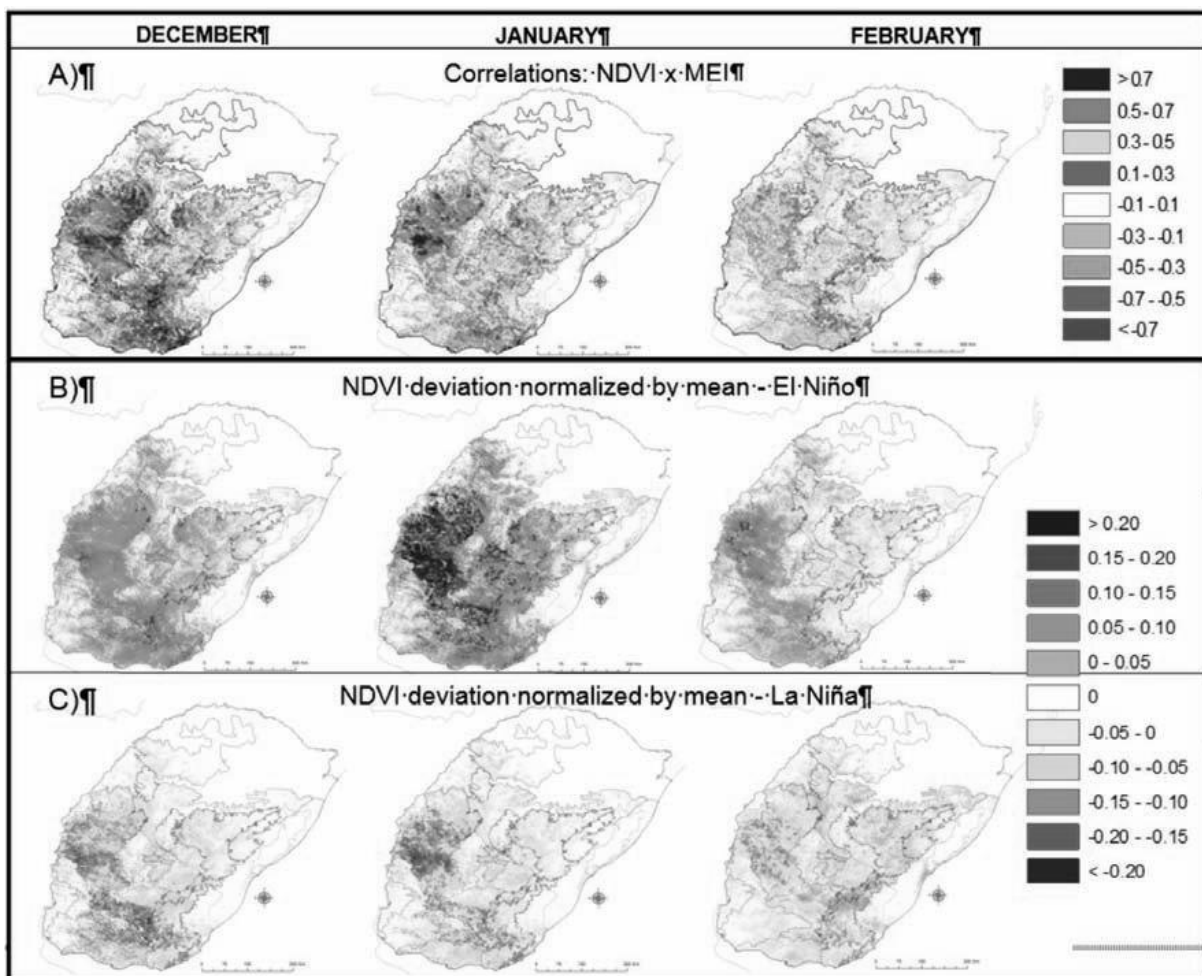


Figura 3. A) correlações entre NDVI e MEI – *Multivariate ENSO Index* ($p < 0.05$, lag 0), e B), C) Desvio padrão de NDVI normalizado pela média em eventos ENOS, em dezembro, janeiro e fevereiro. Análises nos campos do Pampa do Rio Grande do Sul, Brasil, e Uruguai, para o período de Fevereiro de 2000 – agosto de 2011. Fonte: Wagner (2013).

Estado do Rio Grande do Sul, é importante registrar dois relevantes estudos com a cultura do milho em que integrantes do GA e LEAA realizaram em parcerias com grupos de pesquisa de outros países. Ambos utilizaram imagens MODIS e apresentaram enfoques metodológicos relacionados aos descritos nos três segmentos de pesquisa abordados neste trabalho. Mabilana et al. (2012) ajustaram um modelo de estimativa da produtividade do milho na província de Manica, Moçambique. De la Casa et al. (2014) testaram o NDVI como estimador da percentagem de cobertura do solo de dossel de milho em Córdoba, Argentina. Os resultados destes e outros trabalhos conduzidos em diversas regiões do Globo apontam para a robustez das metodologias propostas em condições ambientais diversas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A equipe de pesquisadores do Grupo de Agrometeorologia – GA e do Laboratório de Estudos em Agricultura e Agrometeorologia – LEAA da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizado em Porto Alegre, Brasil, tem contribuído na geração de conhecimento em temas relacionados à Agrometeorologia, assim como, para a formação de recursos humanos qualificados na área de monitoramento e previsão de safras, usando imagens orbitais. É um grupo que acumula uma história sólida, construída a partir de uma constante e progressiva sequência de pesquisas, as quais estão listadas nesta revisão. No GA a maior parte dos trabalhos tem foco na modelagem da produtividade, enquanto que no LEAA se concentram os trabalhos prioritariamente relacionados com as estimativas de área cultivada e monitoramento da cobertura vegetal. Os dois grupos têm estreita relação, tanto no que se refere aos pesquisadores que atuam, como um trânsito constante dos estudantes entre os Programas de Pós Graduação em Fitotecnia (PPGFito/UFRGS) e Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PP-GSR/UFRGS). Os avanços são, prioritariamente, decorrentes de quatro itens: i) desenvolvimento de pesquisas em um ambiente acadêmico, no qual os estudantes são parte ativa das pesquisas, questionando temas, propondo inovações e assegurando a continuidade de estudos; ii) disponibilidade de infraestrutura na UFRGS que, apesar de limitações existentes, abriga o grupo e viabiliza o desenvolvimento das pesquisas; iii) aporte de recursos para o financiamento das pesquisas, majoritariamente proveniente de recursos públicos, através da própria Universidade ou editais de pesquisa oriundos das principais agências nacionais de fomento que,

apesar das limitações, têm sido suficientes; iv) diversas parcerias de trabalho com instituições nacionais e estrangeiras, cuja integração tem permitido a troca de ideias, o intercâmbio de estudantes e pesquisadores, a geração de pesquisas em rede, que são de fundamental importância no contexto brasileiro, dadas as dimensões que o País ocupa, bem como para a consolidação de fortes linhas de pesquisa. Os avanços do ponto de vista técnico foram listados ao longo do texto e estão focados no teste e desenvolvimento de ferramentas e instrumentos que possam ser incorporadas de forma a qualificar os programas de monitoramento da atividade agrícola existente no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. 2006. Déficit Hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 41(2):243-249.
- BERGAMASCHI, H.; COSTA, S.M.S.; WHEELER, T. R.; Challinor, A.J. 2013. Simulating maize yield in sub tropical conditions of southern Brazil using Glam model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (1977. Imprensa), 48:132-140.
- BERLATO, M.A. 1987. Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e deficiência hídrica para o Estado do Rio Grande do Sul. São José dos Campos: INPE, 1987. 103f. Thesis (Doctorate in Meteorology) - Pós Graduação Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. 2003. El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre, Ed UFRGS, 110p.
- BOKEN, V.K., SHAYKEWICH, C.F. 2002. Improving an operational wheat yield model using phenological phase-based normalized difference vegetation index. *Int. J. Remote Sensing*, 23:4155-4168.
- CARMONA, L.C.; BERLATO, M.A.; BERGONCI, J.I. 2002. Relação entre elementos meteorológicos e rendimento do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10:289-294.
- CORDEIRO, A.P.A.C. 2014. Padrões do Índice de Vegetação associados à variabilidade climática do Estado do Rio Grande do Sul. Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 154p.
- DE LA CASA, G.G. OVANDO, A.C. RAVELO, E.G. ABRIL & H. BERGAMASCH. 2014. Estimating maize ground cover using spectral data from Aqua-MODIS in Cór-

- docha, Argentina, *International Journal of Remote Sensing*, 35(4):1295-1308.
- FONTANA, D. C., POTGIETER, A., APAN, A. 2007. Assessing the relationship between shire winter crop yield and seasonal variability of the MODIS NDVI and EVI images. *Applied GIS*, 3:1 – 16.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELO, R.W. 2001. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 36(3):399-403.
- HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T. et al. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 83:195-213.
- HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHIL, Y. K.; LEEUWN, W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59:440-451.
- JACÓBSEN, L. O; FONTANA, D.C.; SHIMABUKURO, Y. 2005. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Brasília, 19(2):129-140.
- JENSEN, M. E. 1968. Water consumptions by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T. T.; (ed.) *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, Cap.2, p.1-22.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. 2011. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. *Revista Ceres*, 58:9-16.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; PINTO, D.G. 2013. Identification of croplands of winter cereals in Rio Grande do Sul state, Brazil, through unsupervised classification of normalized difference vegetation index images. *Engenharia Agrícola (Impresso)*, 33:883-895.
- JUSTICE, C.O., TOWNSHEND, J.R.G. & KALB, V.L. 1991. Representation of vegetation by continental data sets derived from NOAA-AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 12(5):999-1021
- KIDWELL, K. B. C. 1990. *Global Vegetation Index: User Guide*. Washington, US Department of Commerce. 40p.
- KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; ROGLIO, V.; BERLATO, M. A.; ALVES, R. C. A. 2016. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Bragantia*. (ahead)KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. C. M.; ROCHA, J.V.; BERLATO, M. A. 2013. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado para o estado do rio grande do sul a partir de imagens Modis. *Ciência e Natura*, 35:126-135.
- KLERING, E. V., FONTANA, D. C., CARGNELUTTI FILHO, A. 2008. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:549 – 558.
- KRUGER, C.A.M.B, FONTANA, D. C., MELO, R. W. 2007. Estimativa do rendimento de grãos da soja no Rio Grande do Sul usando um modelo agrometeorológico-espectral regionalizado. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 15:210 – 219.
- MABILANA, H. ; FONTANA, D. C. ; FONSECA, E. L. 2012. Desenvolvimento de modelo agrometeorológico-espectral para estimativa de rendimento do milho na Província de Manica-Moçambique. *Revista Ceres*, 59:337-349. MANJUNATH, K.R., POTDAR, M.B., PUROHIT, N.L. 2002. Large area operational wheat yield model development and validation based on spectral and meteorological data. *Int. J. Remote Sensing*; 23:3023-3038.
- MARQUES, J.R.Q; FONTANA, D. C. ; MELO, R. W. 2005. Estudo da correlação entre a temperatura da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico e o NDVI, no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 9(4):520-526.
- MASSELLI, F.; CONESE, C.; PETKOV, L.; GILABERT, M.A. 1993. 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, 14:3471-87.
- MELO, R.W.; FONTANA, D. C., BERLATO, M. ADUCATI, J. R. 2008. An agrometeorological-spectral model to estimate soybean yield, applied to southern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 29:4013 – 4028.
- MENGUE, V.P.; FONTANA, D.C. 2015. Avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul. *Bragantia (São Paulo, SP. Eletrônico)*, 74(3):331-340.
- RISSE, J.; RIZZI, R.; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y.; FERNANDES, S. L. 2009. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. Anais... INPE, p. 379 – 386.
- RIZZI, R. 2005. Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul. 2005. 121f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- SANTOS, JULIANA S.; FONTANA, DENISE C.; SILVA, THIAGO S. F.; RUDORFF, BERNARDO F. T. 2014. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, 18:54-63.

WAGNER, A.P.L., WEBER, E., FONTANA, D. C., DUCATI, J. R., KLERING, E. 2007. Estimativa de Área de Soja no Rio Grande do Sul Utilizando Imagens NDVI/MODIS In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE, v.1. p.457 – 464.

WAGNER, A.P.L.; FONTANA, D. C.; FRAISE, C.; WEBER, E.; HASENACK, H. 2013. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online), 48:1192-1200.