

**AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO OBTIDA ATRAVÉS
DO MODELO BRAMS VISANDO O USO EM MODELO DE ESTIMATIVA DE
RENDIMENTO DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL.**

LUIZ ALBERTO DA COSTA MARCHIORI

**PORTO ALEGRE
2006**

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

**AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO OBTIDA ATRAVÉS DO MODELO
BRAMS VISANDO O USO EM MODELO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO DA SOJA NO
RIO GRANDE DO SUL.**

LUIZ ALBERTO DA COSTA MARCHIORI

Orientadora: Dr^a. Denise Cybis Fontana
Co-orientadora: Dr^a Rita de Cássia Marques Alves

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em
Sensoriamento Remoto, área de concentração
Sensoriamento Remoto Aplicado
a Recursos Naturais e do Ambiente

**Porto Alegre, RS
Agosto de 2006**

AGRADECIMENTOS

A professora Denise Cybis Fontana pela oportunidade, ajuda, ensinamentos e principalmente pela confiança e paciência que depositaste em mim em todo esse período. Muito Obrigado.

A minha família, pelo eterno apoio, incentivo e carinho. Em especial à minha Mãe, minha irmã, meu tio zeks, minha dinda e meu pai.

A minha co-orientadora Rita de Cássia Alves.

Aos colegas do Grupo de Estudos do (GEpra) pela disponibilidade e concessão do modelo. Ao Gustavo e Diego por todas as vezes que solucionaram os problemas com competência, paciência e prestatividade. E em especial ao Marceleza por toda ajuda e amizade desde a faculdade.

Aos colegas Bruno, Kleber e Jessé do Laboratório MASTER do IAG/USP, pela competência e empenho em disponibilizar os arquivos essenciais para a realização desse estudo.

A todos os colegas e funcionários do Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Principalmente minhas colegas do antigo laboratório de meteorologia, Claudinéia, Débora e Juliana, por tornar a convivência e o dia a dia sempre mais fáceis e divertidos.

A Ricardo Mello, Cleusa Bianchi do departamento de agronomia por sempre disponibilizarem dados com eficiência e rapidez.

A Sheila Paz por toda a amizade e por sempre me mostrar o lado sério das coisas e me tornar um aluno e pesquisador mais dedicado.

A Marlos Henrique e Jean Marcel, pela ajuda durante esse período tornando-nos muitos mais que colegas, grandes amigos.

A meu irmãozão Tiago que sempre foi meu grande amigo e suporte em Porto Alegre, nesses mais de dois anos.

A Maria Isabel pela paciência e ajuda na reta final.

A Marcelo, Guilherme, Claudio e Di por serem pessoas a quem eu estimo muito e a quem não pude dar a devida atenção nesse período

A meus grandes amigos Cristian, Michele, Maycon, Diego por toda a força e incentivo durante todo o mestrado.

A Sergio Braga, por sempre me dar força e cuidar bem da minha mãe.

A Stelle pela amizade e revisões e correções desse texto.

A Carol pelas revisões e sugestões ao texto.

Também agradeço nominalmente as pessoas que me ajudaram de alguma forma para tornar esse momento possível e que de certa forma sentiram a minha ausência nesse período: Daniel, Janice, Márcia, Luciana, Thais, Cleiton, Jota, Cíntia, Carlos, Raquel, Marta, Edson, Angélica e Minelvina.

E por último, porém não menos importante, Deus.

AValiação da Estimativa da Evapotranspiração Obtida através do Modelo BRAMS visando o uso em modelo de estimativa de rendimento da soja no Rio Grande do Sul.¹

Autor: Luiz Alberto da Costa Marchiori

Orientadora: Dr^a. Denise Cybis Fontana

Co-orientadora: Dr^a Rita de Cássia Marques Alves

SINOPSE

O objetivo deste trabalho foi atender a demanda colocada por instituições oficiais pela geração de informações objetivas sobre o rendimento da cultura da soja a partir da utilização conjunta de modelos agrometeorológicos, de imagens de satélite e de modelagem numérica do tempo. Os objetivos específicos foram: a) Analisar a qualidade da estimativa de dados meteorológicos através do modelo BRAMS; b) Avaliar a qualidade da estimativa da evapotranspiração gerada pelo modelo BRAMS em relação a dados de superfície; c) Utilizar a evapotranspiração gerada pelo modelo BRAMS como variável de entrada para a estimativa do rendimento da soja usando o modelo agrometeorológico-espectral; d) Comparar a qualidade das estimativas de rendimento da soja utilizando o modelo agrometeorológico-espectral a partir de dados de superfície e simulações do BRAMS. O estudo foi realizado no ano agrícola de 2005/2006, na área que compreende a região onde cerca de 90% da cultura de soja é produzida no Rio Grande do Sul. Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração foram obtidos através de duas fontes: estações meteorológicas de superfície e simulação numérica através do modelo BRAMS. Foi usada a equação de Penman para o cálculo da evapotranspiração e através do balanço hídrico meteorológico, determinado pelo método de Thornthwaite-Mather, foi obtida a evapotranspiração relativa (E_{Tr}/E_{To}). Imagens de NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) e de E_{Tr}/E_{To} foram as variáveis de entrada do modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento da soja. Os resultados mostraram que grande parte dos elementos meteorológicos simulados apresenta bons resultados quando comparados com dados medidos. A simulação da variável evapotranspiração relativa feita pelo BRAMS é precisa e acurada, visto que possui valores de correlação significativos em todas as comparações com dados de estações de superfície. A equação de Penman pode ser acoplada ao modelo na forma de sub-rotina, disponibilizando a evapotranspiração de referência como variável de saída do BRAMS. Também o balanço hídrico, ao ser automatizado, usando os dados de evapotranspiração de referência e de precipitação pluviométrica simulados pelo BRAMS, possibilitou o cálculo de milhares de pontos simultaneamente. A comparação com dados parciais de rendimento fornecidos pela CONAB mostra que o modelo agrega qualidade nos resultados e, sendo de fácil manuseio, torna viável a operacionalização do processo. Porém, uma vez instalado, o gasto passa a ser apenas operacional e de manutenção de equipamento, visto que os arquivos de entrada são gratuitos, e o pós-processamento das informações é fácil e prático.

1. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS (72p.) Agosto de 2006.

**EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE EVALUATION OBTAINED
THROUGH BRAMS MODEL AIMING THE USE IN SOYBEAN YIELD
ESTIMATION MODEL IN RIO GRANDE DO SUL.**

Autor: Luiz Alberto da Costa Marchiori

Orientadora: Dr^a. Denise Cybis Fontana

Co-orientadora: Dr^a Rita de Cássia Marques Alves

ABSTRACT

The objective of this work was to satisfy the demand put by official institutions for generating objective information on the soybean yield starting from the joint use of agrometeorological models, satellite images and numeric modelling of weather. Specific objectives were as follows: a) to analyze the quality of meteorological data estimate through BRAMS model; b) to evaluate evapotranspiration quality generated by BRAMS model concerning surface data; c) to use evapotranspiration generated by BRAMS model as entrance variable for the estimate soybean yield using the agrometeorological-spectral model; d) to compare soybean yield estimates quality using the agrometeorological-spectral model starting from surface data and BRAMS simulations. This research was accomplished in the agricultural year of 2005/2006, in the geographical region where about 90% of its soy culture is produced in Rio Grande do Sul. Required meteorological data for calculating evapotranspiration were attained from two sources: surface meteorological stations and numerical simulation through BRAMS model. Penman equation was used for calculating evapotranspiration and through meteorological water balance - determined by the Thornthwaite-Mather method - relative evapotranspiration (E_{Tr}/E_{To}) was obtained. NVDI (Normalized Difference Vegetation Index) and E_{Tr}/E_{To} images were the entrance variable of the agrometeorological-spectral model for soybean yield estimate. Results reveal that most of the simulated meteorological elements show good results when compared to the measured data. The simulation of relative evapotranspiration provided by BRAMS is precise and accurate due to its significant correlation values in all the comparisons with surface stations data. Penman equation can be connected to the model as subroutine, making available the reference evapotranspiration BRAMS exit variable. Also the hidric balance, when being automated, using the data of reference evapotranspiration and pluvial precipitation simulated by BRAMS, it made possible the calculation of thousands of points simultaneously. The comparisons with partial data of soybean yield shows that the model presents quality in the results and, being of easy handling, it turns viable the process day by day. However, once installed, the expenses are just operational and equipment maintenance, because the entrance files are free, and the information post-processing is easy and practical.

1. Master of Science dissertation in Remote Sensing, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Graduate Course in Remote Sensing, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS (71p.) Agosto de 2006.

SUMÁRIO

SINOPSE	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
CAPITULO I	1
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 A cultura de soja	3
2.2 Evapotranspiração	7
2.2.1 Métodos de medição da evapotranspiração	8
2.2.2 Métodos de estimativa da evapotranspiração	9
2.3 Representação espacial da evapotranspiração	10
2.3.1 Interpolação espacial	10
2.3.2 Modelos de simulação meteorológica	11
2.3.2.1 Equações gerais	12
2.3.2.2 Estrutura da grade e sistema de coordenadas	13
2.3.2.3 Condições de fronteira	14
2.3.2.4 Parametrizações utilizadas pelo modelo	14
2.3.3 Inicialização do modelo	17
2.3.4 Aplicações do modelo	19
2.4 Modelagem de rendimento	21
2.5 NDVI	22
CAPITULO III – MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Descrição da área de estudo	24
3.1.1. Localização	24
3.1.2 Clima da Região Norte-Nordeste do Rio Grande do Sul	25
3.1.3 Período de estudo	25
3.2 Determinação da evapotranspiração	25
3.2.1 Dados de estações de superfície	26
3.2.1.1 Temperatura do ar	26
3.2.1.2 Umidade Relativa do ar	26
3.2.1.3 Velocidade do vento	26
3.2.1.4 Radiação solar global	26
3.2.1.5 Precipitação pluvial	27
3.2.1.6 Evapotranspiração relativa	27
3.2.2 Simulação numérica através do modelo RAMS	28
3.2.3 Análise das estimativas de evapotranspiração	29
3.3 Modelagem de rendimento	29
CAPITULO IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Dados meteorológicos	33
4.2 Evapotranspiração de referência	43
4.2.1 Comparação entre a ETo obtida das estações meteorológicas de superfície e pelo BRAMS	43
4.3 Modelagem de rendimento	45
4.3.1 Parâmetro Etr/Eto	45
4.3.2 Imagens NDVI	50
4.4 Estimativa o rendimento de soja	51
CAPITULO V CONCLUSÕES	55
CAPITULO VI CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	56

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	viii
ANEXO 1- RAMSIN	57
ANEXO 2 – Balanço Hídrico	60
	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribuição da Produção de Soja no Mundo, Ano-Safra 2004/05.
- Figura 2. Série histórica de rendimento da soja no Rio Grande do Sul.
- Figura 3. Percentual de área cultivada com soja nos Estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso em relação à área nacional.
- Figura 4. Zoneamento Agroclimático para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul.
- Figura 5. Calendário Médio da Soja no Rio Grande do Sul.
- Figura 6. Esquema de funcionamento da grade no modelo BRAMS.
- Figura 7. Esquema de funcionamento do BRAMS.
- Figura 8. Região de estudo: área significativa de produção de soja no Estado do Rio Grande do Sul.
- Figura 9. Municípios da região significativa de soja no Rio Grande do Sul agrupados considerando o rendimento médio.
- Figura 10. Série temporal de dados de temperatura medidas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.
- Figura 11. Série temporal de dados de umidade relativa medidas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.
- Figura 12. Série temporal de dados de velocidade média do vento medidas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.
- Figura 13. Série temporal de dados de radiação estimadas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa, e São Luiz Gonzaga.
- Figura 14. Série temporal de dados de precipitação pluvial medidas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.
- Figura 15. Gráfico de dispersão entre os dados estimados e simulados para cada variável.
- Figura 16. Série temporal de dados de evapotranspiração estimadas e simuladas para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.
- Figura 17. Imagem de E_{Tr}/E_{To} para o mês de dezembro utilizando os dados de estações meteorológicas.
- Figura 18. Imagem de E_{Tr}/E_{To} para o mês de dezembro utilizando os dados das simulações meteorológicas.
- Figura 19. Imagem de E_{Tr}/E_{To} para o mês de janeiro utilizando os dados de estações meteorológicas.

Figura 20. Imagem de ETr/ETo para o mês de janeiro utilizando os dados das simulações meteorológicas.

Figura 21. Imagem de ETr/ETo para o mês de fevereiro utilizando os dados de estações meteorológicas.

Figura 22. Imagem de ETr/ETo para o mês de fevereiro utilizando os dados das simulações meteorológicas.

Figura 23. Imagem de ETr/ETo para o mês de março utilizando os dados de estações meteorológicas.

Figura 24. Imagem de ETr/ETo para o mês de março utilizando os dados das simulações meteorológicas.

Figura 25. Imagem de NDVI médio para os meses de janeiro e fevereiro.

Figura 26. Mapa de rendimento em kg/ha para a região de estudo utilizando dados de estações meteorológicas.

Figura 27. Mapa de rendimento em kg/ha para a região de estudo utilizando simulações do BRAMS.

Figura 28. Imagem diferença dos rendimentos calculados pelos 2 métodos.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Tipos de solo disponíveis no modelo
- Tabela 2. Tipos de vegetação disponíveis no modelo
- Tabela 3. Localização geográfica e instituição correspondente das estações meteorológicas usadas como fonte de dados.
- Tabela 4. Coeficientes para estimação do rendimento médio da cultura da soja através do modelo agrometeorológico-espectral
- Tabela 5. Expoentes para estimação do termo agrometeorológico do modelo de estimativa do rendimento da cultura da soja
- Tabela 6. Correlação entre os dados decendiais medidos e simulados pelo BRAMS para cada uma das variáveis
- Tabela 7. Correlação entre os dados medidos e simulados para a variável evapotranspiração de referência.
- Tabela 8. Rendimento máximo, mínimo, médio e desvio padrão calculado com a informação simulada pelo BRAMS
- Tabela 9. Rendimento máximo, mínimo, médio e desvio padrão calculado com a informação das estações meteorológicas

LISTA DE ABREVIATURAS

- ATMET – Atmospheric Meteorological and Environmental Technologies
- AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer
- BRAMS - *Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*
- CAD - Capacidade de Armazenamento de Água
- Cfa - Clima quente, úmido e sem estiagem. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e, a do mês mais quente, superior a 22°C
- Cfb - Clima temperado, úmido e sem estiagem. Difere do Cfa, apenas no que se refere à temperatura do mês mais quente, a qual limita-se em 22°C.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
- CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
- ETP – Evapotranspiração Potencial
- ETr – Evapotranspiração Real
- ETo – Evapotranspiração de Referência
- FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
- FURG – Fundação Universidade do Rio Grande
- GRADS - Grid Analysis and Display System
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
- IME - Instituto de Matemática e Estatística
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IVP – Infra Vermelho Próximo
- NCL - Nível de Condensação por Levantamento
- NDVI - Normalized Difference Vegetation Index
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration
- RAMS - *Regional Atmospheric Modeling System*
- TMG – Tempo Médio de Greenwich
- USDA - United States Department of Agriculture
- USP – Universidade de São Paulo
- VIS - Visível

CAPITULO I – INTRODUÇÃO

A posição de destaque da cultura da soja na economia brasileira e gaúcha, sendo atualmente a cultura com maior área de plantio, justifica o teste e desenvolvimento de metodologias que possam ser incorporadas a um sistema operacional de monitoramento agrometeorológico e de modelagem de rendimento, servindo de subsídio para a obtenção de estimativas acuradas do volume da produção agrícola em diferentes regiões.

A produção de grãos, especialmente de soja, na porção norte e oeste do Rio Grande do Sul representa cerca de 90% da produção do Estado, impactando sensivelmente no progresso e crescimento locais. Nesta região, principalmente as deficiências hídricas apresentam limitações à obtenção dos rendimentos potenciais da cultura da soja, trazendo prejuízos econômicos de grande monta. Diante disso, a preocupação com a qualidade das estimativas de safras é estratégica, tanto sob o ponto de vista sócio-político, como econômico.

Na maior parte dos anos, a frequência e a intensidade das chuvas no Rio Grande do Sul no período de desenvolvimento da soja (novembro a março) são insuficientes para que a cultura manifeste seu potencial produtivo. Esta é a principal causa da variabilidade interanual dos rendimentos de soja no Estado. Dados da CONAB a respeito da safra de 2004/2005 indicam a maior frustração histórica da soja no Rio Grande do Sul, com rendimentos médios caindo cerca de 64% em relação à média histórica, o que também afetou o faturamento com uma queda de aproximadamente 54% em relação à média.

Neste contexto, um sistema de monitoramento agrometeorológico apropriado à cultura da soja no Rio Grande do Sul deve, obrigatoriamente, ser composto por métodos eficientes e precisos de monitoramento das condições hídricas regionais. Diversos estudos têm demonstrado que a evapotranspiração é uma variável capaz de caracterizar a adequação das condições hídricas reinantes durante o ciclo de desenvolvimento das culturas e tem tido grande relevância na literatura da área.

A evapotranspiração tem sido, assim, utilizada na modelagem do rendimento de culturas de primavera-verão no Estado. Uma das principais limitações, entretanto, para o mapeamento do rendimento é a acurácia da interpolação espacial da evapotranspiração calculada usando dados de estações meteorológicas, em consequência da esparsa rede de estações meteorológicas atualmente em operação.

Uma das possibilidades que podem ser testadas para a estimativa da evapotranspiração regional é o uso de modelos de simulação meteorológica.

Este estudo se baseia na hipótese de que é grande o potencial teórico dos modelos de simulação meteorológica de fornecer estimativas acuradas e com um grau de detalhamento espacial mais adequado comparado à utilização de dados interpolados a partir de estações meteorológicas, o que pode melhorar a acurácia das estimativas de rendimento de culturas a partir de modelagem agrometeorológica.

O objetivo foi, portanto, atender a demanda colocada por instituições oficiais pela geração de informações objetivas sobre o rendimento da cultura da soja a partir da utilização conjunta de modelos agrometeorológicos, de imagens de satélite e de modelagem numérica do tempo.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar a qualidade da estimativa de dados meteorológicos através do modelo BRAMS;
- Avaliar a qualidade da estimativa da evapotranspiração gerada pelo modelo BRAMS em relação a dados de superfície;
- Utilizar a evapotranspiração gerada pelo modelo BRAMS como variável de entrada para a estimativa do rendimento da soja usando o modelo agrometeorológico-espectral.
- Comparar a qualidade das estimativas de rendimento da soja utilizando o modelo agrometeorológico-espectral a partir de dados de superfície e simulados pelo BRAMS.

CAPITULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura de soja

Os grãos de soja apresentam alto valor protéico, podendo contribuir grandemente para a redução da fome e aumento dos níveis de saúde da população terrestre. O cultivo da soja, portanto, é estratégico e apresenta grande importância econômica e social, evidenciando a demanda pelo desenvolvimento de pesquisas que possibilitem incrementos de produção e/ou da organização das safras.

A origem do alimento, usado para animais e para humanos, é o sudoeste da Ásia, onde ainda é cultivado em larga escala. Aliás, a China é o quarto maior produtor do mundo de soja, sendo superada apenas pela Argentina, terceiro lugar, Brasil, segundo lugar, e Estados Unidos, o maior produtor de soja do mundo (Figura 1). A utilização da soja como alimento é feita em molhos, como o tradicional Shoyu asiático, consumido na cozinha árabe e chinesa, também em grãos, ou ainda no seu óleo muito utilizado no Brasil.

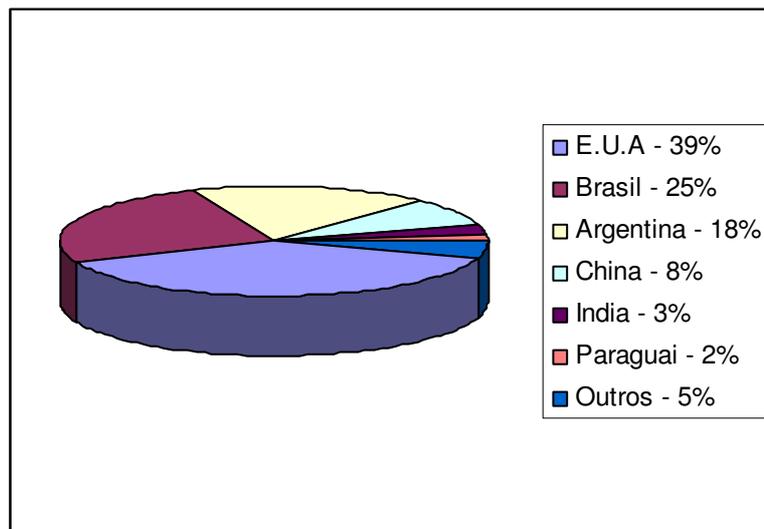


Figura 1 - Distribuição da Produção de Soja no Mundo, Ano-Safra 2004/05

(Fonte: USDA, 2004).

No Brasil, historicamente, a soja foi um dos primeiros produtos a serem exportados em larga escala já com o valor agregado da industrialização. Hoje, no entanto, ocupa uma posição de protagonista na balança comercial brasileira, com uma média anual de R\$ 14,45 bilhões, e uma movimentação financeira na safra 2004/2005 superior a 22 bilhões de reais.

Na Figura 2 é possível avaliar a grande variabilidade interanual dos rendimentos da soja no Rio Grande do Sul, a qual, segundo Berlatto e Fontana (2003), está diretamente ligada ao regime da precipitação pluvial, já que a soja praticamente em sua totalidade é conduzida sem irrigação (sequeiro).

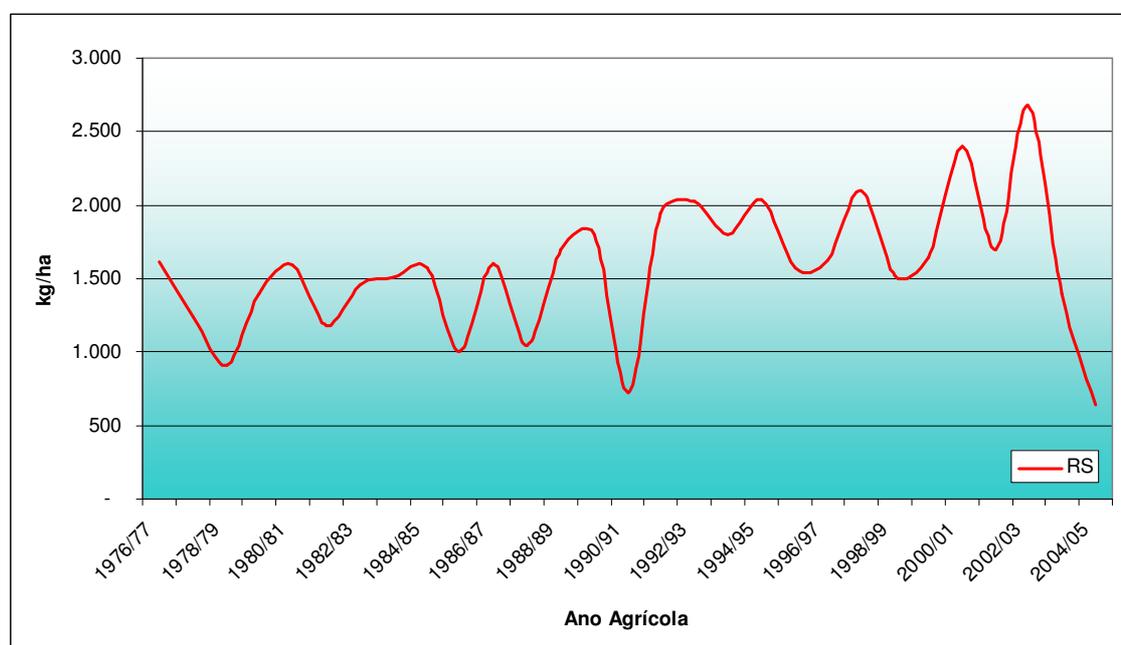


Figura 2. Série histórica de rendimento da soja no Rio Grande do Sul
(Fonte: CONAB, 2006).

Um bom exemplo da influência do clima na safra de soja é o constante incremento da contribuição do Estado do Mato Grosso na safra nacional. No início da década de 90, o Mato Grosso era responsável por um pouco mais do que 10% da área cultivada com soja no Brasil, enquanto que o Rio Grande do Sul contribuía com mais do que 30% da mesma. Em função da migração de agricultores, em consequência de um regime de precipitações pluviais mais regulares, a situação tendeu a uma inversão. Atualmente, o Mato Grosso apresenta a maior área cultivada com soja no Brasil, compreendendo cerca de 27% da área nacional.

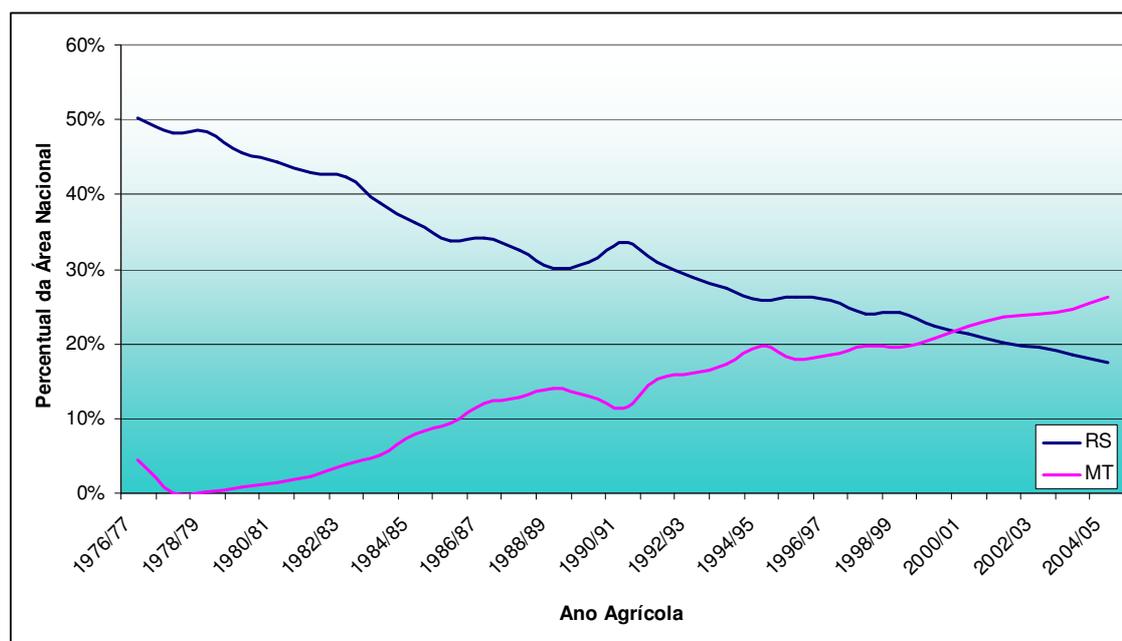


Figura 3. Percentual de área cultivada com soja nos Estados do Rio Grande do Sul e Mato Grosso em relação à área nacional (Fonte: CONAB, 2006).

Considerando os dados médios das últimas 15 safras de soja no Rio Grande do Sul, a importância do estudo é ainda mais evidenciada. O Estado possui em média 3,334 milhões de hectares em lavouras de soja, o que significa que 11,83% de seu território é cultivado com essa cultura, representando 48,64 % da quantidade total de grãos produzidos no Estado. Dados preliminares a respeito da safra de 2004/2005 (CONAB, 2006), indicam que os números da soja são ainda maiores: são 4,09 milhões de hectares, o que representa um aumento na sua abrangência para 14,51 % da área do Rio Grande do Sul e atingindo a marca de 50% do total de grãos. No entanto, outros dados são desalentadores para os produtores de soja: o rendimento médio caiu na comparação com a média anual. O declínio foi de 1.720kg/ha para 629kg/ha e isso também afetou o faturamento, que caiu de 2,45 bilhões para 1,15 bilhões de reais (CONAB, 2005). Cabe observar que a queda de rentabilidade da cultura foi menor do que a queda do volume financeiro. A diferença de 10% representa exatamente um aumento de preço provocado pela quebra de safra.

Uma correta compreensão da relação clima-planta, pode minimizar as influências negativas do clima sobre o rendimento das culturas. A minimização dos riscos pode ser obtida através de um adequado planejamento (definição de épocas e locais adequados, escalonamento de épocas de semeadura, práticas conservacionistas,...) e monitoramento das condições meteorológicas durante o ciclo.

De acordo com Costa (1996), os critérios para o zoneamento agroclimático da soja para o Rio Grande do Sul são: temperatura, disponibilidade hídrica e fotoperíodo. A Figura 4 mostra o zoneamento agroclimático para a cultura da soja no Rio Grande do Sul. Atualmente, o zoneamento agroclimático fornece a época de semeadura preferencial e tolerada para cada município, ciclo de cultivar e tipo de solo, de acordo com a metodologia descrita em Cunha *et al.* (1992), disponível em <http://www.agritempo.gov.br/>.

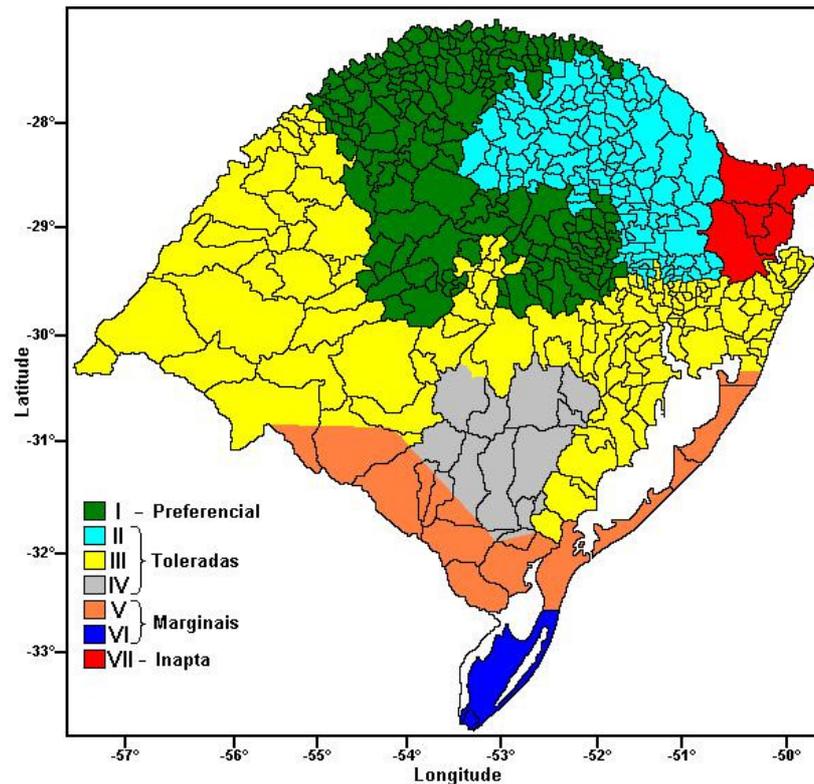


Figura 4. Zoneamento Agroclimático para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul
(Fonte: Rio Grande do Sul, 1994).

No Rio Grande do Sul, a época recomendada para a semeadura da soja se estende de outubro a dezembro, sendo o período preferencial no mês de novembro. A Figura 5 mostra o calendário agrícola médio da cultura da soja no Rio Grande do Sul, evidenciando que os períodos críticos (floração e enchimento de grãos) ocorrem nos meses de janeiro a março. A colheita inicia em meados de março, findando no mês de maio.

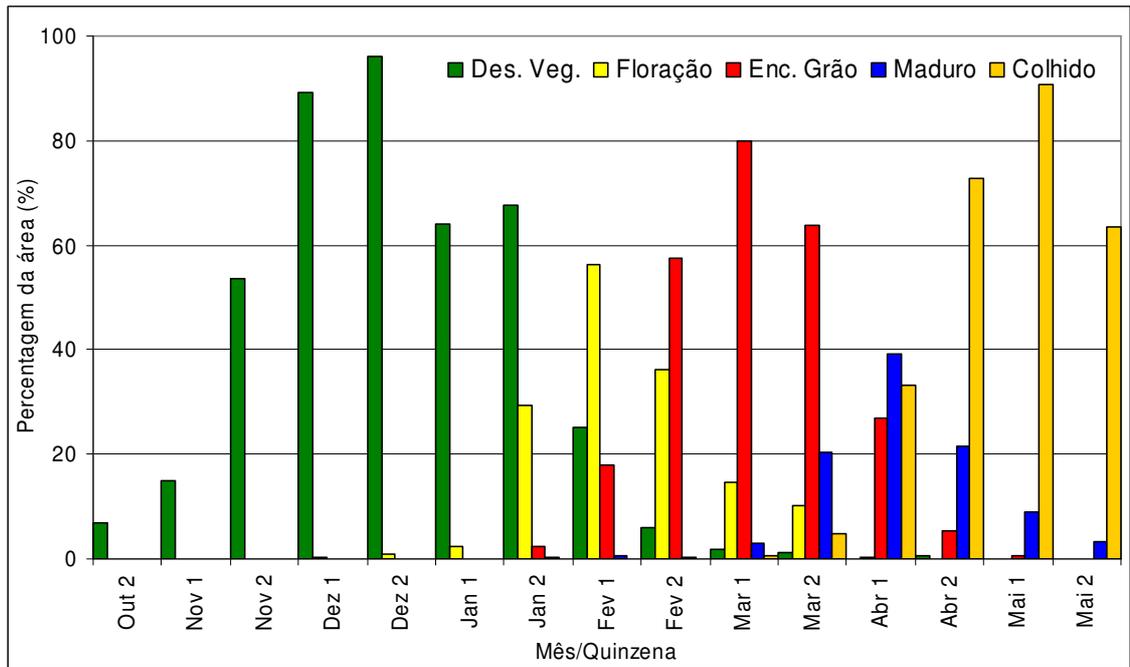


Figura 5. Calendário Médio da Soja no Rio Grande do Sul (Fonte de dados: EMATER, 2006).

2.2 Evapotranspiração

A evaporação é o processo físico pelo qual um líquido (água proveniente de oceanos, lagos, rios, do solo e da vegetação úmida) passa para o estado gasoso à temperatura ambiente. Já a transpiração é a perda da água na forma de vapor pelas plantas, predominantemente através das folhas (estômatos).

Embora os fenômenos físicos da evaporação e da transpiração sejam discutidos separadamente, os dois acontecem de forma simultânea, e torna-se muito complexo separá-los. Levando-se em conta todos os fatores que afetam a evaporação e a transpiração, é possível então afirmar que a evapotranspiração é fortemente influenciada pelas condições meteorológicas da baixa atmosfera, da presença e características da camada de vegetação e das condições de umidade do solo. A seguir têm-se alguns conceitos usados para quantificar a evapotranspiração sob diferentes circunstâncias.

Evapotranspiração Potencial (ETP)

Penman (1948) define a evapotranspiração potencial como a quantidade de água que, na unidade de tempo, evapotranspira em uma cultura verde, baixa, de altura uniforme, que sombreia por completo o solo e que em nenhum momento lhe falta água.

Evapotranspiração de Referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência é a evapotranspiração de uma cultura bem adaptada, selecionada para propósitos comparativos, sob dadas condições meteorológicas e com adequada bordadura, com condições hídricas apropriadas para a referida cultura e região.

Evapotranspiração Real (ET_r)

A evapotranspiração real é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração nas condições (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo.

2.2.1 Métodos de medição da evapotranspiração

Os principais métodos de medição da evapotranspiração, segundo Varejão-Silva (2000), estão agrupados em métodos de medição direta e indireta, os quais são descritos a seguir.

- **Medidas diretas:** Para a medida direta da evapotranspiração são utilizados tanques enterrados, chamados de evapotranspirômetros ou lisímetros, que contêm uma amostra representativa do solo e da comunidade vegetal que se deseja estudar. O lisímetro deve retratar o mais fielmente possível, as condições reais do campo. Existem basicamente dois tipos de lisímetros, os de pesagem e os de não pesagem. Segundo Silva *et al.* (1999), os lisímetros podem ser classificados em categorias como: (1) não pesáveis com lençol freático de nível constante; (2) não pesáveis com drenagem livre; e (3) pesáveis onde a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem. Além disso, são classificados quanto ao tipo de perfil (reconstituído ou monolítico) e ao sistema de drenagem (a vácuo e por gravidade).

- Medidas indiretas: dentre as medidas indiretas destacam-se o método do balanço de energia e método aerodinâmico. O método do balanço de energia se fundamenta no princípio da conservação de energia aplicado aos diferentes fluxos energéticos que acontecem na superfície fonte. Já o método aerodinâmico é baseado na hipótese de que a transferência turbulenta de massa, de calor e de quantidade de movimento é equivalente à difusão molecular.

2.2.2 Métodos de estimativa da evapotranspiração

Dada às dificuldades operacionais das medidas diretas da evapotranspiração, tornou-se necessário o desenvolvimento de métodos que pudessem estimar a transferência de vapor d'água para a atmosfera. Entre os muitos métodos propostos, destaca-se o método de Penman (1948), em função da praticidade e por fornecer resultados bastante adequados de estimativa da evapotranspiração. O método foi desenvolvido a partir de elementos meteorológicos medidos em somente um nível, a superfície.

A equação proposta por H. L. Penman (1948) se baseia na combinação de processos aerodinâmicos e do balanço de energia, sendo expressa por:

$$ET_o = \frac{\left[\left(\frac{s}{\gamma} \right) Rn + Ea \right]}{1 + \left(\frac{s}{\gamma} \right)} \quad (1)$$

onde s é a tangente à curva de que relaciona pressão de saturação do vapor d'água e temperatura do ar ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); γ é o coeficiente psicrométrico ($0,0665 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn é o saldo de radiação expresso em termos de evaporação equivalente ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); Ea é o termo aerodinâmico.

O termo s pode ser calculado por:

$$s = \frac{2503}{(T + 237,3)^2} \exp \left[\frac{17,27T}{T + 237,3} \right] \quad (2)$$

O termo aerodinâmico é expresso por:

$$Ea = 0,35.(es - e).(1 + 0,01.u_2) \quad (3)$$

onde $(es - e)$ é o déficit de saturação do ar (mmHg) e u_2 é velocidade do vento medida a 2m de altura (milhas.dia⁻¹).

Para o cálculo do déficit de saturação, a pressão de saturação do vapor (es) e a pressão real do vapor (e) podem ser determinadas pelas equações 4 e 5, respectivamente:

$$es = 4,5825 \times 10^{7,5T/237,5+T} \quad (4)$$

$$e = es(Tu) - Ap(T - Tu) \quad (5)$$

onde: es e e são expressos em mmHg, T e Tu são as temperaturas do ar (°C) medidas nos termômetros de bulbo seco e úmido, respectivamente, A é a constante psicrométrica (0,00067°C⁻¹ e 0,00080°C⁻¹ para psicrômetro com e sem ventilação, respectivamente) e p é a pressão atmosférica (mmHg)..

O método de Penman tem sido extensamente utilizado para a caracterização das condições hídricas de culturas no Estado do Rio Grande do Sul, especialmente para as culturas de primavera-verão (Berlato, 1987, Matzenauer *et al.*, 2002).

2.3 Representação espacial da evapotranspiração

2.3.1. Interpolação espacial

Em geral, a evapotranspiração é determinada localmente a partir de dados meteorológicos de superfície e, posteriormente é utilizado algum método de interpolação espacial para gerar mapas regionais deste elemento. Neste primeiro enfoque, o número limitado de estações meteorológicas representa uma importante fonte de erro nas estimativas. Com o avanço tecnológico, outras possibilidades para a obtenção da evapotranspiração de superfícies vegetadas em uma escala regional vêm surgindo, mostrando bons resultados. Uma dessas possibilidades é abordada nos itens seguintes.

2.3.2 Modelos de simulação meteorológica

Um segundo enfoque para a obtenção da evapotranspiração de superfícies vegetadas em uma escala regional é o uso de modelos de simulação meteorológica.

O *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) é um modelo de mesoescala de área limitada, elaborado para simulação e previsão de fenômenos meteorológicos desenvolvido na Universidade do Colorado em 1986, fruto dos esforços dos professores Dr. William Cotton e Dr. Roger Pielke. Essa iniciativa teve por finalidade a unificação de vários códigos de simulação numérica do tempo a fim de facilitar a pesquisa científica. Entre as qualidades do modelo, está a capacidade de aninhamento de grades, na qual a representação da grade em larga escala, através de aninhamento progressivos, pode representar escalas menores. Além disso, o modelo permite a assimilação de novas rotinas e a alteração de alguns esquemas de parametrizações contidos no código do modelo de maneira a melhor se adequarem às condições específicas de determinado local, ou a condições idealizadas para simulações de situações, o que se constitui numa excelente ferramenta para pesquisas meteorológicas (Tremback, 1990; Walko e Tremback, 2002).

O BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*), que é o modelo utilizado nessa pesquisa, é uma evolução do RAMS, resultado de um projeto em conjunto do ATMET, IME/USP, IAG/USP e CPTEC/INPE, financiados pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), com o intuito de produzir um modelo adaptado ao clima tropical e subtropical predominantes no Brasil. O BRAMS/RAMS é composto de três principais componentes: o modelo propriamente dito, um pacote que permite fazer a assimilação de dados para a inicialização e um outro pacote que permite interface com software de visualização.

A versatilidade e a própria capacidade do modelo fornecem as variáveis de saída necessárias ao cálculo da evapotranspiração por qualquer método de estimativa, como, por exemplo, o método de Penman.

A seguir serão apresentadas diversas características teóricas e de forma de operação do BRAMS, cujas descrições foram baseadas no manual do modelo (Walko et. al. 2002).

2.3.2.1. Equações gerais

O modelo utiliza algumas equações básicas, tais como: equação do movimento, equação da termodinâmica, equação da continuidade para a razão de mistura e a equação da continuidade de massa.

Equações do movimento

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (6)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial y} + fu + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial z} + \theta \frac{\partial \pi'}{\partial z} - \frac{g\theta_v}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_m \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (8)$$

onde \mathbf{u} = componente leste-oeste do vento; \mathbf{v} = componente norte-sul do vento; \mathbf{w} = componente vertical do vento; \mathbf{t} = tempo; \mathbf{x} , \mathbf{y} e \mathbf{z} = dimensões; \mathbf{f} = parâmetro de Coriolis; \mathbf{g} = aceleração da gravidade; \mathbf{k}_m = coeficiente de viscosidade turbulenta da quantidade de movimento; θ = temperatura potencial virtual; π' = função de Exner da perturbação.

Equação da termodinâmica

$$\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} = -u \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} - v \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} - w \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{rad} \quad (9)$$

onde θ_{il} = temperatura potencial da água líquida e do gelo; \mathbf{K}_h = coeficiente de difusividade turbulenta para o calor e a umidade; \mathbf{rad} = subscrito denotando a tendência devido à parametrização de radiação;

Equação da continuidade para a substância água

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} = -u \frac{\partial r_n}{\partial x} - v \frac{\partial r_n}{\partial y} - w \frac{\partial r_n}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_h \frac{\partial r_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_h \frac{\partial r_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_h \frac{\partial r_n}{\partial z} \right) \quad (10)$$

onde r_n = razão de mistura da quantidade total de água, chuva, cristais de gelo e neve;

Equação da continuidade de massa

$$\frac{\partial \pi'}{\partial t} = -\frac{R_d \pi_0}{c_v \rho_0 \theta_0} \left(\frac{\partial \rho_0 \theta_0 u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 w}{\partial z} \right) \quad (11)$$

onde π' = função de Exner total; R_d = constante do gás para o ar seco; c_v = calor específico da água líquida; ρ_0 = densidade.

2.3.2.2. Estrutura da grade e sistema de coordenadas

O BRAMS é equipado com um esquema de aninhamento múltiplo de grades, permitindo que as equações do modelo sejam resolvidas simultaneamente sob qualquer número de grades computacionais com diferentes resoluções espaciais. Grades de maior resolução são utilizadas para modelar detalhes dos sistemas atmosféricos de menor escala, tais como escoamento sobre terrenos complexos e circulações termicamente induzidas pela superfície.

A projeção utilizada para a definição das coordenadas da grade é a projeção estereográfica. Coordenadas cartesianas também são utilizadas pelo BRAMS.

O BRAMS usa grade do tipo "C" de Arakawa (Mesinger e Arakawa, 1976), em que as variáveis termodinâmicas, inclusive umidade, são definidas em pontos de grade e as componentes u , v e w são definidas em $\frac{1}{2} \Delta x$, $\frac{1}{2} \Delta y$ e $\frac{1}{2} \Delta z$, respectivamente (Figura 6).

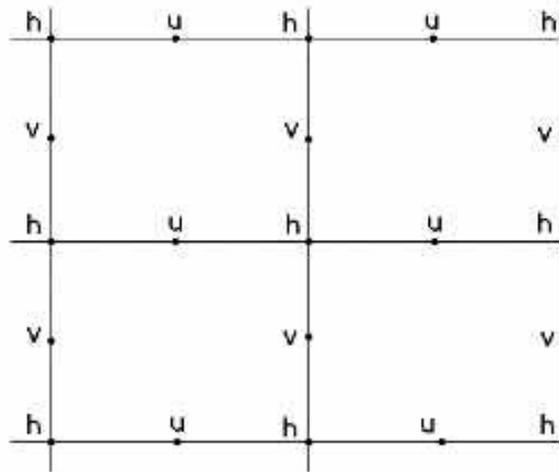


Figura 6. Esquema de funcionamento da grade no modelo BRAMS.

2.3.2.3. Condições de fronteira

Um dos fatores importantes ao definir uma condição de fronteira lateral é permitir que ondas de gravidade tenham passagem livre pela fronteira, assim como os fenômenos advectivos, ao mesmo tempo em que não deve ser permitida a reflexão de ondas para dentro do domínio.

Para a fronteira inferior, o fluxo na camada mais próxima da superfície fornece a principal troca de informação entre a atmosfera e a superfície. Para o topo da camada há diversas opções, dependendo da preferência e do tipo de simulação.

2.3.2.4. Parametrizações utilizadas pelo modelo

A composição das equações da dinâmica da atmosfera é complementada com a adição de parametrizações que permitem o ajuste do modelo às diferentes situações requeridas pelas simulações. Com isso, ajustes podem ser realizados na configuração da camada superficial, radiação solar e terrestre, processos úmidos, incluindo a formação e a interação de nuvens e água líquida precipitante e gelo, calor sensível e latente, camadas de solo, vegetação e superfície d'água, os efeitos cinemáticos do terreno e convecção cumulus.

Uma breve discussão de parametrizações contidas no modelo é feita a seguir.

Alguns esquemas de parametrizações contidos no código do modelo podem ser alterados de maneira a melhor se adequarem às condições específicas de determinado local, ou a condições idealizadas para simulações de situações, o que se constitui numa excelente ferramenta para pesquisas meteorológicas.

a) Parametrização de Solo

A parametrização do solo ajusta a temperatura e umidade da superfície. Para superfície de água assume-se que a temperatura da superfície e a umidade de saturação à temperatura da água e pressão à superfície são constantes no tempo, mas podem variar no espaço. Para o solo nu admitem-se múltiplas camadas, o qual envolve equações prognósticas para a temperatura e a umidade do solo.

A difusividade de umidade, a condutividade hídrica e o potencial de umidade são dados por:

$$D_{\eta} = \frac{-bK_f\psi_f}{\eta} \left[\frac{\eta}{\eta_f} \right]^{b+3} \quad (12)$$

$$K_{\eta} = K_f \left[\frac{\eta}{\eta_f} \right]^{2b+3} \quad (13)$$

$$\psi = \psi_f \left[\frac{\eta_f}{\eta} \right]^b \quad (14)$$

onde D_{η} é a difusividade de umidade; η = a umidade do solo expressa em termos de volume de água por volume de solo; K_{η} = a condutividade hídrica; ψ = o potencial de umidade. K_f, ψ_f e η_f são valores para a saturação do solo; b é uma constante, função da textura do solo.

Constantes específicas para cada tipo de solo fazem parte do banco de dados do modelo BRAMS. Os tipos de solo disponíveis são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de solo disponíveis no modelo.

01 Areia	02 Franco arenoso
03 Areia Franca	04 Franco siltoso
05 Franco	06 Franco argiloso arenoso
07 Franco arenoso siltoso	08 Argila franca
09 Argiloso arenoso	10 Argilo siltoso
11 Argila	12 Turfa

b) Parametrização de Vegetação

O cálculo da temperatura e da umidade do solo depende, também, da transmissividade da camada de vegetação e da temperatura do dossel. Parâmetros predefinidos e específicos para cada tipo de vegetação fazem parte do banco de dados do BRAMS. Uma equação prognóstica de temperatura foi desenvolvida para a camada de vegetação que, similar ao modelo de solo, é uma equação básica de troca de energia.

$$C_{veg} \Delta Z_{veg} \frac{\partial \theta_{veg}}{\partial t} = (1 - \tau_{veg}) \alpha_{veg} R_s \downarrow + R_l \downarrow + \sigma T_g^4 - 2\sigma T_{veg}^4 + 2\rho_a C_p u_* \theta_* + \rho_a C_p u_* r_* \quad (15)$$

onde C_{veg} = o calor específico volumétrico da vegetação; ΔZ_g = profundidade da camada de solo; τ_{veg} = transmissividade de onda curta através da camada de vegetação; α_{veg} = albedo da superfície vegetada; $R_s \downarrow$ = fluxo radiativo de onda curta na atmosfera; $R_l \downarrow$ = fluxo radiativo de onda longa na atmosfera; σ = constante de Stefan-Boltzman; T_g = temperatura do solo; T_{veg} = temperatura da vegetação; $\rho_a C_p u_* \theta_*$ = fluxo de calor sensível na atmosfera; $\rho_a C_p u_* r_*$ = fluxo de calor latente na atmosfera.

Na Tabela 2 são apresentados os tipos de vegetação utilizada pelo modelo.

Tabela 2. Tipos de vegetação disponíveis no modelo

01 Plantações	02 Grama curta
03 Árvore com folhas estreitas e persistentes	04 Árvore com folhas estreitas e temporárias
05 Árvore com folhas largas e temporárias	06 Árvore com folhas largas e persistentes
07 Grama alta	08 Deserto
09 Tundra	10 Plantações irrigadas
11 Semi deserto	12 Superfícies de gelo
13 Pântano, brejo	14 Água no interior do continente
15 Oceano	16 Arbusto persistente
17 Arbusto temporário	18 Bosque

c) Parametrização de Radiação

Pode-se escolher entre dois esquemas de parametrização da radiação, o primeiro de Chen & Cotton, onde não são levados em consideração os efeitos das interações com as nuvens, enquanto que no segundo esquema, de Mahrer & Pilke, não é considerada esta interação. Isto propicia o tratamento de diversos processos radiativos de ondas curtas, como espalhamento, absorção, transmissão e reflexão por nuvens.

d) Parametrização de Convecção

O esquema tipo Kuo baseia-se no equilíbrio da atmosfera, em que a convecção atua para eliminar a instabilidade condicional gerada por efeitos da grande escala e evaporação local. As equações da tendência termodinâmica e da tendência de umidade para a convecção úmida são dependentes da instabilidade atmosférica, da velocidade vertical no nível de condensação por levantamento (NCL) e da convergência de umidade na camada abaixo das nuvens.

e) Parametrização de Microfísica de Nuvens

Em grades com resolução espacial compreendida entre 2 e 20 km, a parametrização da microfísica pode ser ativada. Essa parametrização é essencialmente aplicada a qualquer forma em que a água possa estar presente tanto na forma líquida como na forma sólida (gelo) e gasosa (vapor). Nessa parametrização também estão inclusos os processos de precipitação. São consideradas as espécies de hidrometeoros, tais como a água da chuva, neve e granizo. O diâmetro médio dessas duas espécies é especificado a partir de valores definidos no código de entrada do modelo. Os termos que explicam os processos microfísicos presentes na atmosfera encontram-se na equação da termodinâmica.

2.3.3. Inicialização do modelo

O BRAMS/RAMS pode ser inicializado de duas formas distintas: a inicialização homogênea é a que usa como dados iniciais informações provenientes de uma sondagem vertical da atmosfera, enquanto a inicialização heterogênea usa uma grade de dados interpolados coletados previamente de estações de informação de superfície. A interpolação utilizada pelo modelo é a baseada na proposta de Barnes (1964), na qual o valor atribuído a um ponto é calculado através de uma média

ponderada da informação original, atribuindo-se maiores pesos para os valores dos pontos de grade mais próximos e menores pesos para pontos de grade mais distantes.

Os arquivos de inicialização chegam ao modelo no formato GRB (GAMRAMS, arquivos de reanálise do modelo global-CPTEC disponibilizados a cada 12 horas) contendo o estado da atmosfera em uma grade gaussiana que engloba toda a América do Sul. Esses arquivos contêm as condições iniciais e de fronteira do modelo.

Para realizar o pré-processamento é necessário que os arquivos DPs (dados preparados) sejam gerados a partir dos arquivos GRBs através do programa grib2dp.

O RAMSIN é o arquivo de controle do modelo, através do qual as diversas parametrizações e parâmetros como, por exemplo, a resolução espacial das grades, a resolução temporal das saídas, as latitudes e longitudes e outros, podem ser ajustados livremente assim como as formas de inicialização (RUNTYPE).

A etapa de pré-processamento é concluída quando são gerados os IV's (arquivos de inicialização de variáveis) e também os arquivos de solo-vegetação-topografia a partir dos comandos MAKEVFILE e MAKESFC, respectivamente.

A simulação propriamente dita começa então a partir do comando INITIAL (início) configurado no RAMSIN, ele gera então os arquivos de análise e os de HISTORY (histórico) que permitem que a simulação possa ser retomada caso aconteça algum contratempo.

A etapa do pós-processamento corresponde à definição das variáveis e níveis de pressão para coordenar a extração de informações dos arquivos de análise pelo programa RAMSPOST. As configurações necessárias são feitas no arquivo de controle "ramspost.inp".

O "ramspost" cria arquivos CTL com informações de cabeçalho e GRA com a informação na forma binária que os programas GRADS (Grid Analysis and Display System) e ArcGis conseguem interpolar e plotar para visualização. A diferença desses programas é a interpolação usada, enquanto o GRADS exige um processo de interpolação linear, mascarando muitas vezes a distribuição e o comportamento espacial das variáveis, o ArcGis possui interpoladores de ordem paramétrica que levam em consideração o comportamento e a distribuição espacial dos dados, o processo utilizado nesse estudo foi o da krigagem ordinária.(Figura 7)

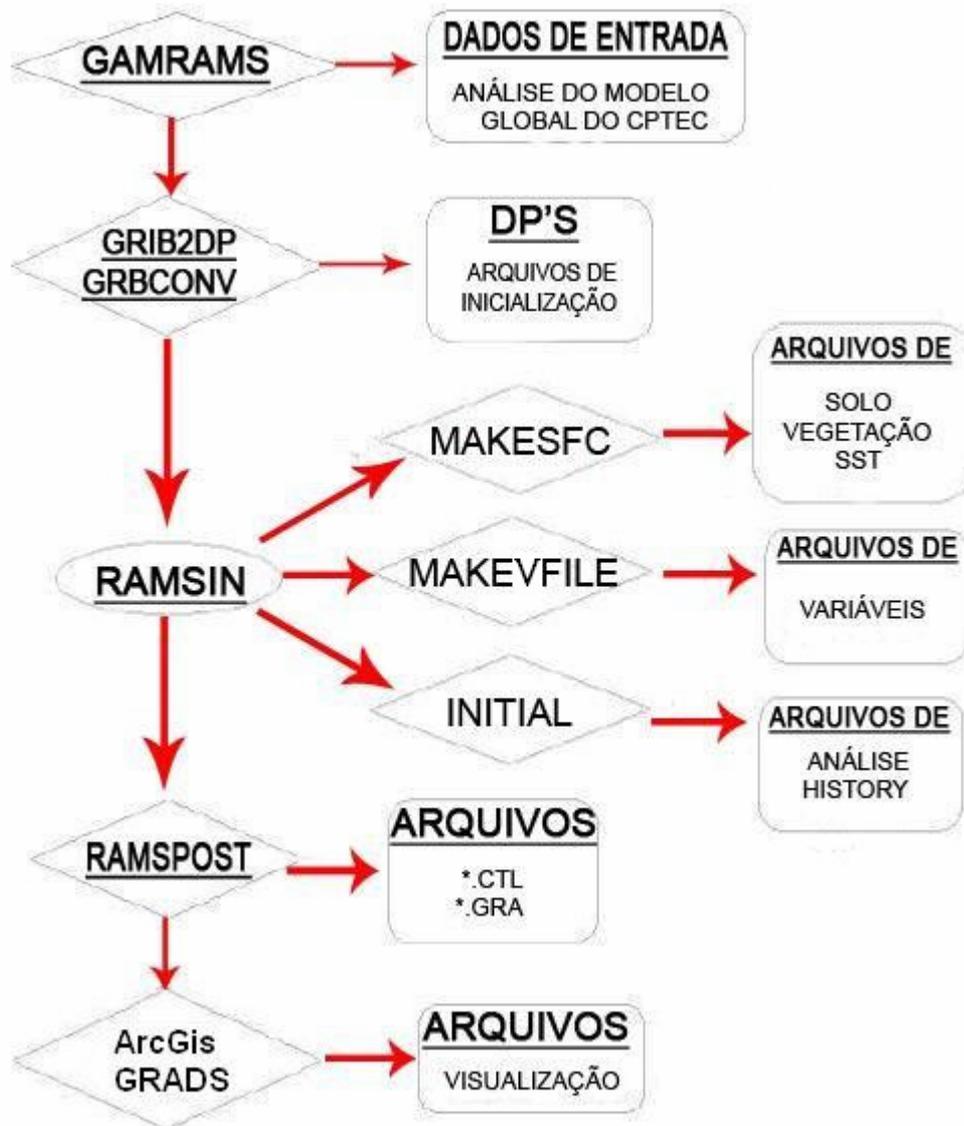


Figura 7. Esquema de funcionamento do BRAMS.

2.3.4. Aplicações do modelo

Muitos estudos têm sido realizados no território do Rio Grande do Sul utilizando os modelos RAMS e BRAMS. Alguns dos resultados obtidos, os quais indicam a qualidade das simulações geradas, são mencionados a seguir.

Farias (2002) utilizou o RAMS e simulou os campos de vento, pressão, umidade relativa e temperatura potencial, obtendo adequada precisão quando as simulações foram comparadas aos dados de superfície, imagens de satélite, cartas sinóticas e radiossondagens. Segundo o autor, a topografia e a brisa marítima exercem forte influência no sentido de intensificar o sistema convectivo quando este se forma sobre o Estado do Rio Grande do Sul, bem como os altos valores de umidade relativa e o intenso cisalhamento vertical. Com o modelo é possível analisar e caracterizar o perfil

atmosférico do sistema estudado e definir parâmetros meteorológicos que justificaram a formação de um tornado.

Ribeiro (2003), a partir de um estudo da região que compreende a costa leste da América do Sul, verificou que o RAMS, por ser um modelo de mesoescala, mostra certa vantagem em comparação com outros modelos numéricos como ETA (modelo de mesoescala que roda operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC) e Global (Modelo de Circulação Geral Atmosférico também rodando operacionalmente no CPTEC). Isto ocorre principalmente pelo fato de o RAMS utilizar grades aninhadas, o que facilita o estudo da importância dos fluxos superficiais de calor no desenvolvimento e intensificação de ciclones marítimos.

De acordo com Paz (2004), o modelo BRAMS apresenta de forma bastante satisfatória a simulação de variáveis meteorológicas, sendo que a introdução da correção da topografia proporciona a obtenção de melhores dados de precipitação pluvial. O estudo foi realizado para a região da usina termoelétrica de Candiota, RS, a fim de simular camada limite planetária e conseqüentemente à dispersão de poluentes depositados na atmosfera.

Posteriormente, Simões (2005) ressaltou a qualidade das simulações do regime de ventos para ambientes de microescala, num estudo cujo objetivo foi modelar o aparecimento e desenvolvimento de tornados no Rio Grande do Sul. O resultado também foi satisfatório com os dados simulados de vorticidade horizontal em superfície e divergência horizontal em altitude, apesar dos pequenos valores, pois em todos os três casos estudados a zona de vorticidade e divergência negativa mais intensa cobriam uma área que, segundo os relatórios, havia sido atingida pelo tornado.

Seguindo essa mesma linha, Brazil (2005) utilizou o modelo BRAMS para a simulação da dispersão de poluentes na região de Candiota, RS. A modelagem da camada limite e do regime de ventos para dias classificados como pré-frontal e pós-frontal permitiu a obtenção das concentrações do material particulado de dióxido de enxofre e do óxido de nitrogênio.

Alonso (2005) fez um estudo sobre a eficiência das parametrizações convectivas na simulação de eventos severos ocorridos no Brasil utilizando o BRAMS. O autor concluiu que a parametrização convectiva de Grell mostra-se superior no que diz respeito à simulação da magnitude da precipitação pluvial em relação à parametrização convectiva de Kuo.

Mais recentemente, Pinto (2006) utilizou o BRAMS para simular, com saídas de 1 em 1 hora, todo o ambiente sinótico onde o SCM (sistema convectivo de

mesoescala) encontrava-se durante seu ciclo de vida, sobre a região do Rio Grande do Sul. Os resultados mostraram que o modelo é capaz de reproduzir as condições favoráveis para a iniciação, desenvolvimento e dissipação do SCM.

2.4. Modelagem do rendimento

No Rio Grande do Sul, diversos autores (Berlato, 1987; Barni, 1994; Matzenauer *et al.*, 1995) têm proposto o uso de modelos de predição de rendimento de culturas de primavera-verão, tendo como variável independente alguma expressão da disponibilidade hídrica. Berlato (1987) parametrizou e validou, em condições de parcelas experimentais, o modelo multiplicativo de Jensen (1968) para a estimativa do rendimento da soja, a partir da evapotranspiração relativa. Neste modelo são atribuídos pesos diferentes aos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico.

Posteriormente, Fontana *et al.* (2001) propuseram o uso desse modelo para a estimativa do rendimento da soja em nível estadual e para condições de lavouras. Segundo os autores, o modelo apresentou bom desempenho, mas também uma importante limitação, dado que o resultado gerado é um valor médio para toda a região de produção. O desafio a ser enfrentado, segundo os autores, seria a espacialização das informações de entrada do modelo com o grau de detalhe necessário, de forma a gerar um mapa com a distribuição espacial dos rendimentos de soja na região de produção.

Mais recentemente, Mello *et al.* (2003) adicionaram ao modelo agrometeorológico um termo espectral, dado pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtido de imagens NOAA. No modelo proposto, o termo agrometeorológico responde pelas condições térmicas e hídricas, enquanto o termo espectral introduz ao modelo outros fatores determinantes do crescimento não considerados no termo agrometeorológico.

Também neste enfoque, Rizzi (2004) usou um modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento da soja no Rio Grande do Sul, onde foram usados dados meteorológicos de estações de superfície e imagens LANDSAT para a localização e desenvolvimento de biomassa da cultura. Obtendo resultados satisfatórios, ressaltou, porém, que a falta de dados meteorológicos suficientes gera uma possível fonte de erro nas estimativas.

Finalmente, Bianchi *et al.* (2006) introduziram algumas melhorias espaciais e temporais ao modelo proposto por Melo *et al.* (2003). A melhoria espacial consiste na

divisão da região de estudo em três partes conforme a variação do rendimento da soja no decorrer dos anos (Melo *et al.*, 2003). O ganho quanto à resolução temporal foi a adição de coeficientes para a geração de expectativas de rendimento da soja ainda nos meses de janeiro e fevereiro. Segundo os autores, o modelo proposto e testado atende a demanda dos órgãos nacionais responsáveis pelo acompanhamento da safra e com adequado grau de detalhamento temporal e espacial. Em termos temporais, é possível a obtenção de expectativas de rendimento ao final dos meses de janeiro e fevereiro. É, entretanto, ao final do mês de março que as estimativas são mais precisas e acuradas. Em termos espaciais, há ainda a necessidade de confrontar os dados estimados pelos modelos com dados obtidos diretamente em lavouras situadas na região de estudo.

Revisando a bibliografia e os resultados obtidos através dos modelos foi possível avaliar que o desempenho dos modelos de estimativa de rendimento de culturas será melhor à medida que forem agregadas mais e mais informações meteorológicas a fim de obter valores e evapotranspiração em locais onde não há estação meteorológica.

2.5. NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*) tem sido empregado para avaliar o vigor da vegetação, monitorar as coberturas vegetais (Batista *et. al.*, 1993), auxiliar na detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, dar suporte a previsão da produtividade agrícola, entre outras aplicações.

A vegetação sempre apresenta um fator de refletância baixo para a faixa visível do espectro eletromagnético (VIS), mostrando-se elevado para o infravermelho próximo (IVP). O pico de absorção no visível se dá por conta da presença da clorofila, que absorve esta radiação a fim de viabilizar a fotossíntese. Já o pico de reflexão para o IVP está relacionado à baixa absorção desta radiação pelos tecidos celulares folhares mais externos.

A fórmula de cálculo do NDVI é dada por:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (16)$$

onde ρ_{IVP} e ρ_V correspondem às reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente.

Como resultado do processamento deste índice é possível obter valores que oscilam entre -1 e 1. Para valores negativos, ou próximos de zero, interpreta-se a inexistência de vegetação (edificações, solo exposto, massas d'água). A vegetação está caracterizada por valores positivos deste índice (Meneses, 2001) e, quanto mais próximo do valor 1, maior será o vigor vegetativo interpretado.

Este índice pode ser utilizado para fins de estimativa de parâmetros da vegetação ou mesmo para o monitoramento da mesma através de perfis temporais. Para cada cultura, em cada estágio vegetativo, e para cada região é possível estabelecer perfis de NDVI característicos. Como exemplo, pode-se citar a cultura da soja, a qual possui perfis característicos de evolução do NDVI em cada região de produção. Isto torna possível identificar em macro-escala a cultura da soja com aporte de ferramentas de sensoriamento remoto.

Motta *et al* (2002), fizeram um estudo detalhado na região norte-noroeste do Rio Grande do Sul, comparando imagens Landsat e NDVI/NOAA no período do desenvolvimento da soja. Os autores relataram que o uso de imagens de NDVI é adequado para o monitoramento do desenvolvimento da cobertura vegetal.

CAPITULO III - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

3.1.1 Localização

A área de estudo está situada entre as latitudes $27^{\circ}09'43''S$ e $29^{\circ}13'37''S$ e longitudes $51^{\circ}27'38''W$ e $55^{\circ}13'40''W$. Esta área compreende a região onde, segundo Berlato e Fontana (1999), cerca de 90% da cultura de soja é produzida no Rio Grande do Sul. O relevo da região é suave ondulado, com altitude média próxima a 465m. O solo predominante é o Latossolo Vermelho, sendo que são encontradas também outras cinco subordens de solo em menor proporção dentro desta área (EMBRAPA, 1999). De acordo com os dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), essa região é composta de 225 municípios (Figura 8).

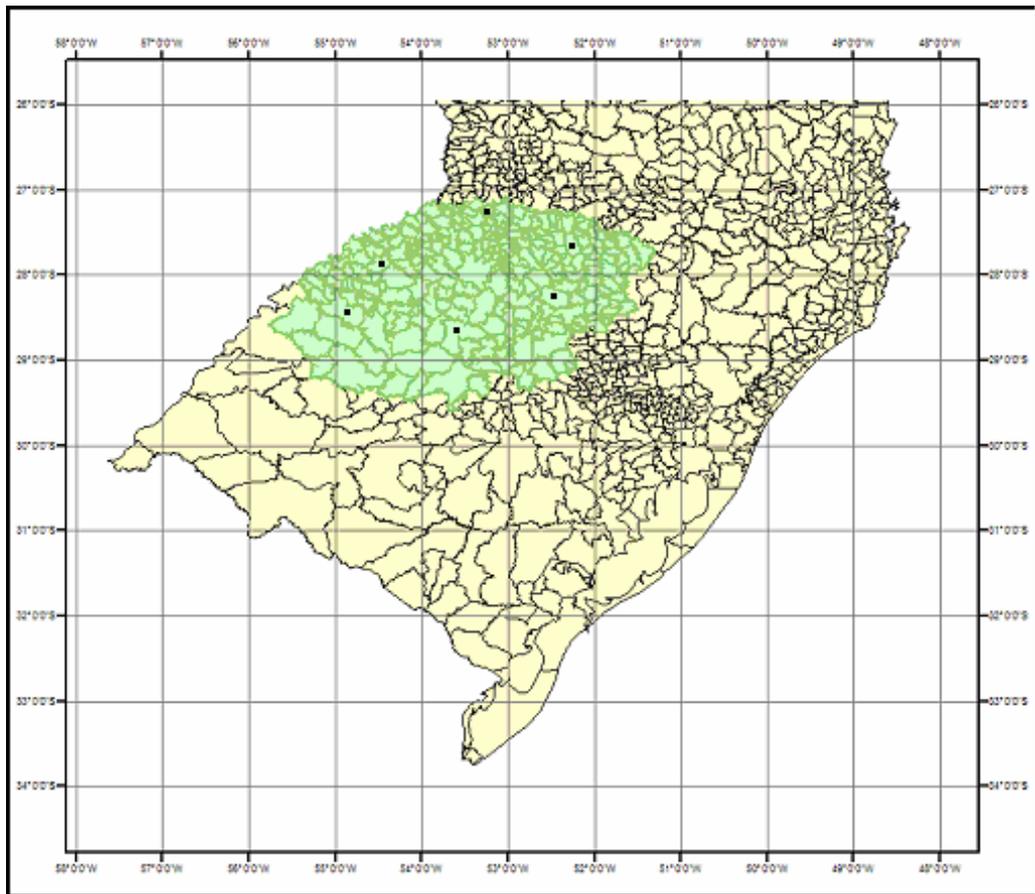


Figura 8. Região de estudo: área significativa de produção de soja no Estado do Rio Grande do Sul em verde .Os pontos em preto representam as estações meteorológicas analisadas.

3.1.2 Clima da Região Norte-Noroeste do Rio Grande do Sul

Conforme descrito por Moreno (1961), o clima do Estado do Rio Grande do Sul é classificado, segundo Köppen, na zona fundamental temperada ou “C”, tipo úmido ou “Cf”, com as variedades “Cfa” e “Cfb” (sub-tropical e temperado, respectivamente). Em toda a região de estudo (Figura 8) predomina o tipo climático Cfa, sendo caracterizado pela temperatura média do mês mais frio abaixo de 18°C e acima de -3°C; sem estação seca (nenhum mês com chuva menor do que 60 mm) e verão quente (temperatura média do mês mais quente superior a 22°C).

Os principais mecanismos causadores da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul são as passagens de sistemas frontais e o desenvolvimento de aglomerados convectivos. A precipitação pluvial anual do Estado é de 1.540 mm, sendo que no verão a precipitação pluvial corresponde a 24%, no outono a 25%, no inverno a 25% e na primavera a 26%, do total anual. A temperatura média do ar anual varia entre 14 a 21°C; a média das máximas varia de 20 a 28°C e a média das mínimas varia de 9 a 15°C.

3.1.3. Período de estudo

O estudo foi realizado no ano agrícola de 2005/2006, estendendo-se de setembro de 2005 até a segunda quinzena de março de 2006, compreendendo todo o período de relevância do desenvolvimento da cultura da soja no Rio Grande do Sul.

3.2 Determinação da evapotranspiração

O cálculo da evapotranspiração foi feito pelo método de Penman (1948), segundo a Equação 1. A escolha deste método se deu em função de o mesmo ser um método que produz estimativas acuradas, já que é uma combinação dos processos aerodinâmicos e do balanço de energia, e de fácil aplicação, uma vez que se baseia no uso de dados disponíveis em estações meteorológicas convencionais.

Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração foram obtidos através de duas fontes: estações meteorológicas de superfície e simulação numérica através do modelo BRAMS.

3.2.1 Dados de estações de superfície

Os dados meteorológicos provenientes das estações citadas na Tabela 3 e espacialmente distribuídas na Figura 8, utilizados neste estudo são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação pluvial.

Tabela 3. Localização geográfica e instituição correspondente das estações meteorológicas usadas como fonte de dados.

Estações	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Instituição
Cruz Alta	-28,6031	-53,6729	472	8° DISME
Erechim	-27,6574	-52,3051	760	FEPAGRO
Iraí	-27,1936	-53,2505	235	8° DISME
Passo Fundo	-28,2264	-52,403	514	8° DISME
Santa Rosa	-27,8589	-54,4448	330	FEPAGRO
São Luiz Gonzaga	-28,4000	-54,9667	244	8° DISME

3.2.1.1. Temperatura do ar

A variável temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$) foi calculada através da média aritmética dos valores máximo e mínimo, observados no período de um dia, respectivamente, nos termômetros de máxima (mercúrio) e um de mínima (álcool) dentro do abrigo meteorológico.

3.2.1.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa dada (%) foi calculada através da média aritmética dos valores medidos pelo observador meteorológico no psicrômetro nos horários padrões de medida, ou seja, 9:00, 15:00 e 21:00 TMG (tempo médio de Greenwich).

3.2.1.3. Velocidade do vento

Nas estações agrometeorológicas da FEPAGRO o equipamento de medida da velocidade do vento é um anemômetro totalizador de canecas, instalado a 2m de altura. A velocidade média do vento (km.dia^{-1}) foi obtida pela diferença entre duas leituras consecutivas (vento percorrido) corrigidas pela unidade de tempo (24h).

Já as estações meteorológicas do INMET possuem como equipamento de medida do vento o cata-vento tipo Wild, instalado a 7m de altura. A média aritmética da velocidade instantânea do vento (m.s^{-1}) nos três horários padrões de medição foi usada como velocidade média do vento.

O uso destes dois instrumentos de medida fez com que fosse necessário a compatibilização das unidades de medição e a uniformização da altura de referência, obtida pela aplicação da equação de Pasquill.

3.2.1.4. Radiação solar global

O instrumento utilizado para a medição da radiação é o actinógrafo ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$), geralmente está disponível nas estações agrometeorológicas (FEPAGRO). Quando este não está disponível, o que ocorre na maior parte das estações meteorológicas (8^o DISME), usa-se o heliógrafo, que mede a insolação diária em horas.

Neste caso, para a estimativa da radiação solar global foi utilizada a equação de Ångstron, com coeficientes ajustados para o Rio Grande do Sul por Fontana e Oliveira (1996).

3.2.1.5. Precipitação pluvial

Os valores de precipitação são medidos através de um pluviômetro (mm), que totaliza a quantidade de água precipitada para cada dia.

3.2.1.7 Evapotranspiração relativa

Calculado a ET_o , o próximo passo foi o cômputo do balanço hídrico meteorológico, utilizando a metodologia de Thornthwaite-Mater (1955), como um método de estimativa da disponibilidade de água no solo para as plantas. Para este estudo foi considerada uma capacidade de água disponível (CAD) constante para toda a região de 75mm.

Como resultado do balanço hídrico obteve-se a evapotranspiração real (ET_r) e, dividindo pela evapotranspiração de referência (ET_o), obteve-se a evapotranspiração relativa (ET_r/ET_o), que foi usada como uma das variáveis de entrada do modelo de estimativa de rendimento da soja.

3.2.2 Simulação numérica através do modelo BRAMS

As simulações com o modelo BRAMS foram feitas no GEPR (Grupo de Estudos em Previsão Regional Atmosférica – FURG). Para isso, foi utilizado um cluster constituído por 32 nodos e uma máquina administradora com processadores Athlon XP 1.5Ghz, trabalhando em paralelo com sistema operacional Linux versão Debian. A inicialização do BRAMS foi feita através da assimilação em quatro dimensões (espacial e temporal), onde foram utilizados os metadados disponibilizados pelo CPTEC. O modelo foi inicialmente configurado para uma grade de 40 por 30 pontos com 16km de resolução espacial, abrangendo uma área maior que a do estudo, a fim de evitar o erro de borda relacionado às grades do BRAMS.

A resolução temporal foi definida como uma saída de dados a cada 24 horas para as seguintes variáveis: temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar global, umidade relativa do ar e precipitação pluvial. Estas quatro primeiras são as variáveis necessárias para o cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman (1948), incorporada ao modelo através de uma sub-rotina (Anexo 1), enquanto que a precipitação pluvial é necessária juntamente com a evapotranspiração para a confecção do balanço hídrico meteorológico.

3.2.3 Análise das estimativas de evapotranspiração

Para a validação dos dados simulados no modelo meteorológico BRAMS, foram feitas comparações pontuais entre os dados diários e decendiais simulados com aqueles registrados nas estações meteorológicas de superfície para o período de estudo, para os seguintes elementos: temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial, velocidade do vento e evapotranspiração de referência.

Os dados observados e os simulados foram representados na forma de gráficos com o transcurso temporal de cada elemento em nível diário. Os dados decendiais foram representados através de gráficos de dispersão. Também foi calculado o coeficiente de correlação entre dados observados e simulados.

3.3 Modelagem de rendimento

A estimativa do rendimento da soja foi feita utilizando o modelo ajustado por Melo (2003), com melhorias na resolução espacial e temporal introduzidas por Bianchi *et al.* (2006), conforme a equação 17, o qual possui dois termos: o agrometeorológico (TA) e o espectral (TE).

$$Y = Ym \times [(a \times TA) + (b \times TE)] \quad (17)$$

Nesta equação, o rendimento máximo foi determinado por Bianchi *et al.* (2006) como sendo o maior rendimento da série estudada (1981 a 2003). Para isso, a região de estudo foi dividida em 3 regiões (Figura 9) de acordo com o rendimento médio de cada município sendo que, para as regiões 1, 2 e 3, foram usados respectivamente 2.929, 2.578 e 2.261 kg.ha⁻¹. Os coeficientes da equação 17 são mostrados na Tabela 4.

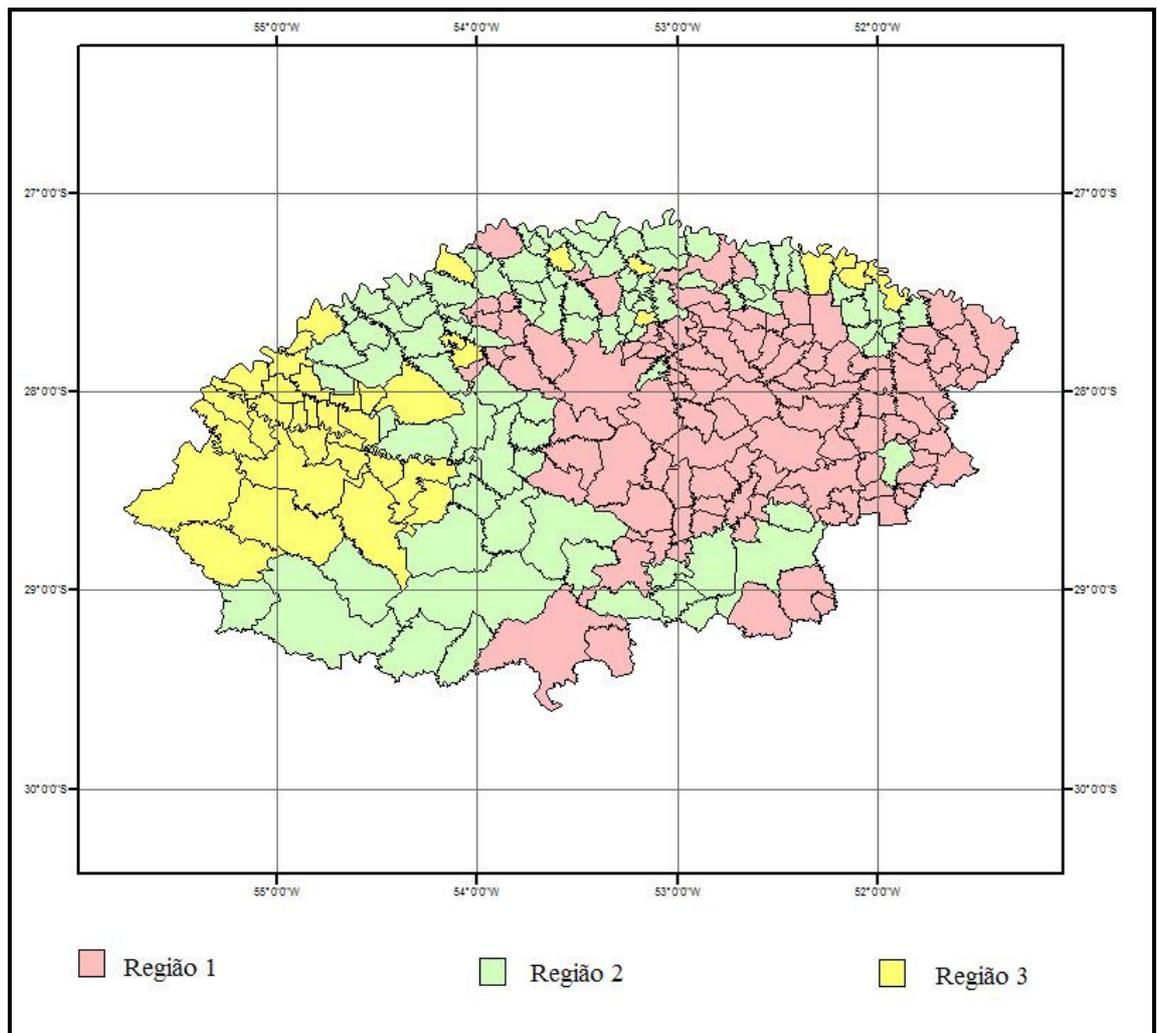


FIGURA 9. Municípios da região significativa de soja no Rio Grande do Sul agrupados considerando o rendimento médio (Adaptado de Melo *et al.*, 2004).

Tabela 4. Coeficientes para estimação do rendimento médio da cultura da soja através do modelo agrometeorológico-espectral (Fonte: Bianchi *et al.*, 2006).

Mês de estimativa	Região	Coeficientes	
		a	b
Janeiro	1	0,675	0,267
	2	0,658	0,277
	3	0,605	0,358
Fevereiro	1	0,802	0,139
	2	0,790	0,170
	3	0,729	0,224
Março	1	0,882	0,083
	2	0,852	0,123
	3	0,799	0,173

A equação para a estimativa de TA é dada por:

$$TA = \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{ETr}{ETo} \right)_i^{\lambda_i} \right] \quad (18)$$

onde ETr/ETo é a evapotranspiração relativa e λ_i é o expoente que representa a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico durante o período i, apresentados na Tabela 5. Portanto, quanto maior for o expoente, maior será a sensibilidade da planta ao déficit hídrico, ou seja, a ocorrência de estiagem em um mês com maior expoente acarreta uma maior redução nos rendimentos finais.

Tabela 5. Expoentes para estimação do termo agrometeorológico do modelo de estimativa do rendimento da cultura da soja (Fonte: Bianchi *et al.*, 2006).

Mês de estimativa	Região	Expoentes			
		Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Janeiro	1	0,498	0,983		
	2	0,535	0,948		
	3	0,607	0,882		
Fevereiro	1	0,359	0,516	0,839	
	2	0,355	0,542	1,142	
	3	0,477	0,444	0,785	
Março	1	0,299	0,261	0,652	0,586
	2	0,361	0,277	0,720	0,727
	3	0,427	0,233	0,630	0,487

Neste trabalho as imagens de ETr/ETo foram obtidas a partir da interpolação espacial dos dados de estações meteorológicas de superfície e a partir do BRAMS. A rotina de cálculo do balanço hídrico, desenvolvida no software Matlab, encontra-se no Anexo 2.

O termo TE é representado pelas imagens de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proveniente do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), a bordo dos satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). No caso da expectativa de rendimento gerada ao final do mês de janeiro, TE foi dado pela composição de máximo valor referente somente ao mês de janeiro. Nos demais casos, foram utilizados os dados de NDVI médio dos meses de janeiro e fevereiro. As imagens NOAA foram adquiridas pela estação de recepção de imagens localizada no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde foram corrigidas e georreferenciadas.

As estimativas de rendimento geradas pelo modelo agrometeorológico-espectral, no qual a evapotranspiração relativa (ETr/ETo) foi obtida com os dados simulados (BRAMS), foram comparadas com as estimativas geradas usando os dados provenientes de estações meteorológicas. Esta análise foi feita avaliando visualmente a

distribuição espacial das estimativas, assim como comparando as estatísticas básicas de rendimentos médios, máximos e mínimos.

CAPITULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados meteorológicos

As Figuras de 10 a 14 mostram a série temporal de dados meteorológicos originais, em nível diário, medidos nas estações meteorológicas e os simulados pelo BRAMS. Na Figura 15 são apresentados os gráficos de dispersão entre os valores observados e estimados, em nível decenal, os quais foram usados para o cálculo da evapotranspiração de referência e posterior modelagem de rendimento.

Entre as variáveis simuladas, a variável temperatura do ar foi a que apresentou maior semelhança entre os valores medidos e estimados considerando todas as estações (Figuras 10), com valores de correlação variando entre 0,79 para a estação de Iraí e 0,91 para a estação de São Luiz Gonzaga (Figura 15). Isto pode ser explicado, em parte, pelo fato de a temperatura do ar possuir na maioria dos dias o comportamento determinado pelo balanço de energia da superfície, com temperaturas mínimas registradas pouco antes do nascer do sol e temperaturas máximas por volta das 17h30min TMG. As maiores diferenças ocorreram em dias em que esse comportamento foi afetado por alguma condição excepcional de tempo, como por exemplo, a entrada de uma frente fria ou chuva convectiva.

Para a variável umidade relativa do ar, os dados simulados pelo BRAMS mostraram a tendência de serem superestimados quando comparados com os dados medidos (Figuras 10 e 14). Os valores de correlação variaram entre 0,06 para a estação de Erechim, e 0,68 para a estação de Cruz Alta. A umidade relativa do ar é bastante relacionada com a cobertura vegetal, proximidade a corpos de água e quantidade de umidade no solo. Esses fatores possuem grande variabilidade espacial e, por consequência, tendem a afetar o comportamento pontual dessa variável. De acordo com os pesquisadores do GEPR (comunicação pessoal) as variáveis temperatura e umidade relativa são as que apresentam os melhores resultados nas previsões feitas diariamente.

Nas comparações envolvendo a velocidade do vento verificou-se um comportamento variável. Nas estações que possuem cata-vento (Cruz Alta, Iraí, Passo

Fundo e São Luiz Gonzaga), as simulações e os dados estimados foram bem próximos (Figura 12), enquanto que nas estações equipadas com totalizador (Erechim e Santa Rosa) as simulações apresentaram a tendência a superestimar os valores medidos. Isso pode significar que o BRAMS superestima os dados de velocidade média do vento, já que, teoricamente, o totalizador é o equipamento mais recomendado para essa medida. Entretanto, esta afirmação deve ser melhor avaliada, visto que a ordem de magnitude da velocidade do vento simulada pelo BRAMS foi semelhante entre as estações. Talvez, as medidas de velocidade do vento na superfície contenham erros, visto que nas estações de Erechim e Santa Rosa, as variações são mínimas no decorrer dos dias, particularmente em Erechim, onde a velocidade média do vento fica em torno de $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ em todo o período de estudo. Dada esta tendência inversa dependendo da estação, a dispersão dos dados foi bastante alta (Figura 15), e com valores de correlação variando entre 0,40 para Erechim e 0,78 para a estação de Santa Rosa. Simões (2005) concluiu que o BRAMS tem a tendência de subestimar a magnitude do vento, porém ressaltou que isso provavelmente seja a dimensão do evento simulado (tornado), que raramente tem duração superior a alguns minutos.

A variável radiação solar global apresentou um erro associado ao método de obtenção dessa informação junto à estação, já que o método adotado diz respeito ao registro do número de horas de insolação e posterior conversão para unidades de radiação solar ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$). No registro da insolação não é levada em conta a radiação solar incidente difusa, existente em momentos com céu encoberto, e ou dias com bastante umidade. Já as simulações levam em conta toda a radiação solar incidente (direta e difusa) durante o período. Nota-se isso com mais facilidade (Figura 13) nos dias em que a radiação incidente “medida” caiu drasticamente para valores próximos de $100\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, enquanto que nos dados simulados esses valores raramente apresentaram resultados inferiores a $400\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. É importante ressaltar que a estação de São Luiz Gonzaga possivelmente apresenta erro de instrumentação nos primeiros dias de medição, quando os valores estão muito baixos neste local. Nos gráficos de dispersão, verifica-se nitidamente a tendência de superestimativa do modelo BRAMS (Figura 15), com valores de correlação entre 0,50 para as estações de Santa Rosa e São Luiz Gonzaga e 0,95 para a estação de Erechim.

A precipitação pluvial foi a variável meteorológica que apresentou os piores dados de comparação entre os valores medidos e simulados (Figuras 14 e 15). As correlações da variável precipitação pluvial foram as que apresentaram maiores diferenças, oscilando entre -0,34 para a estação de Passo Fundo e 0,71 para a estação de

São Luiz Gonzaga. Dentre as variáveis simuladas nesse estudo, a precipitação pluvial foi a que apresentou maior variação espacial, ou seja, em poucos quilômetros as diferenças na quantidade de água precipitada foram expressivas. Isto é especialmente válido no período de verão, quando as precipitações pluviais provenientes de nuvens convectivas apresentam relativamente maior importância. E, além disso, deve-se levar em consideração que, pelo fato de as simulações do BRAMS serem efetuadas utilizando pontos de grade, estas podem gerar um erro associado à distância da estação em relação a ponto de grade mais próximo. Convém também levar em consideração que em todo o período do ano safra de 2005/2006, a precipitação pluvial permaneceu abaixo da normal que para a região de estudo é de 719 mm no decorrer dos meses de novembro a março. Os dados medidos apresentaram uma média de 471 mm de precipitação pluvial no período, enquanto que o BRAMS teve como resposta uma média de 407 mm de chuva entre novembro e março. Ainda com relação à precipitação, Paz (2004) indica que os valores de magnitude da precipitação são melhores à medida que se refina a topografia original do modelo.

A Tabela 6 mostra os resultados da análise de correlação entre os dados medidos nas estações meteorológicas e os simulados pelo BRAMS. Verifica-se que para a maioria dos elementos e estações meteorológicas a correlação foi significativa. Conforme discutido anteriormente, as melhores associações foram observadas para o elemento temperatura do ar, com coeficientes de correlação que variaram de 0,75 a 0,91, todos significativos a 1% de probabilidade. A radiação solar global e a velocidade do vento apresentaram coeficientes variados, mas todos significativos a pelo menos 5% de probabilidade. Correlações não significativas em alguns locais foram observadas para os elementos umidade relativa do ar e precipitação pluvial, a qual, em geral, apresentou os mais baixos coeficientes de correlações, variando de -0,34 a 0,71. Não foi observada, entretanto, tendência de a simulação mostrar dependência com o local.

Tabela 6. Correlação entre os dados decendiais medidos e simulados pelo BRAMS para cada uma das variáveis.

	Cruz Alta	Erechim	Iraí	P. Fundo	Santa Rosa	São L. Gonzaga
Temperatura do ar	0,90*	0,75*	0,79*	0,83*	0,86*	0,91*
Umidade Relativa do ar	0,68*	0,06	0,35	0,60*	0,66*	0,49**
Velocidade do vento	0,46**	0,40**	0,76*	0,77*	0,78*	0,73*
Radiação Solar Global	0,70*	0,95*	0,59**	0,62*	0,50**	0,50**
Precipitação pluvial	-0,08	0,01	0,49**	-0,34	0,39	0,71*

* e ** Coeficientes significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

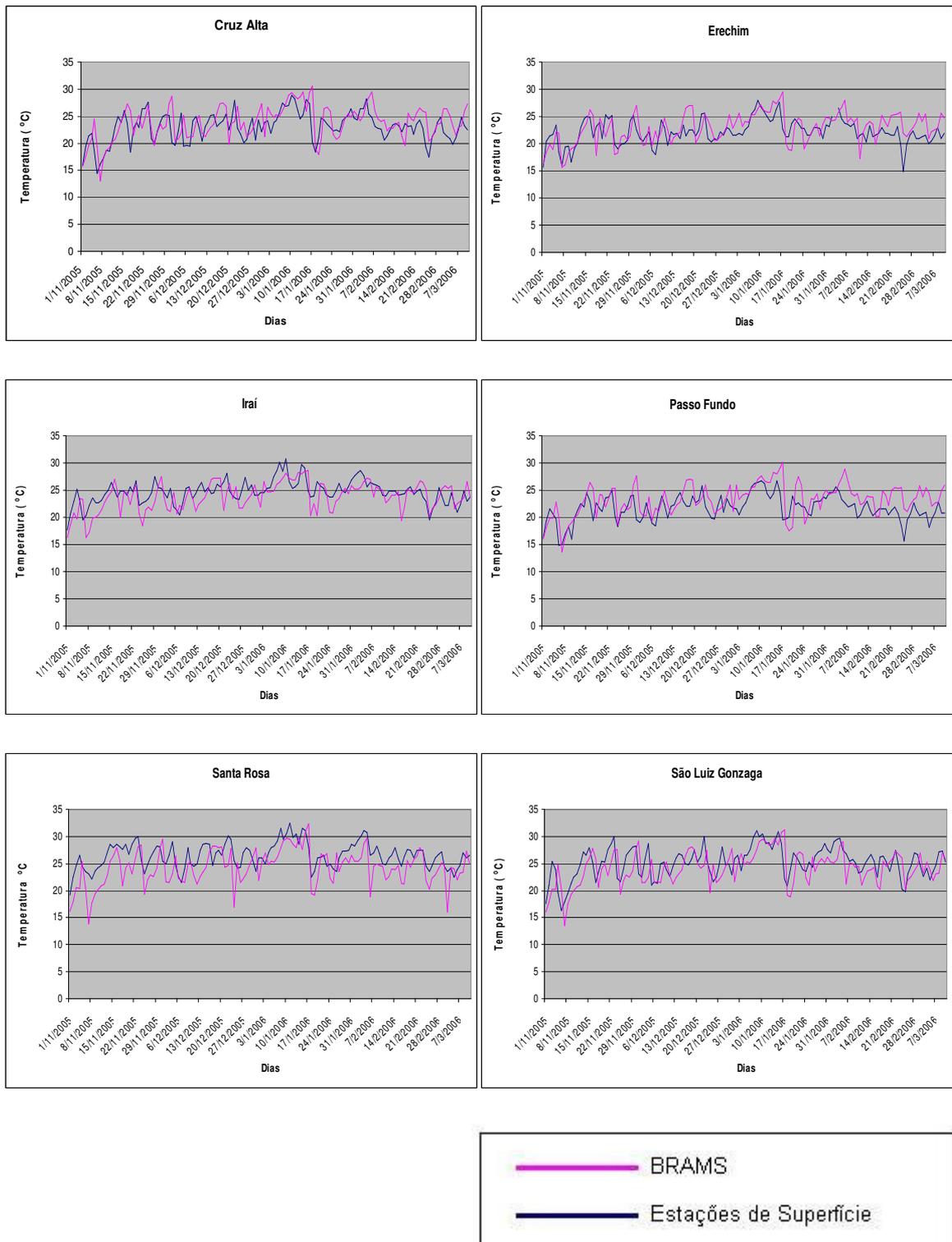


Figura 10. Série temporal de temperatura do ar medida e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.

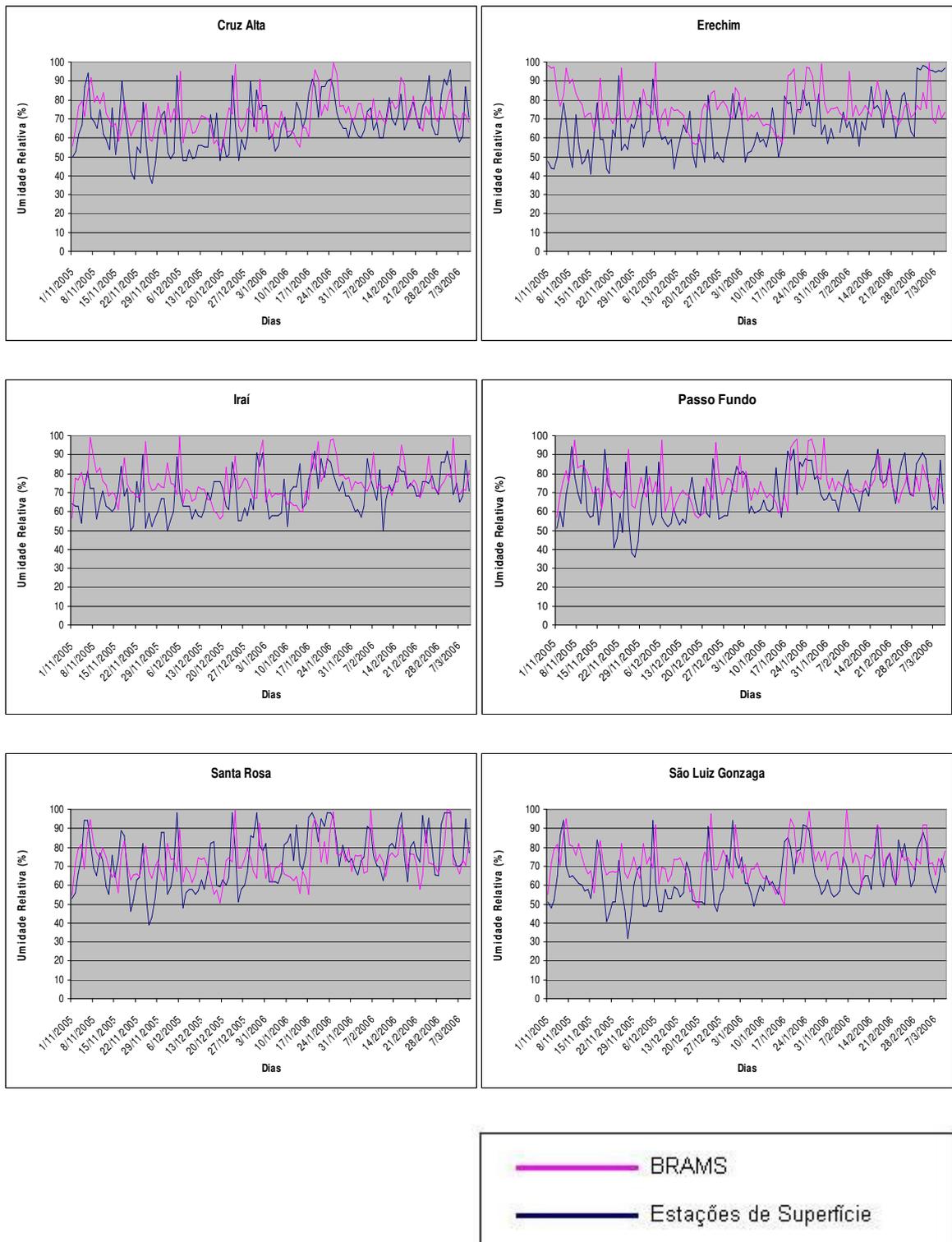


Figura 11. Série temporal de umidade relativa do ar medida e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.

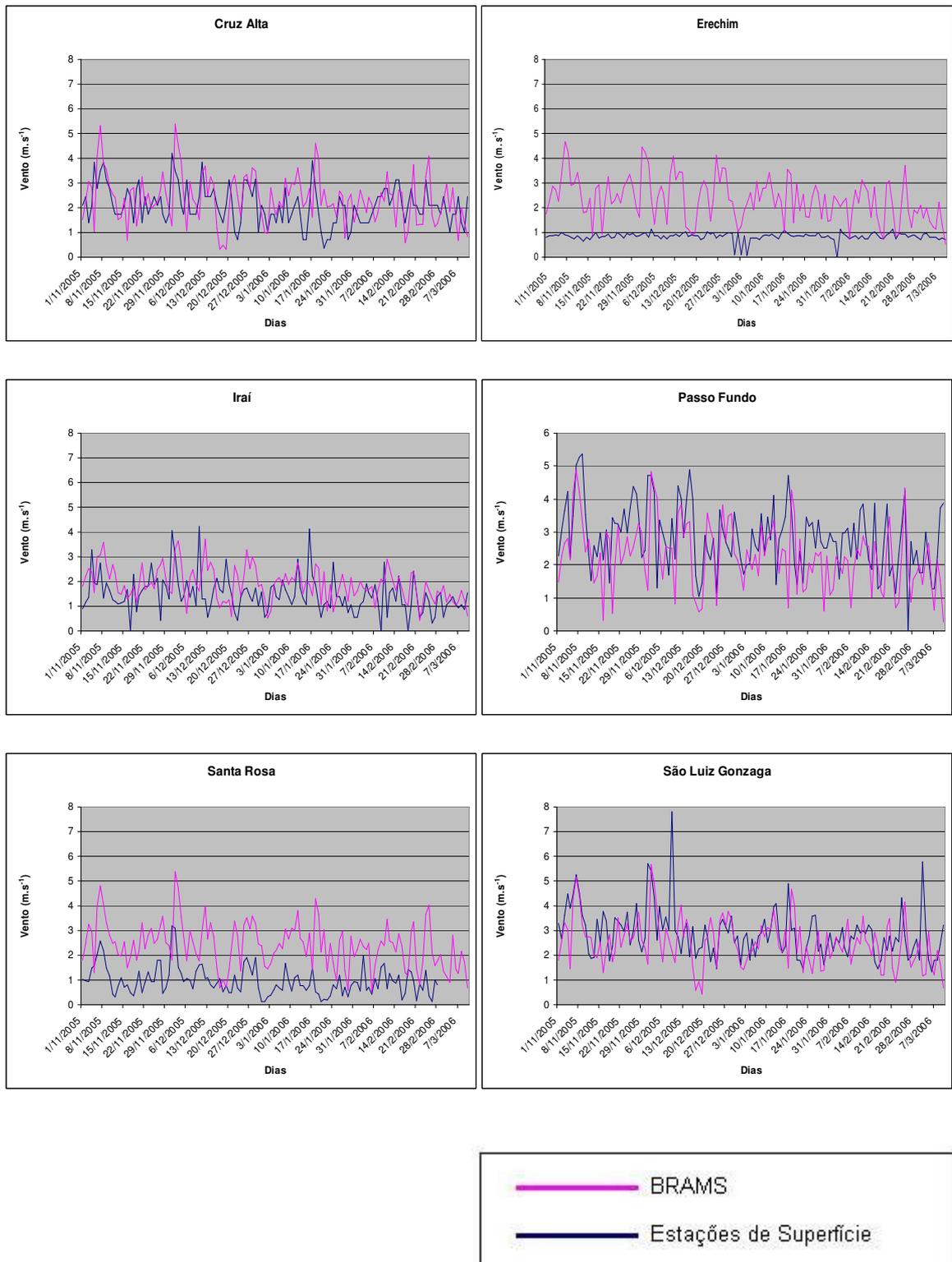


Figura 12. Série temporal de velocidade média do vento medida e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.

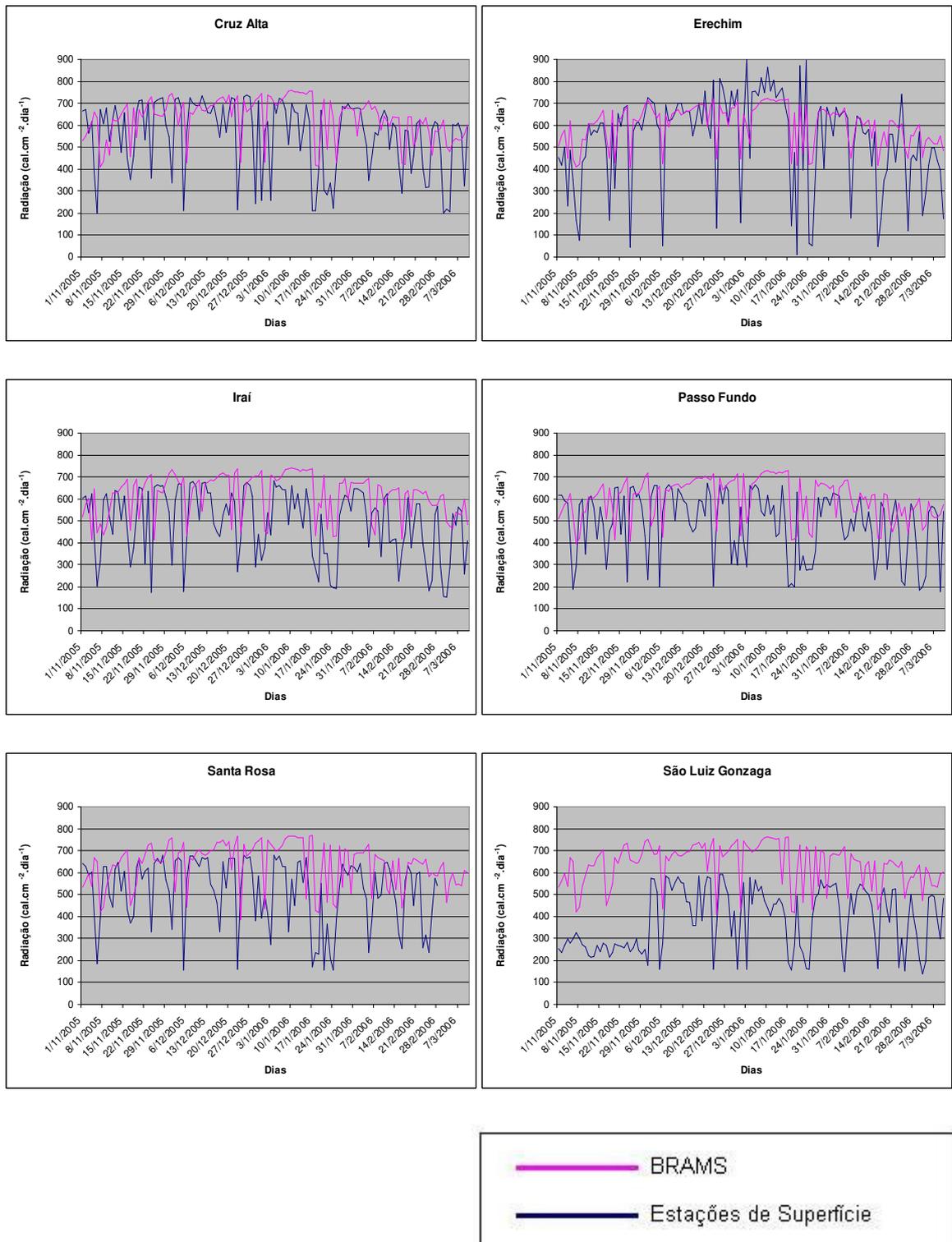


Figura 13. Série temporal radiação solar global estimada e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa, e São Luiz Gonzaga.

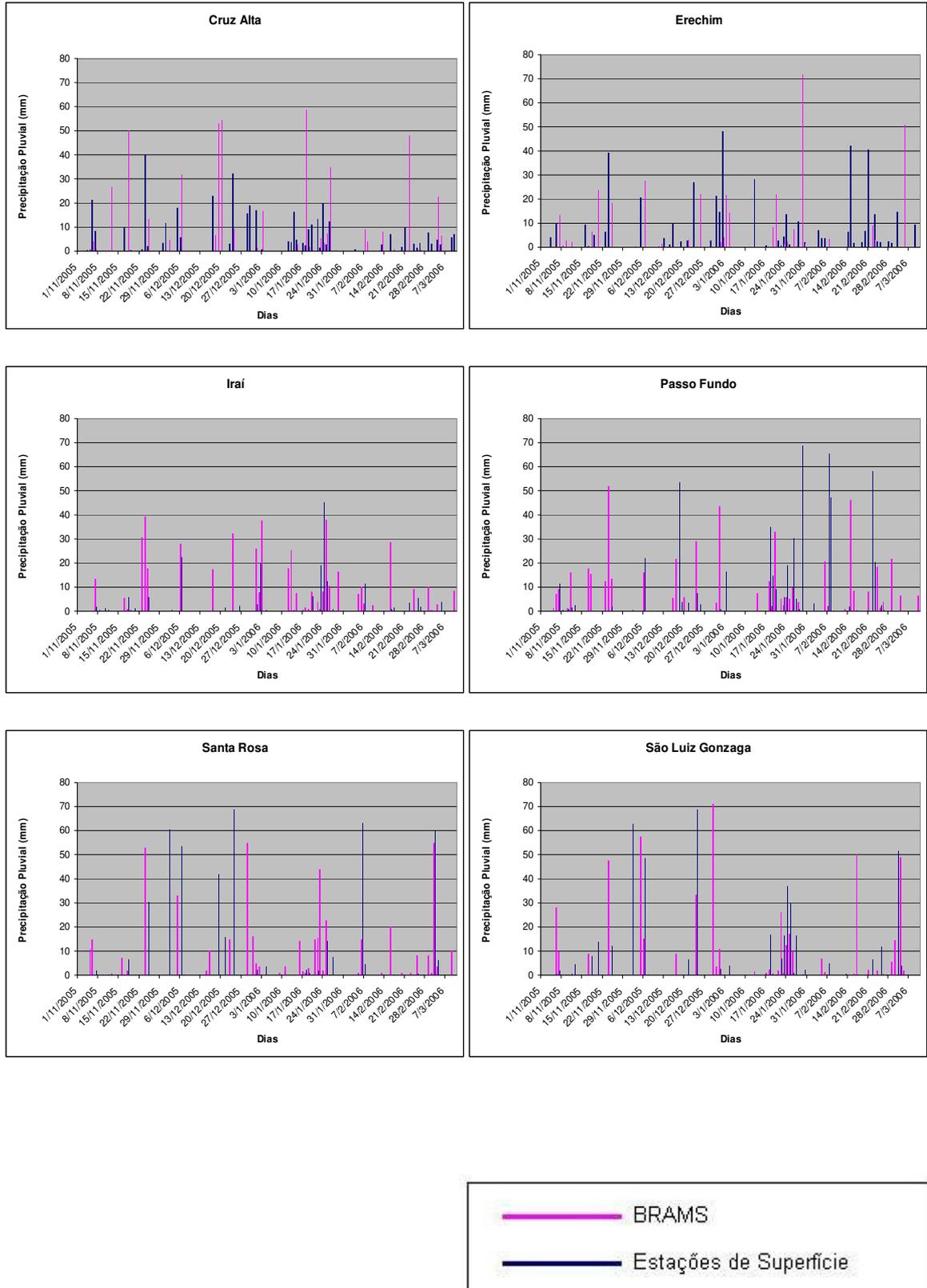


Figura 14. Série temporal de precipitação pluvial medida e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.

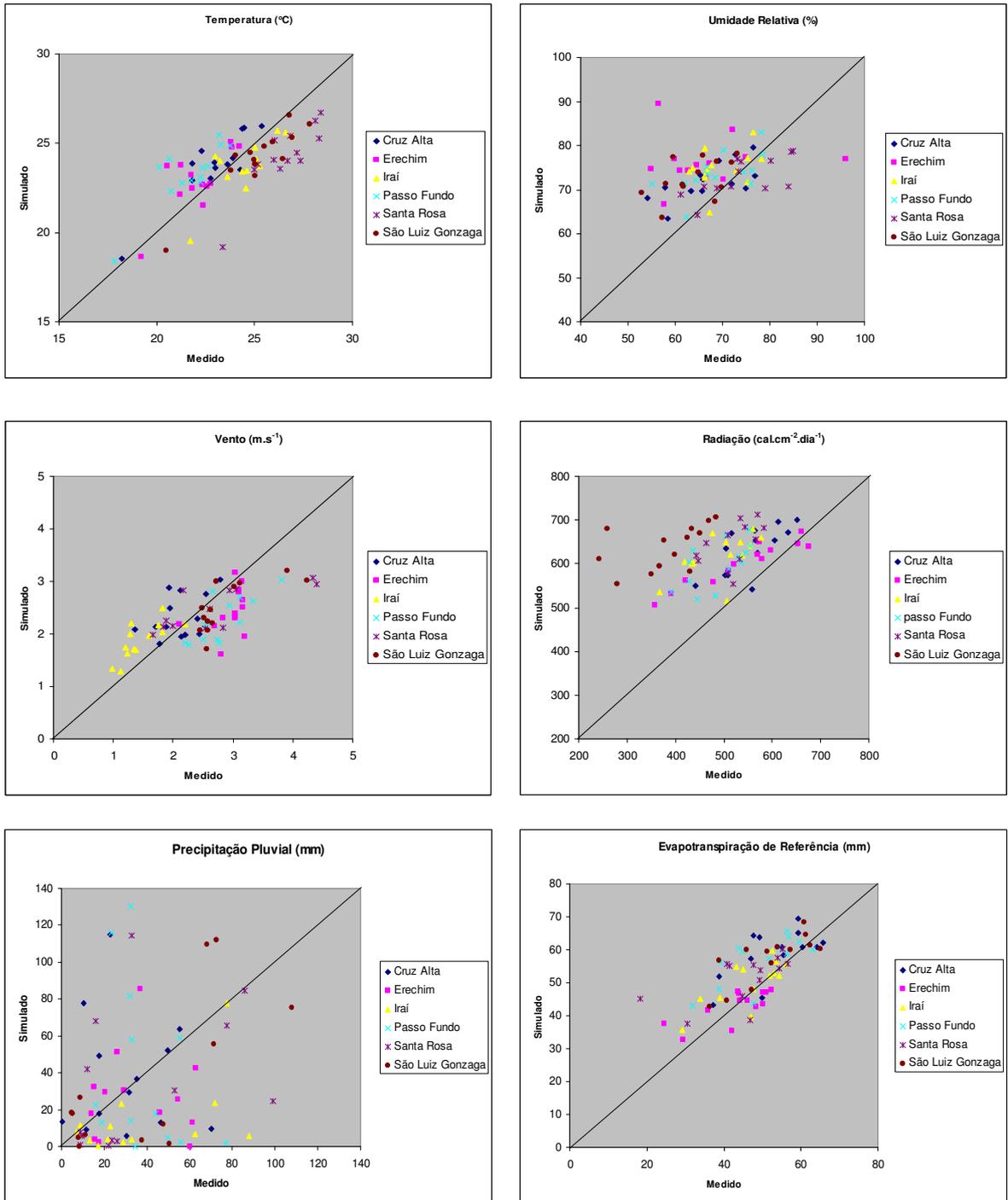


Figura 15. Gráfico de dispersão entre os dados estimados e simulados para cada variável.

4.2 Evapotranspiração de Referência (ET_o)

4.2.1 Comparação entre a ET_o obtida a partir de dados das estações meteorológicas de superfície e pelo BRAMS

As Figuras 15 e 16 mostram a comparação da série de evapotranspiração acumulada de 10 em 10 dias obtida a partir dos dados originais das estações meteorológicas de superfície e pelas simulações do BRAMS. Apesar das diferenças observadas nos elementos meteorológicos originais, o resultado obtido na estimativa da ET_o foi bastante satisfatório para quase todo o período de estudo. No período que se estende do segundo decêndio de janeiro ao segundo de fevereiro, as simulações do BRAMS (Figura 16) apresentaram valores um pouco superiores às estimativas calculadas usando apenas dados de estações meteorológicas. Na Figura 15 observa-se uma menor dispersão dos dados de ET_o quando comparado aos demais elementos meteorológicos analisados.

Na Tabela 7 são apresentadas as correlações entre os dados estimados por simulações e medidos nas estações de superfície. Os resultados mostram coeficientes de correlação variando de 0,60 para a estação de Santa Rosa a 0,77 para a estação de São Luiz Gonzaga, todos significativos a 1% de probabilidade. Isto evidencia a possibilidade de uso do BRAMS como gerador dos dados de evapotranspiração de referência. A vantagem no uso dos dados simulados reside na possibilidade de se obter dados estimados em locais onde não existem estações meteorológicas de superfície, com adequada confiabilidade. No caso desse estudo foram simuladas as existências de 1200 estações meteorológicas, sendo que dessas, 876 localizadas na área de estudo.

Tabela 7. Correlação entre os dados medidos e simulados para a variável evapotranspiração de referência.

	Cruz Alta	Erechim	Iraí	P. Fundo	S. Rosa	São L Gonzaga
Evapotranspiração de referência	0,65*	0,75*	0,74*	0,71*	0,60*	0,77*

* Coeficiente significativo a 1% de probabilidade

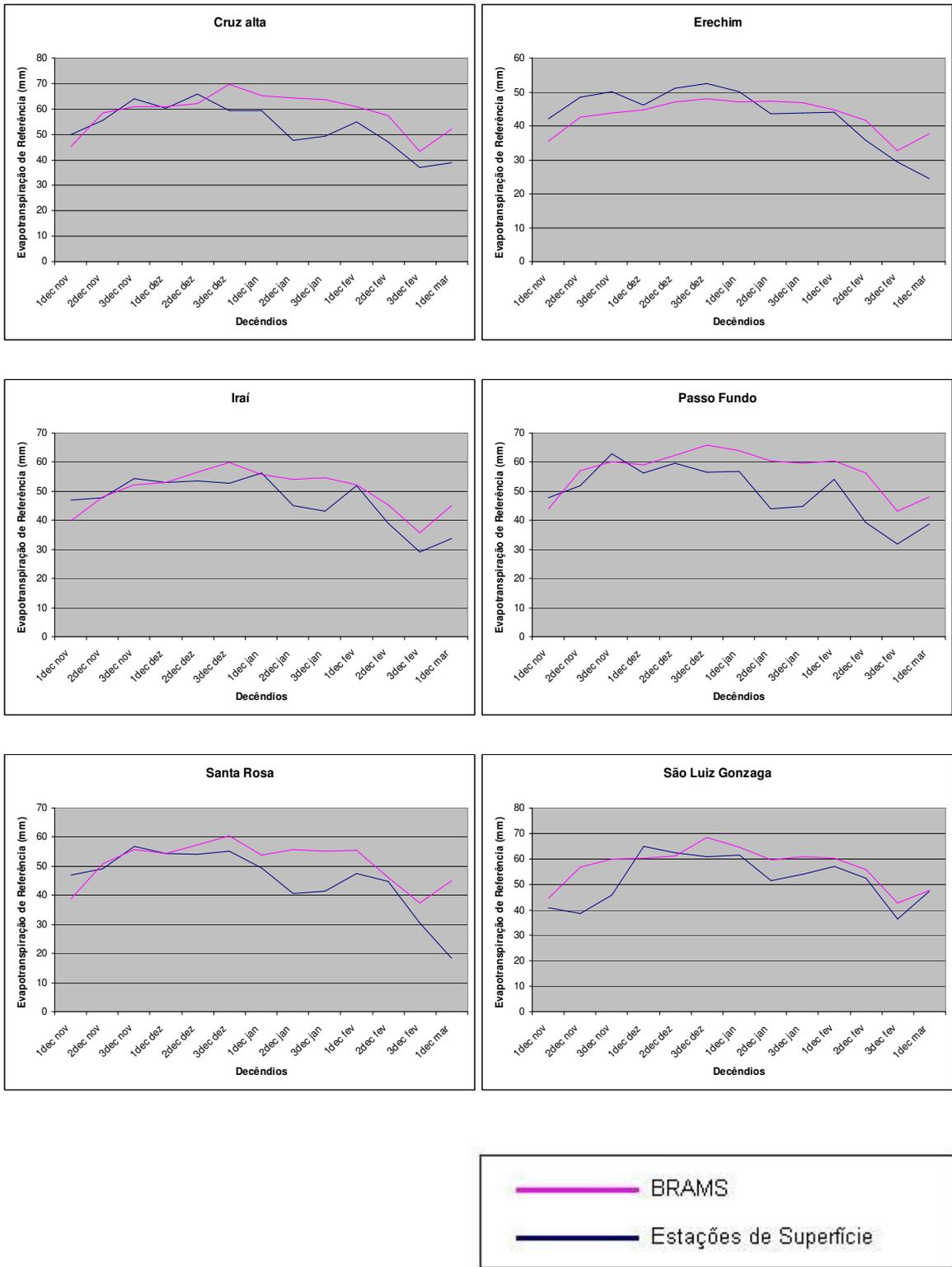


Figura 16. Série temporal de evapotranspiração estimada e simulada para Cruz Alta, Erechim, Iraí, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga.

4.3 Modelagem de rendimento

4.3.1. Parâmetro ETr/ETo

O modelo de estimativa de rendimento testado nesse trabalho utiliza a evapotranspiração relativa (ETr/ETo), atribuindo pesos diferentes para os diferentes períodos do desenvolvimento da cultura de soja no Rio Grande do Sul. Neste caso, considera-se a premissa de que valores deste índice menores do que 0,6 representam alto risco e maiores do que 0,8 representam baixo risco ao rendimento, de acordo com Melo (2003).

As Figuras 17 a 24 apresentam as composições mensais de ETr/ETo obtidas a partir dos dados das estações meteorológicas e pelo BRAMS para a região de estudo ao longo do ciclo da soja. É notável o maior grau de detalhamento espacial na informação de evapotranspiração relativa usando dados de simulações numéricas.

Os meses de janeiro (Figuras 19 e 20) e março (Figuras 23 e 24) apresentaram resultados bastante semelhantes em termos de magnitude e de distribuição espaciais. As maiores diferenças se apresentaram nos meses de dezembro e fevereiro.

Para o mês de dezembro (Figuras 17 e 18) os valores são similares em magnitude, mas espacialmente apresentam grandes diferenças. Usando os dados de estações de superfície, os maiores valores de evapotranspiração relativa encontraram-se na porção mais a oeste da área de estudo, enquanto que, utilizando dados das simulações numéricas, é a leste e nordeste que foram observados os maiores valores de evapotranspiração relativa.

O mês de fevereiro (Figuras 21 e 22), pela importância hídrica para a soja, foi decisivo na diferença final dos valores de estimativa de rendimento. Foi o período em que ocorreram as maiores diferenças de evapotranspiração relativa entre os dois métodos, o que pode ser atribuído principalmente à quantidade de dados espaciais fornecidos pelas simulações. As simulações numéricas não apresentam a queda acentuada de ETr/ETo na porção sul da área de estudo, vista na Figura 21. Apenas pequenos “focos” de baixos valores próximos à região de Cruz Alta (Figura 22). Segundo calendário agrícola médio para esta região (Berlato & Fontana, 1999), no mês de fevereiro a soja encontra-se em pleno florescimento e início de enchimento de grãos, sendo sabidamente o mais sensível à ocorrência de deficiência hídrica (Matzenauer *et al.*, 2002).

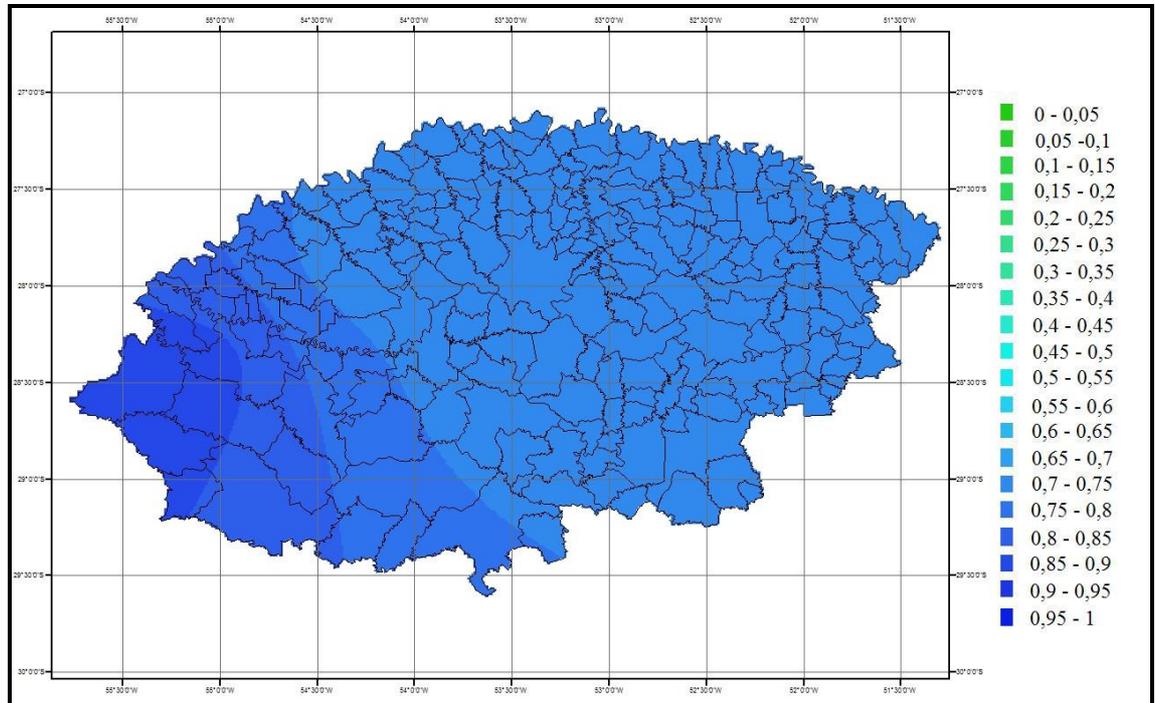


FIGURA 17. Imagem de ETr/ETo para o mês de dezembro utilizando os dados de estações meteorológicas.

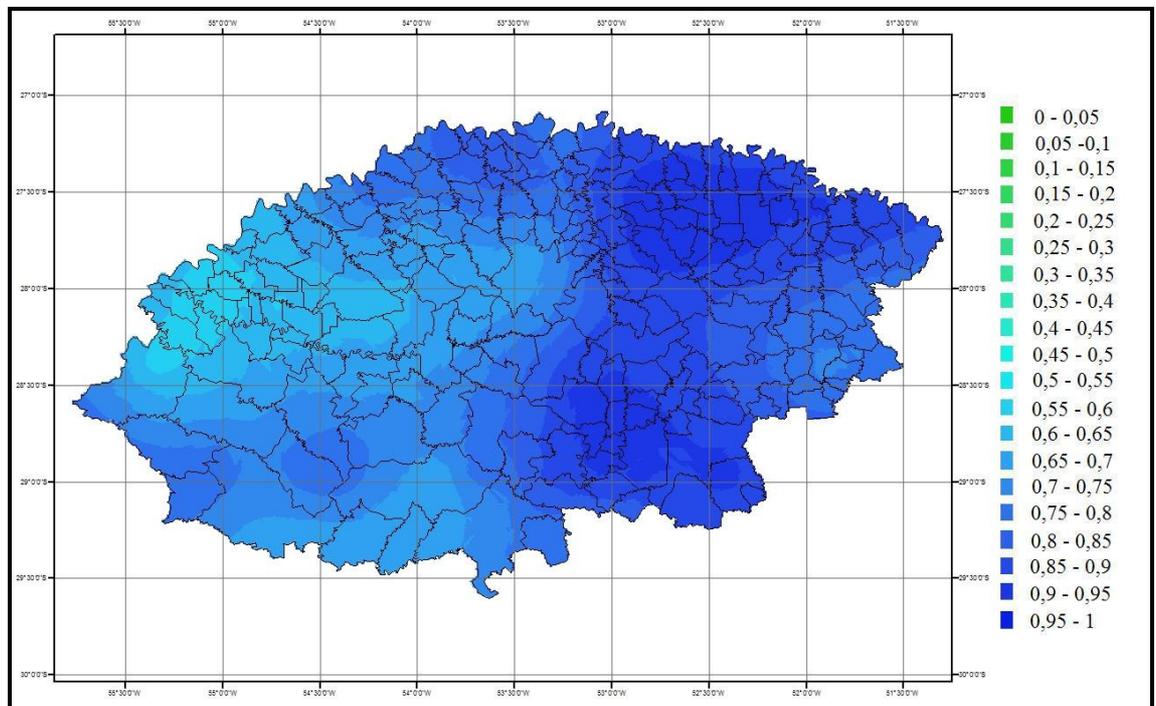


FIGURA 18. Imagem de ETr/ETo para o mês de dezembro utilizando os dados das simulações meteorológicas.

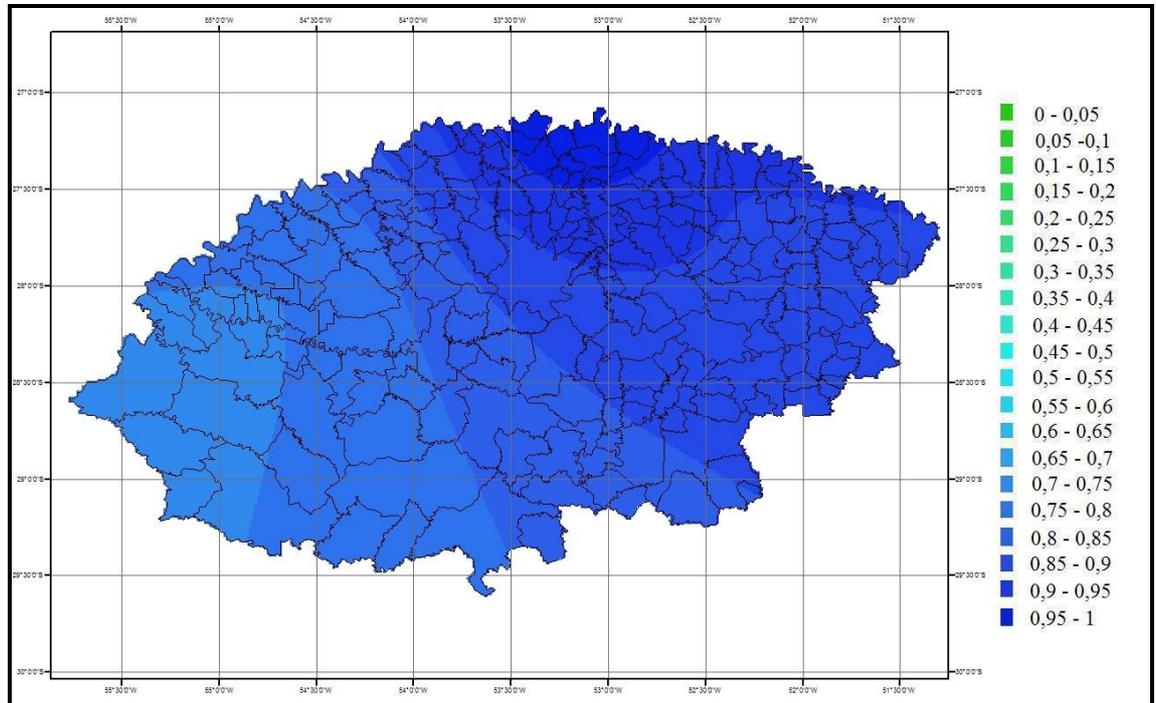


FIGURA 19. Imagem de ETr/ETo para o mês de janeiro utilizando os dados de estações meteorológicas.

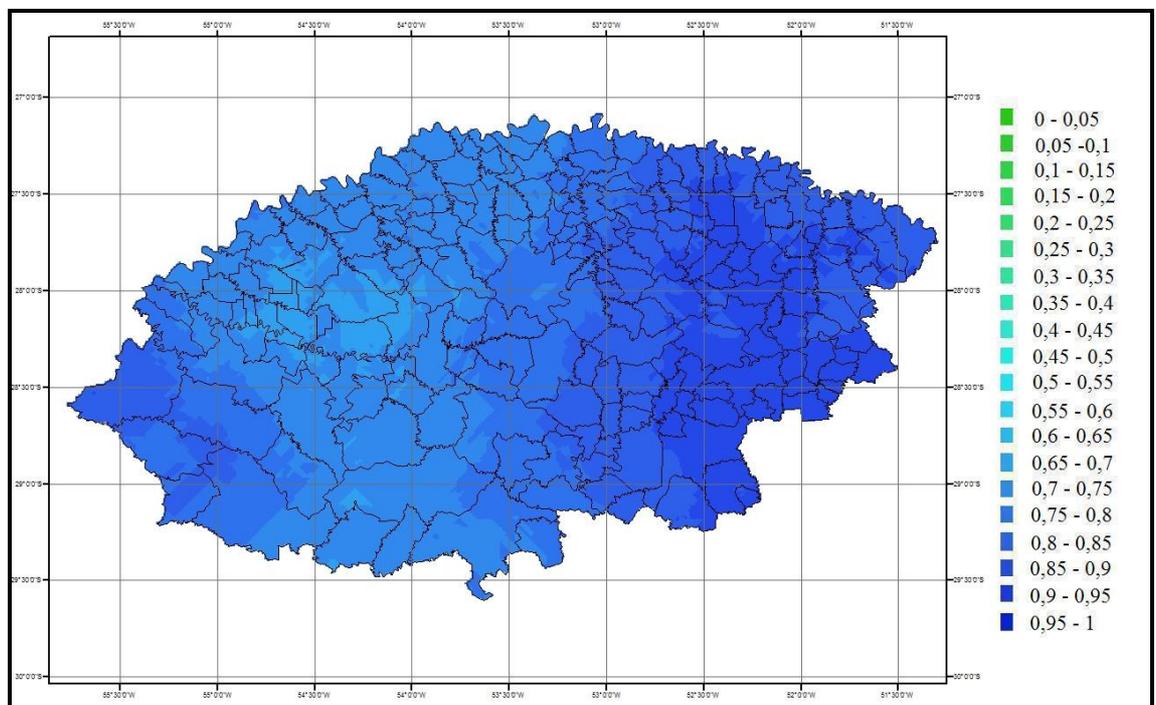


FIGURA 20. Imagem de ETr/ETo para o mês de janeiro utilizando os dados das simulações meteorológicas.

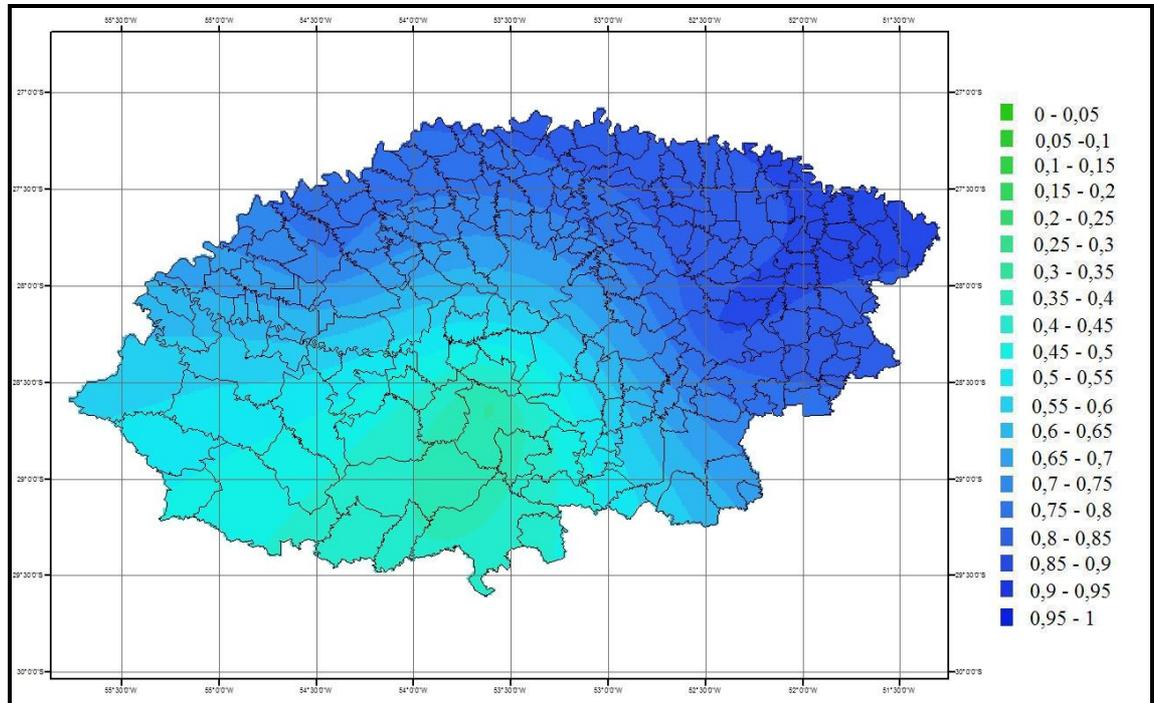


FIGURA 21. Imagem de ETr/ETo para o mês de fevereiro utilizando os dados de estações meteorológicas.

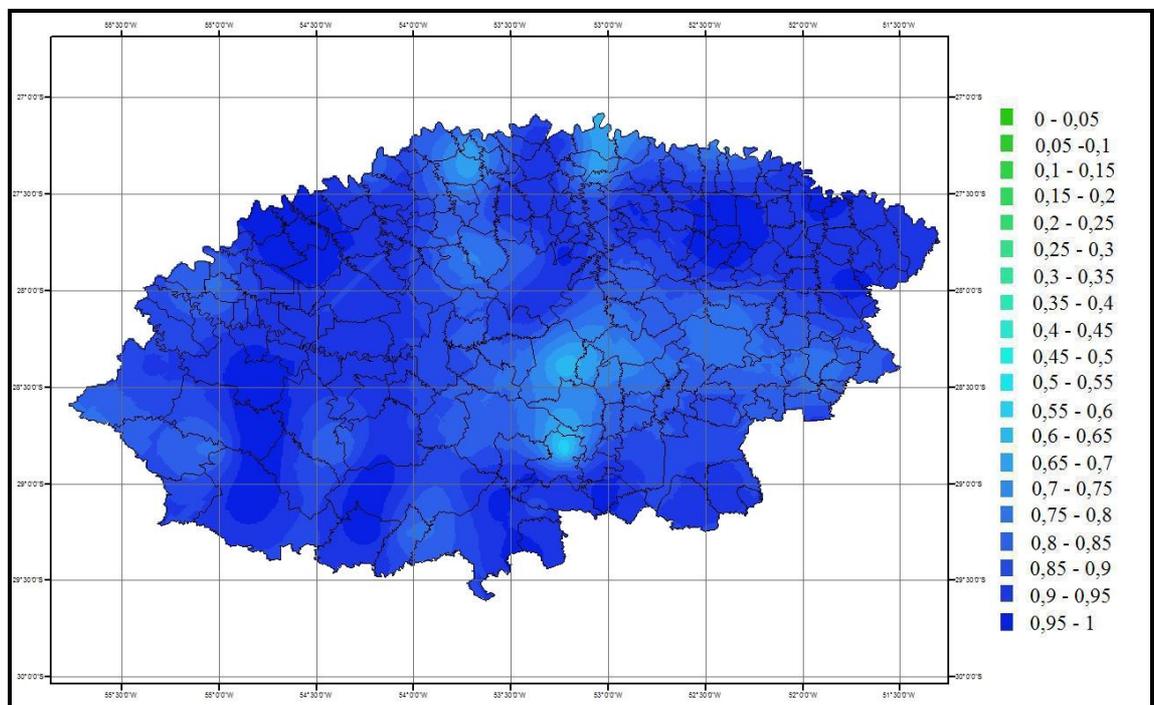


FIGURA 22. Imagem de ETr/ETo para o mês de fevereiro utilizando os dados das simulações meteorológicas.

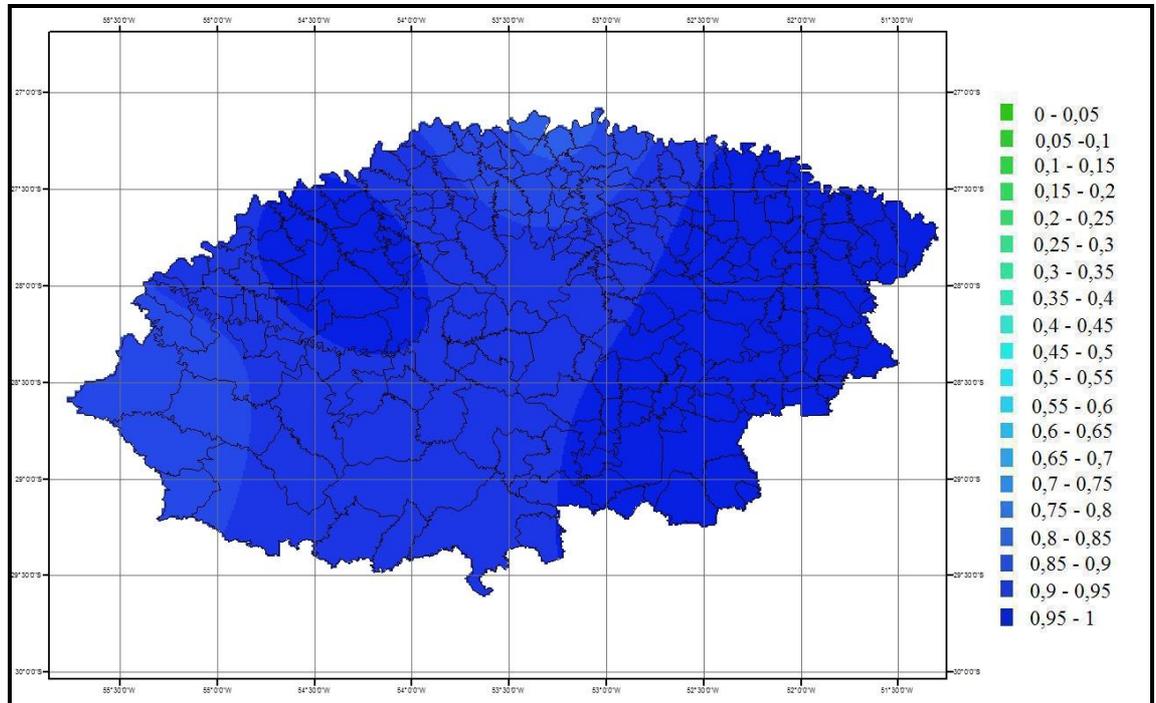


FIGURA 23. Imagem de ETr/ETo para o mês de março utilizando os dados de estações meteorológicas.

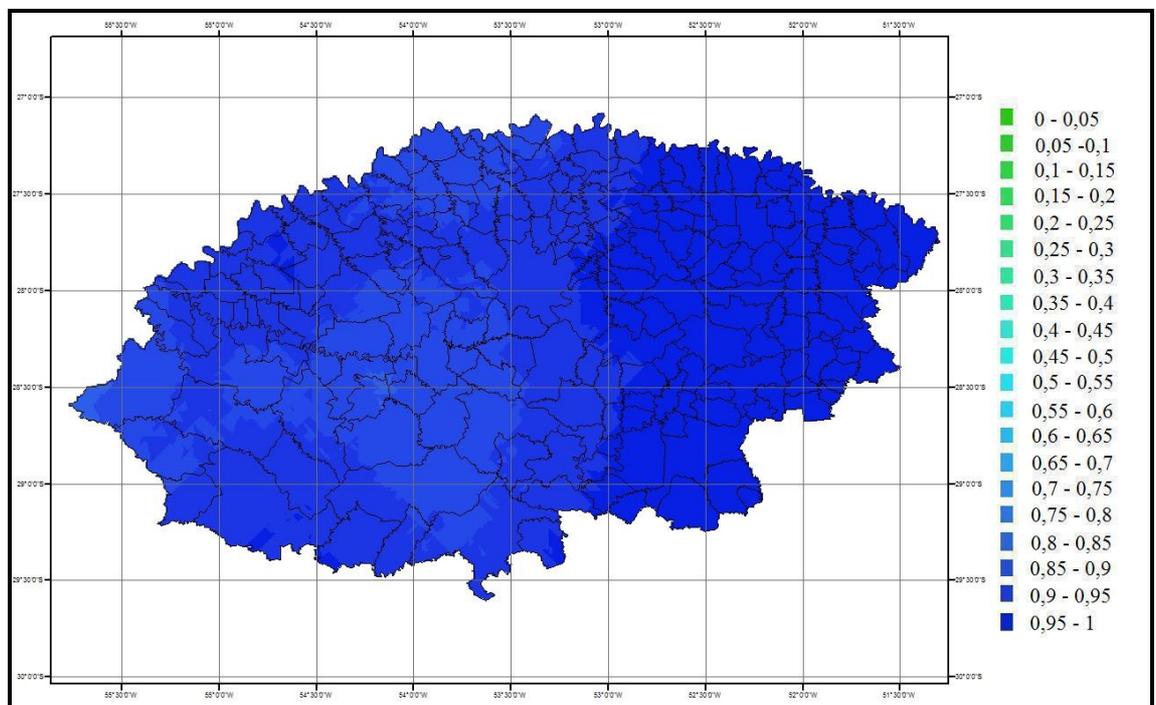


FIGURA 24. Imagem de ETr/ETo para o mês de março utilizando os dados das simulações meteorológicas.

4.3.2 Imagens NDVI

Na Figura 25 está representado o termo espectral do modelo de Bianchi *et al.* (2006), calculado a partir da média das imagens NDVI dos meses de janeiro e fevereiro de 2006. Este termo, segundo Rudorff *et al* (1990), incorpora ao modelo a influência da condição hídrica e também de outros fatores que determinam o crescimento e desenvolvimento como, por exemplo, a forma de plantio, ocorrência de pragas e doenças entre outros, assim como a disponibilidade hídrica para as estimativas do rendimento do cultivo de soja.

Neste trabalho, os valores observados de NDVI oscilaram de 0,45 a 0,9 , sendo maiores especialmente na porção mais central da região de estudo, onde se concentra a maior área de cultivo.

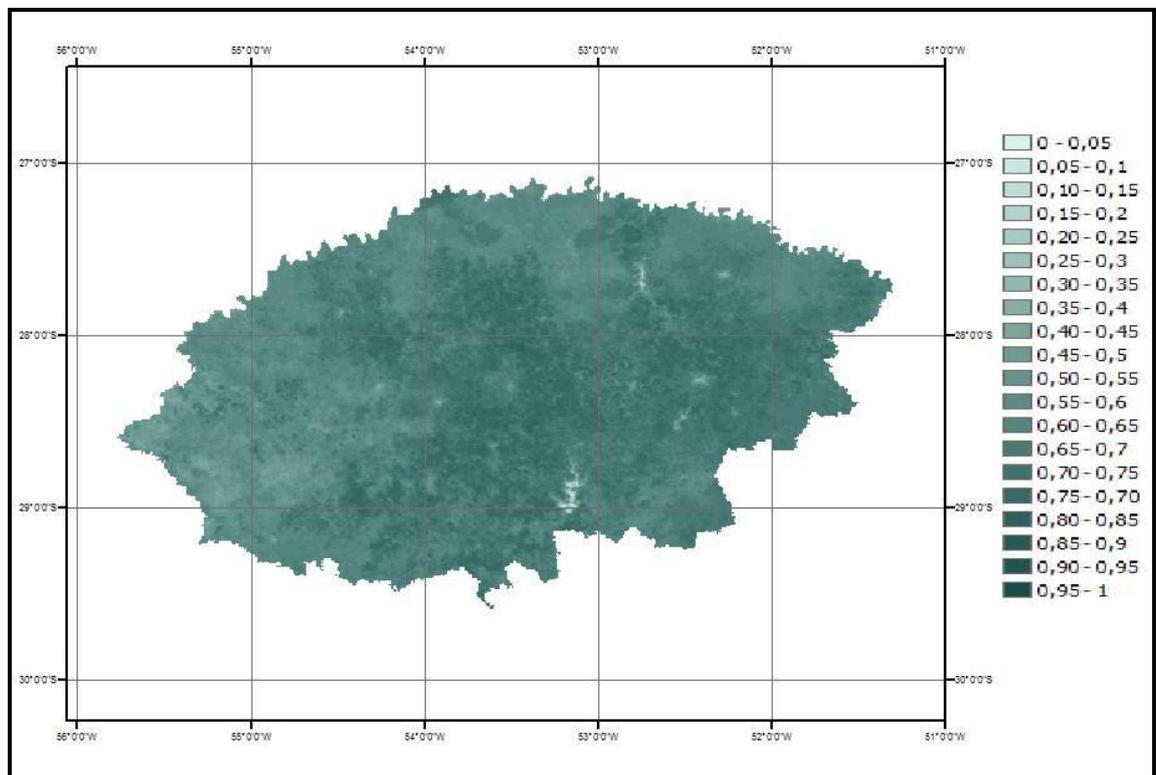


Figura 25. Imagem de NDVI médio para os meses de janeiro e fevereiro.

4.4. Estimativa do rendimento da soja

Para fins de análise foram comparados os mapas com as estimativas de rendimento da soja para a área estudada na safra 2005/2006 através das duas metodologias de obtenção do termo agrometeorológico: dados de superfície e simulação com o BRAMS.

Também, confirmando as afirmações de outros autores (Berlato, 1987; Melo *et al.*, 2003), o BRAMS apresenta ainda uma grande vantagem: a de ser possível conhecer o rendimento com cerca de um mês de antecedência da colheita.

A Figura 26 mostra o mapa de rendimento, calculado utilizando dados de seis estações meteorológicas, através do modelo de Bianchi *et al.* (2006), no qual foi obtida uma média de rendimento de toda a região de estudo de 1.600kg/ha. A diferença de estimativa foi de aproximadamente 18% em relação ao número extra-oficial da CONAB (dado parcial, portanto ainda sujeito a alterações) que foi de 1.935 kg/ha (CONAB, 08/2006).

A porção leste da área de estudo foi a que apresentou os maiores valores de rendimento, o que já era esperado de acordo com as séries históricas, enquanto que a região central apresentou valores intermediários e a região oeste os menores resultados.

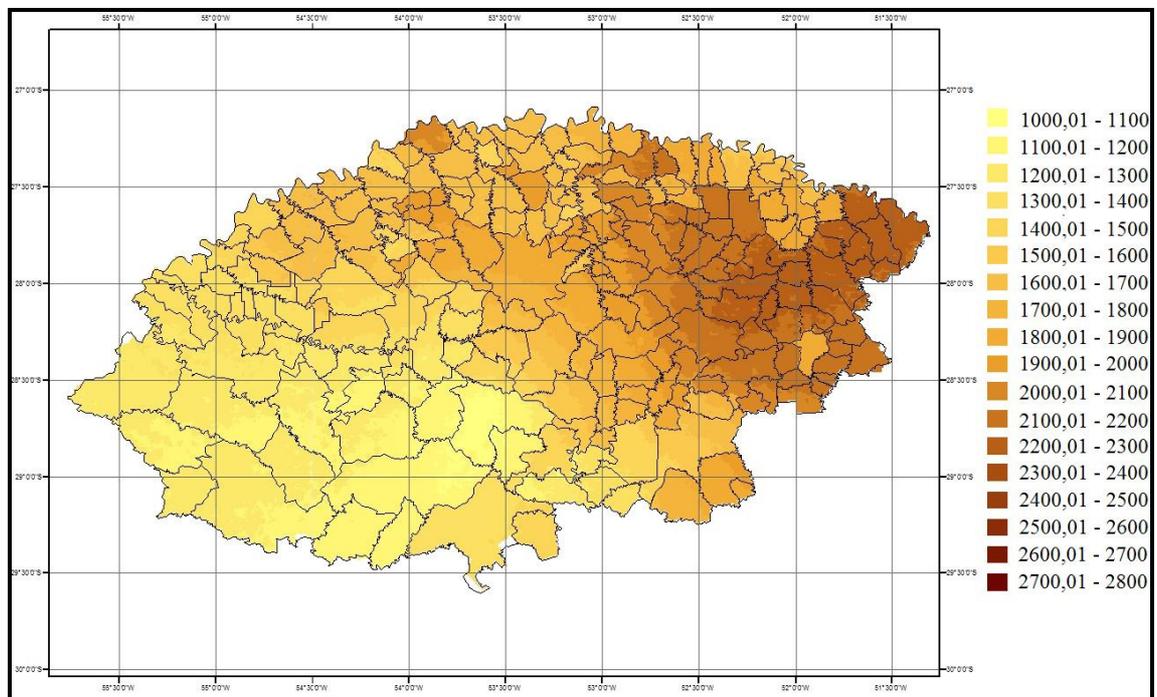


Figura 26. Mapa de rendimento da soja na safra 2005/06 , em kg/ha, para a região de estudo utilizando dados de estações meteorológicas.

A Tabela 8 mostra os valores máximo, mínimo e médio de cada uma das 3 regiões propostas para o cálculo e o desvio padrão das estimativas. A Região 1 foi a que apresentou o maior desvio padrão, o que é um comportamento natural, já que quanto maior a área, maior são os elementos envolvidos que podem alterar os valores do rendimento em torno da média, como por exemplo, o manejo do solo, tipo de solo, topografia...

Tabela 8. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão das estimativas de rendimento realizadas a partir de dados das estações meteorológicas em kg/ha.

	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
Região 1	2246,4	1306,2	1909,7	266,2
Região 2	1909,5	953,6	1431,3	247,2
Região 3	1647,9	1110,2	1312,9	113,3

O mais correto e recomendado seria a inclusão de uma rede mais extensa de estações meteorológicas, pois a informação medida *in loco* sempre será melhor que o dado estimado a partir de laboratório. Mas, enquanto isso não é financeiramente possível, o BRAMS aparece como forte alternativa para contornar o problema.

Utilizando as simulações do BRAMS, a média geral foi de 1.896 kg/ha, resultado próximo ao número oficial (parcial) da CONAB. O resultado mostra que a diferença da estimativa foi de pouco mais de 2%. Ainda assim, o comportamento das 3 regiões foi mantido, tendo a leste os maiores valores de rendimento, à região central valores intermediários e à região oeste os resultados menores como pode ser visto na Tabela 9. Com relação ao desvio padrão, nota-se que as simulações do BRAMS têm um desvio padrão menor quando em comparação com as estimativas das estações, o que indica que as simulações do BRAMS são mais homogêneas.

Tabela 9. Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão das estimativas de rendimento realizadas a partir das simulações pelo BRAMS em kg/ha.

	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
Região 1	2737,7	1721,8	2189,4	171,5
Região 2	2285,8	1303,6	1785,3	148,6
Região 3	1960,3	1072,1	1487,3	109,4

O modelo Agrometeorológico-espectral, usando como variável de entrada para o termo agrometeorológico as simulações numéricas do BRAMS, gera uma

melhora na estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul em relação àquele que usa os dados das estações meteorológicas. Isto muito provavelmente seja devido a melhor representação espacial dos elementos meteorológicos. Salienta-se que a quantidade de recursos financeiros e de pessoal para gerar as simulações através do BRAMS é relativamente pequena, tornando bastante viável a operacionalização do processo. Assim, os dados de entrada para o termo agrometeorológico são os metadados disponibilizados gratuitamente pelo CPTEC-INPE diariamente na forma de arquivos de reanálise de 12 em 12 horas. Para o termo espectral, os dados de entrada são as imagens de NDVI, também disponibilizadas pelo CEPSSRM gratuitamente.

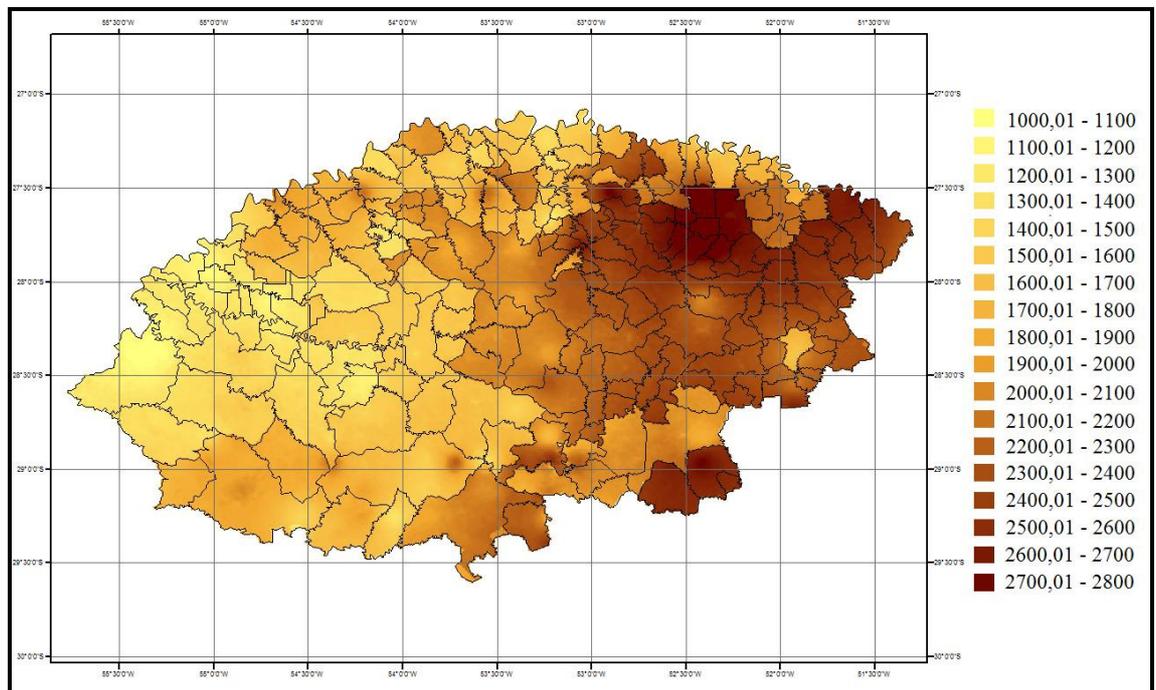


Figura 27. Mapa de rendimento da soja na safra 2005/06, em kg/ha, para a região de estudo utilizando simulações do BRAMS.

Na Figura 28 pode-se visualizar com maior facilidade as diferenças no cálculo do rendimento pelos dois métodos. A região com mais diferença foi a região mais ao sul da área de estudo, o que vem a confirmar a afirmação feita quando foi analisada a evapotranspiração relativa para o mês de fevereiro. Nesta região foram observadas diferenças de rendimentos de até 700kg/ha. As regiões com menores diferenças ocorreram ao norte e a leste da região de estudo. Nota-se que em toda a área existiram “focos” de diferenças, tanto para mais como para menos. Essas diferenças são atribuídas principalmente a maior quantidade de dados espaciais que as simulações do BRAMS fornecem.

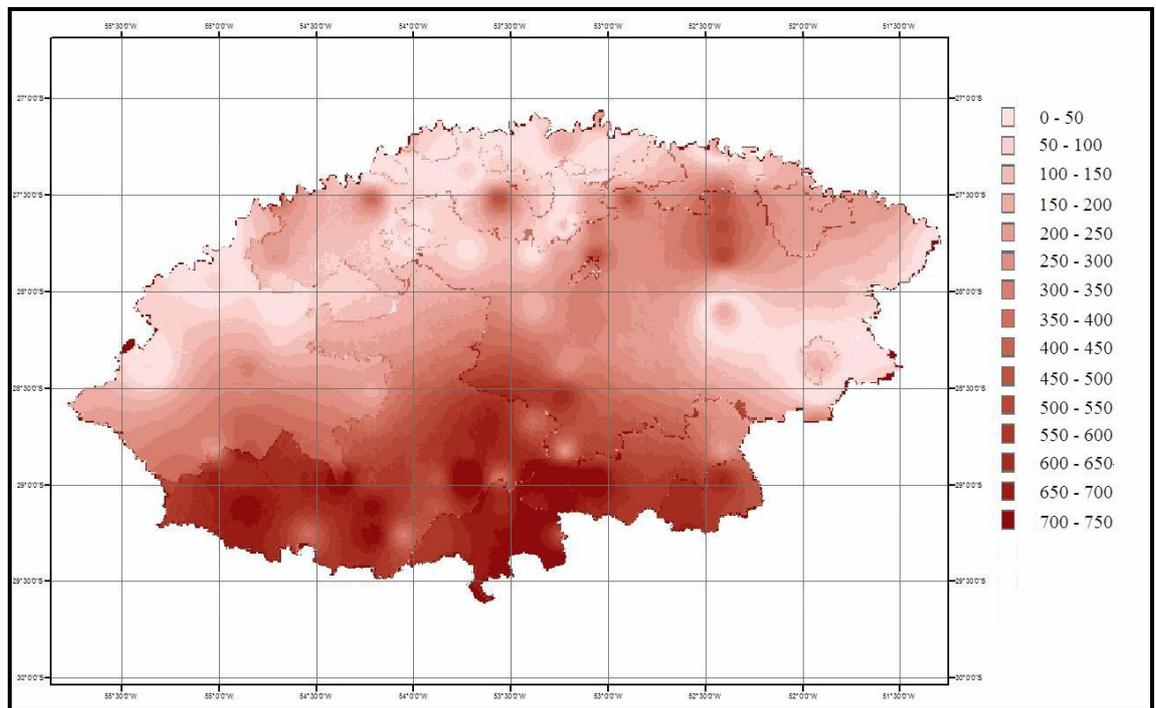


Figura 28. Imagem diferença dos rendimentos calculados pelos dois métodos em kg/ha.

CAPITULO V - CONCLUSÕES

A maioria dos elementos meteorológicos simulados apresenta bons resultados quando comparados com dados medidos, salvo algumas exceções que podem ser explicadas ou por problemas no equipamento de medição, ou por necessidade de refinamento nas parametrizações utilizadas pelo BRAMS.

A simulação da variável evapotranspiração relativa feita pelo BRAMS é acurada, visto que possui valores de correlação significativos em todas as comparações com dados de estações de superfície.

A equação de Penman pode ser acoplada ao modelo na forma de sub rotina, disponibilizando a evapotranspiração de referência como variável de saída do BRAMS. Também, o balanço hídrico ao ser automatizado usando os dados de evapotranspiração de referência e de precipitação pluvial simulados pelo BRAMS, possibilita o cálculo de milhares de pontos simultaneamente.

A comparação com dados parciais de rendimento fornecidos pela CONAB mostra que o modelo agrega qualidade nos resultados e, sendo de fácil manuseio, torna viável a operacionalização do processo. O maior custo é a implementação de um *cluster* computacional, visto que a demanda de processamento de informação é grande. Porém, uma vez instalado, o gasto passa a ser apenas operacional e de manutenção de equipamento, visto que os arquivos de entrada são gratuitos, e o pós-processamento das informações é fácil e prático.

CAPITULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

Como sugestão para trabalhos futuros, pode se testar a utilização de grades do BRAMS cada vez menores a fim de aumentar ainda mais a resolução espacial da evapotranspiração relativa; a utilização de imagens MODIS, com o mesmo intuito, a fim de se obter estimativas de rendimento com cada vez maior acurácia; também podem se utilizar modelos digitais de terreno para melhorar a topografia e, conseqüentemente, as estimativas de precipitação pluvial.

Ainda como sugestão, está a utilização de capacidades de armazenamento de água no solo variáveis para os diferentes tipos de solo e períodos da cultura, o que pode aumentar a acurácia do balanço hídrico e, conseqüentemente, da evapotranspiração relativa e estimativa do rendimento.

Existe ainda a necessidade de confrontar os dados estimados, em nível municipal pelo modelo agrometeorológico-espectral com dados de lavouras, visto que a comparação foi feita apenas com os dados também estimados pela CONAB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, M. F. Estudo da eficiência das parametrizações convectivas na simulação de eventos severos ocorridos no Brasil, utilizando o BRAMS. Dissertação de mestrado, UFPEL, 2005.
- BARNES, S. L. A Technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, 396-409, 1964.
- BARNI N.A. Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica. Porto Alegre, 1994. Tese (doutorado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia/UFRGS. 249p.
- BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y.E.; LAWRENCE, W.T. Monitoramento da cobertura vegetal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993. Curitiba. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993, p 30-37.
- BERLATO M. A. (1987) Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico par ao estado do Rio Grande do Sul. São José dos Campos, 1987. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 93p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual de precipitação pluvial e rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p.119-125, 1999.
- BIANCHI, C.A.M.; FONTANA, D.C.; MELO, R.W. Estimativa do rendimento da Soja no Rio Grande do Sul, usando um modelo agrometeorológico-espectral regionalizado, 2006 (encaminhado para publicação).
- BRAZIL, C. S. Utilização de imagens de satélite e modelagem numérica para o estudo da dispersão de poluentes nas usinas termoeletricas de charqueadas e são jerônimo. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2005.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras**. Disponível em <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 22/04/2006 e 08/08/2006.
- COSTA, J.A. Cultura da soja. Ciclo fenológico dos cultivares de soja para o Rio Grande do Sul. Porto Alegre: ed. Evangraf, 1996. 233 p.
- CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.) *Agrometeorologia aplicada á irrigação*. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 1992. 95p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ). Sistema Brasileiro de classificação de solos, Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS,1999. 412p.

- FARIAS, S.J.S. Aplicação do modelo RAMS para o estudo de um vórtice ciclônico que atingiu o município de Viamão-RS. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2005.
- FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.1, p.87-91,1996.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELO, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, n.3. p.399-403. 2001.
- FONTANA, D. C; BERLATO, M. A. El Niño e La Niña. Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul. *Aplicações de previsões climáticas na agricultura*. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. v. 1000. 110 p.
- JENSEN, M.E. Water consumptions by agricultural plants. In: KOZLOWSKY, T.T.; (ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- JENSEN, M.W.; BURMAN R.D.; ALLEN R.D. *et al.* Evapotranspiration and irrigation water requirements New York: American Society of civil Engineers, 1990. 329p.
- KÖPPEN, W. **Climatología**. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948. 71p.
- MATZENAUER, R. *et al.* Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 2002. 105p. (Boletim FEPAGRO,10).
- MELO R. W. (2003) *Desenvolvimento de um modelo agrometeorológico espectral de estimativa do rendimento da soja para o estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS. 82p, 2003. Tese (Mestrado) Programa de Pós graduação em Fitotecnia.
- MENESES, P. R. ; NOVO, E. M. L. M. ; MADEIRA NETTO, J. S. ; GALVÃO, L. S. ; PONZONI, F. J. ; FERREIRA, L. G. . Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. 1. ed. Brasil: Editora UnB, 2001. v. 1. 262 p.
- MESINGER, F., ARAKAWA, A., 1976. Numerical Methods used in Atmospheric Models. GARP Publications Series, n° 14, WMO/ICSU Joint Organizing Committee, 64 pp.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio grande do Sul. 30p. 1961.
- MOTTA, J.L.G.; FONTANA, D.C.; WEBER, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por *pixels* com proporções variáveis de soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 2002. Enviado para publicação.
- PAZ, S. R. Simulação numérica da atmosfera utilizando modelo digital de superfície para o estudo de dispersão de poluentes na região de Candiota Dissertação de mestrado, UFRGS, 2004.

- PENMAN H.L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. Proceeding of the Royal Society of London, v.A193, p.120-146, 1948.
- PINTO, L. B. Estudo de um SCM observado nos dias 19 e 20/02/2003 sobre o RS. Dissertação de mestrado, UFPEL, 2005.
- PRIESTLEY C.H.B.; TAYLOR R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly weather review, v.100, p.81-92, 1972).
- RIBEIRO, G. G. Situações atmosféricas que propiciam as marés meteorológicas. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2003.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da agricultura e abastecimento. Centro Nacional de Pesquisa do trigo. Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1994, v.2.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul.** São José dos Campos: INPE, 2004. 212p. Tese (Doutorado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Spectral Response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.31, p.53-63, 1990a
- SCHUSTER, D. S. COODETEC – COOPERATIVA CENTRAL DE PESQUISA AGRÍCOLA – História da Soja. Disponível em <http://www.coodetec.com.br/sojasaude/historia.htm>. Acesso em 03/02/2006
- SIMÕES, D. S. análise de eventos tornádicos ocorridos no Rio Grande do Sul utilizando imagens dos satélites GOES e METEOSAT e o modelo regional RAMS. Dissertação de mestrado. UFRGS, 2005.
- SOBRINO, J.A.; CASELLES, V. COLL, C. Theoretical split-window Algorithms for Determining the Actual Surface Temperature. *Il nuovo Cimento*, Verona, v.16C,n.3,p219-236,1993.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water budget and its use in irrigation. In. THE YEARBOOK OF AGRICULTURE: Water. Washington, D.C.: Department of Agriculture,1955. p.346-58.
- TREMBACK, C. J., Numerical simulation of a mesoscale convective complex model development and numerical results. Ph.D. dissertation, Atmos. Sci. Paper No. 465, Dep. of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, 247pp, 1990.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e climatologia. INMET, Ministério da Agricultura e Abastecimento. Brasília: Stilo, 2000.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J. RAMS regional atmospheric modeling system version 5.0, model input namelist parameters. Document edition 1.1, 2002.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; PANETTA J.; FREITAS S.; FAZENDA A. L. RAMS/BRAMS regional atmospheric modeling system version 5.0, model input namelist parameters. Document edition 2.0, 11/2002

ANEXO 1 - RAMSIN

```

$MODEL_GRIDS
! Dia 23/05 mudança na difusão (tipo 2 + CSZ=0,35)
! Simulation title (64 chars)
EXPNAME = 'Version 3b CPTEC',

IOTYPE = 0, ! -1=diagnostic, 0=normal run

RUNTYPE = 'HISTORY', ! type of run: MAKESFC, INITIAL, HISTORY, or MAKEVFILE

TIMEUNIT = 'h', ! 'h','m','s' - Time units of
! TIMMAX, TIMSTR, VTIME

TIMMAX= 132., ! Final time of simulation

NGRIDS = 3, ! Number of grids to run

NNXP = 52,62,70,74, ! Number of x gridpoints
NNYP = 52,62,70,1, ! Number of y gridpoints
NNZP = 27,27,27,30, ! Number of z gridpoints
NNZG = 6,6,6,11, ! Number of soil gridpoints

NXTNEST = 1, 1, 1, 3, ! Grid number which is the next
! coarser grid

! Coarse grid specifications

IHTRAN = 1, ! 0-Cartesian, 1-Polar stereo
DELTAX = 16000.,
DELTAY = 16000., ! X and Y grid spacing

DELTAZ = 100., ! Z grid spacing (set to 0. to use ZZ)
DZRAT = 1.2, ! vertical grid stretch ratio
DZMAX = 1000., ! maximum delta Z for vertical stretch

ZZ=0., 25., 75., 150., 250., 500., 750., 1000., 1500., 2000., 2500.,
3250., 4000., 5000., 6000.,
! Vertical levels if DELTAZ = 0

DTLONG = 50., ! Coarse grid long timestep
NRATIO = 3, ! Small timestep ratio

IMONTH1 = 03,
IDATE1 = 11,
IYEAR1 = 04,
STRTIM = 00.0, ! GMT of model TIME = 0.

! Nest ratios between this grid
! and the next coarser grid.
NSTRATX = 1, 4, 4, 4, ! x-direction
NSTRATY = 1, 4, 4, 4, ! y-direction
NNDTRAT = 1, 4, 4, 3, ! time

NESTZ = 0, ! contort coarser grids if negative
NSTRATZ=1,1,3,3,3,3,2,2,2,2,1,1,1,1, !

POLELAT = -31.5, ! Latitude of pole point
POLELON = -53.5, ! Longitude of pole point

CENTLAT= -31.5, -31.5, -31.5,-33.3,
CENTLON= -53.5, -53.5, -53.5, -53.8,

! Grid point on the next coarser
! nest where the lower southwest
! corner of this nest will start.
! IF NINEST or NJNEST = 0, use CENTLAT/LON
NINEST = 1, 0, 0, 0, ! i-point
NJNEST = 1, 0, 0, 0, ! j-point
NKNEST = 1, 1, 1, 1, ! k-point

NNSTTOP = 1, 1, 1, 1, ! Flag (0=no or 1=yes) if this
NNSTBOT = 1, 1, 1, 1, ! nest goes the top or bottom of the
! coarsest nest.

```

```

GRIDU  = 0., 0., 0., 0.,      ! u-component for moving grids
GRIDV  = 0., 0., 0., 0.,      ! v-component for moving grids
                                ! (still not working!)(Ja' trabalhando!)

$END

$MODEL_FILE_INFO

      ! History file input

TIMSTR= 36.,      ! time of history start (see TIMEUNIT)
HFILIN = 'histcpt36h', ! input history file name

      ! History/analysis file output

IOUTPUT= 1,      ! 0-no files, 1-save in ASCII, 2-save in binary
HFILOUT='histcpt', ! history file prefix
AFILOUT='rcpt', ! analysis file prefix
HFUNITS='h',      AFUNITS='h',      ! history/anal file units (M,m,H,h,S,s)
FRQHIS =10800.,   FRQANL =3600.,    ! history/anal file frequency (sec only)

      ! Variable initialization input

INITIAL = 2,      ! Initial fields - 1=horiz.homogeneous, 2=variable

VTIME  = 00,12,24,36,48,60,72,84,96,108,120,132 ! model times for varfiles (See
TIMEUNIT)
VARFIL = 'iv11-mar-04-00',
          'iv11-mar-04-12',
          'iv12-mar-04-00',
          'iv12-mar-04-12',
          'iv13-mar-04-00',
          'iv13-mar-04-12',
          'iv14-mar-04-00',
          'iv14-mar-04-12',
          'iv15-mar-04-00',
          'iv15-mar-04-12',
          'iv16-mar-04-00',

IVWIND = 0,      ! initial winds ( only 0 works)

NUDLAT = 5,      ! number of points in the lateral bnd region
TNUDLAT = 10800., ! nudging time scale (s) at lateral boundary
TNUDCENT = 0.,   ! nudging time scale (s) in center of domain
TNUDTOP = 10800., ! nudging time scale (s) at top of domain
ZNUDTOP = 16800., ! nudging at top of domain above this height (m)

      ! Printed output controls

FRQPRT = 10800., ! Printout frequency
FRQIPR = 86400., ! Integral print frequency
FRQIST = 86400., ! Integral store frequency

ISTPFL = 10,    ! Timestep message frequency flag
INITFLD = 1,    ! Initial field print flag 0=no print, 1=print
INPRTFL = 1,    ! Namelist print flag 0=no print, 1=print

      ! Input topography variables

SFCFILES = 'NONE', ! File path and prefix for surface characteristic
                                ! files.

ITOPTFLG = 1,1,1,1,2, ! 2 - Fill data in "ruser"
IPCTLFLG = 1,1,1,1,2, ! 1 - Interp data from latlon dataset
ISSTFLG = 1,1,1,1,0, ! 0 - Interpolate from coarser grid
IVEGTFLG = 2,2,2,2,1,

                                !
                                ! The following only apply for IxxxxFLG=1
                                !
ITOPTFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/topo10m/H',
          '/usr/local/rams/rams4a/data/topo10m/H',
          '/usr/local/rams/rams4a/data/topo10m/H',
IPCTLFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/pctl10m/L',
          '/usr/local/rams/rams4a/data/pctl10m/L',
          '/usr/local/rams/rams4a/data/pctl10m/L',

```

```

ISSTFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/sst/S',
        '/usr/local/rams/rams4a/data/sst/S',
        '/usr/local/rams/rams4a/data/sst/S',
IVEGTFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/usgs/DATA/V',
        '/usr/local/rams/rams4a/data/usgs/DATA/V',
        '/usr/local/rams/rams4a/data/usgs/DATA/V',

SILAVWT = 0.0, 1.0, 0.,0.,           ! Weighting of topo silhouette averaging
TOPTWVL = 4.0, 2.0, 4.,4.,           ! Topo wavelength cutoff in filter
PCTLWVL = 2.0, 2., 2.,2.,           ! Land pct wavelength cutoff in filter
SSTWVL = 2.0, 2.0, 2.0,2.0,         ! Land pct wavelength cutoff in filter

MKCOLTAB = 0,           ! make microphysics collection table: 0 = no, 1 = yes
COLTABFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/micro/ct2.0',           ! collection table filename
to read or
write
EVPTABFN = '/usr/local/rams/rams4a/data/micro/et2.0',           ! evaporation table filename
to read

$END

$MODEL_OPTIONS

NADDSC = 0,0,0,0,           ! Number of additional scalar species (<= 5)

NTOPSMTH = 0,           ! Number of passes for topography smoother
IZFLAT = 0,           ! Width of flat margin around domain (in grid points)

! Numerical schemes

ITMDIFF = 3,           ! 1=forward, 2=leapfrog, 3=hybrid
NONHYD = 1,           ! nonhydrostatic=1, hydrostatic=0
SSPCT = 0.5,           ! Sound speed fraction for the nonhydrostatic model
IMPL = 1,           ! Implicit flag for acoustic model - 0=off, 1=on
ICNTEQ = 2,           ! Hyd - continuity equation - 1 -incomp, 2 -anelastic
WTKD = 0.,           ! Klemp/Durran - current timestep weighting

ICORFLG = 1,           ! Coriolis flag/2D v-component - 0=off, 1=on

IBCTOP = 0,           ! top boundary condition
! 0-wall on top(nonhyd) 2-prognostic sfc prs(hyd)
! 1-Klemp-Durran(nonhyd/hyd) 3-material surface(hyd)

IBND = 2,           ! Lateral boundary condition flags
JBND = 2,           ! 1-Klemp/Wilhelmson, 2-Klemp/Lilly, 3-Orlanski
! 4-cyclic
CPHAS = 20.,           ! Phase speed if IBND or JBND = 1
LSFLG = 1,           ! Large-scale gradient flag for variables other than
! normal velocity:
! 0 = zero gradient inflow and outflow
! 1 = zero gradient inflow, radiative b.c. outflow
! 2 = constant inflow, radiative b.c. outflow
! 3 = constant inflow and outflow
NFPT = 0,           ! Rayleigh friction - number of points from the top
DISTIM = 400.,           ! - dissipation time scale

TIMSCL = 0.,           ! Initial wind spin-up - time scale
KSPIN = 33,           ! - below this level (velocity)
KMSPIN = 10,           ! - below this level (momentum)

IPRSPLT = 1,           ! precipitation time-split scheme - 0=off, 1=on
IADVL = 2,           ! Order of advection - Leapfrog - 2 or 4
IADV = 2,           ! Order of advection - Forward - 2 or 6
IPGRAD = 1,           ! Pressure gradient scheme for topo.: 1-transform
! 2-interpolate
FILT4 = 000.,           ! Fourth order filter coefficient (0 - off)
! (> 0 timestep at which 2 delta waves are
! totally removed)
FXLONG = 0.0000,           ! Long filter coefficient 0=off
FYLONG = 0.0000,           ! Long filter coefficient 0=off

! Radiation parameters

ISWRTP = 2,           ! Shortwave radiation type 0-none, 2-Mahrer/Pielke, 1-Chen
ILWRTP = 2,           ! Longwave radiation type 0-none, 2-Mahrer/Pielke, 1-Chen
RADFRQ = 1800.,           ! Frequency of radiation tendency update in seconds
LONRAD = 1,           ! Longitudinal variation of shortwave (0=no, 1=yes)

```

```

! Cumulus parameterization parameters

NNQPARM = 1, 1, 0, 0,          ! convective parameterization flag
                                ! 0-off, 1-on
CONFRQ = 1200.,              ! Frequency of conv param. updates in seconds
WCLDBS = .0005,              ! vertical motion needed at cloud base for convection

! Surface layer and soil parameterization

ISFCL = 1,                    ! surface layer/soil/veg model
                                ! 0-specified surface layer gradients
                                ! 1-soil/vegetation model

NVGCON = 2,                    ! Vegetation type
                                ! 1 -- Crop/mixed farming          2 -- Short grass
                                ! 3 -- Evergreen needleleaf tree  4 -- Deciduous needleleaf tree
                                ! 5 -- Deciduous broadleaf tree   6 -- Evergreen broadleaf tree
                                ! 7 -- Tall grass                8 -- Desert
                                ! 9 -- Tundra                    10 -- Irrigated crop
                                !11 -- Semi-desert              12 -- Ice cap/glacier
                                !13 -- Bog or marsh             14 -- Inland water
                                !15 -- Ocean                    16 -- Evergreen shrub
                                !17 -- Deciduous shrub          18 -- Mixed woodland

TSEASN = 295.,                ! Average seasonal temp
TVGOFF = 0.,                  ! Initial veg temp offset
VWTRCON = .000,               ! Initial veg water storage (not working)

UBMIN = 0.1,                  ! Minimum U value to use in computing U_*
PCTLCON = 1.0,                ! constant land percentage if for all domain
NSLCON = 6,                   ! constant soil type if for all domain
                                ! 1=sand          2=loamy sand      3=sandy loam
                                ! 4=silt loam       5=loam              6=sandy clay loam
                                ! 7=silty clay loam 8=clay loam        9=sandy clay
                                ! 10=silty clay    11=clay            12=peat

ZROUGH = 0.05,                ! constant roughness if for all domain
ALBEDO = 0.2,                 ! constant albedo when not running soil model
SEATMP = 290.,                ! constant water surface temperature

DTHCON = -10.,                ! constant surface layer temp gradient for no soil
DRTCON = .000,                ! constant surface layer moist gradient for no soil
SOILDZ = 0.,                  ! soil model grid spacing
SLZ = -.80,-.40,-.20,-.10,-.05, 0., ! soil grid levels
SLMSTR = 0.45, 0.45, 0.45, 0.50, 0.55, 0.55, ! initial soil moisture

STGOFF= 0., 0., 0., 0., 0., 0.,
                                ! Initial soil temperature offset from lowest
                                ! atmospheric level

! Eddy diffusion coefficient parameters

IDIFFK = 1,1,1,1,1,          ! K flag:
                                ! 1 - Horizontal deformation/ Vertical Mellor-Yamada
                                ! 2 - Anisotropic deformation (horiz and vert differ)
                                ! 3 - Isotropic deformation (horiz and vert same)
                                ! 4 - Deardorff TKE (horiz and vert same)

CSX = .20,.20,.20,.20,.20, ! Adjustable parameter, deformation horiz. K's coefficient
CSZ = .35,.35,.20,.20,.20, ! Adjustable parameter, deformation vert. K's coefficient
XKHKM = 3.,3.,3.,3.,3.,    ! Ratio of horizontal K_h to K_m for deformation
ZKHKM = 3.,3.,3.,3.,3.,    ! Ratio of vertical K_h to K_m for deformation
AKMIN= 1.0,1.0,1.0,2.0,1., ! Ratio of minimum horizontal eddy viscosity coefficient
                                ! to typical value from deformation K

! Microphysics

NLEVEL = 3, 3, 3,3,1,        ! moisture complexity level
INUCPRG = 0, 0, 0,0,0,        ! Prognose ice nuclei (0-no, 1-yes)

ICLOUD = 1, 1, 1,0,0,        ! Microphysics flags
IRAIN = 1, 1, 1,0,0,         !-----
IPRIS = 1, 1, 1,0,0,         ! 0 - no species
ISNOW = 1, 1, 1,0,0,         ! 1 - diagnostic concen.
IAGGR = 1, 1, 1,0,0,         ! 2 - specified mean diameter
IGRAUP = 1, 1, 1,0,0,        ! 3 - specified y-intercept
IHAIL = 1, 1, 1,0,0,         ! 4 - specified concentration
                                ! 5 - prognostic concentration

CPARM = .3e9, .3e9, 0., 0., 0.,

```

```

RPARM = .1e-2, .1e-2, 0., 0., 0., ! Microphysics parameters
PPARM = 0., 0., 0., 0., 0., !-----
SPARM = .1e-2, .1e-2, 0., 0., 0., ! Characteristic diameter,
APARM = .1e-2, .1e-2, 0., 0., 0., ! number concentration, or
GPARM = .1e-2, .1e-2, 0., 0., 0., ! y-intercept
HPARM = .3e-2, .3e-2, 0., 0., 0.,

AMIO = 1.e-12, ! minimum crystal mass (kg)

! gnus for: cloud rain pris snow aggr graup hail
GNU = 2., 2., 2., 2., 2., 2., 2., ! gamma shape parms

$END

$MODEL_SOUND
! Sounding specification

! Flags for how sounding is specified

IPSFGL=1, ! specifies what is in PS array
! 0 - pressure (mb), 1 - heights (m), PS(1)=sfc press(mb)

ITSFGL=2, ! specifies what is in TS array
! 0 - temp(C), 1 - temp(K), 2 - pot. temp(K)

IRTSFGL=3, ! specifies what is in RTS array
! 0 - dew pnt.(C), 1 - dew pnt.(K), 2 - mix rat(g/kg)
! 3 - relative humidity on %, 4 - dew pnt depression(K)

IUSFGL=0, ! specifies what is in US and VS arrays
! 0 - u,v component(m/s), 1 - umoms-direction, vmoms-speed

IUSRC = 0, ! source of wind profile:
! 0 - umoms, vmoms, valid at sounding levels (PS)
! -1 - usndg, vsndg, valid at model levels (Z)

HS = 0.,

PS = 1000.,1000.,2000.,3000.,4000.,6000.,8000.,10000.,15000.,20000.,25000.,

TS = 298.,301.,304.,307.,310.,316.,322.,326.,376.,426.,476.,

RTS = 60.,60.,60.,60.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,

US = -5., -5., -5., -5., -5., -5., -5., -5., -5., -5., 5.,

VS = 0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,

USNDG = 0., ! Wind components if IUSRC= -1
VSNDG = 0., !

KMEAN1 = 0, ! lower model level for calculation of (umean,vmean)
KMEAN2 = 0, ! upper model level for calculation of (umean,vmean)

UMEAN = 0.0, ! u-component for Galilean transformation
VMEAN = 0.0, ! v-component for Galilean transformation

$END

$MODEL_PRINT
! Specifies the fields to be printed during the simulation

NPLT = 1, ! Number of fields to be printed at each time
! for various cross-sections (limit of 50)

IPLFLD = 'TEMP', ! Field names - see table below

! PLFMT(6) = '0PF7.2', ! Format specification if default is unacceptable

IXSCTN = 3,3,3,3,3,3,3, ! Cross-section type (1=XZ, 2=YZ, 3=XY)

ISBVAL = 2,2,2,2,2,2,2, ! Grid-point slab value for third direction

! The following variables can also be set in the $PRNT namelist: IAA,
! IAB, JOA, JOB, NAAVG, NOAVG, PLTIT, PLCONLO, PLCONHI, and PLCONIN.

$END

```

```

C   'UP'   - UP (M/S)      'RC'   - RC (G/KG)      'PCPT' - TOTPRE
C   'VP'   - VP (M/S)      'RR'   - RR (G/KG)      'TKE'  - TKE
C   'WP'   - WP (CM/S)     'RP'   - RP (G/KG)      'HSCL' - HL (M)
C   'PP'   - PRS (MB)      'RA'   - RA (G/KG)      'VSCL' - VL (M)
C   'THP'  - THP (K)
C   'THETA'- THETA (K)     'RL'   - RL (G/KG)      'TG'   - TG (K)
C   'THVP' - THV (K)      'RI'   - RI (G/KG)      'SLM'  - SLM (PCT)
C   'TV'   - TV (K)       'RCOND'- RD (G/KG)      'CONPR'- CON RATE
C   'RT'   - RT (G/KG)     'CP'   - NPRIS          'CONP' - CON PCP
C   'RV'   - RV (G/KG)     'RTP'  - RT (G/KG)      'CONH' - CON HEAT
C                                           'CONM' - CON MOIS
C
C   'THIL' - Theta-il (K)  'TEMP' - temperature (K)
C   'TVP'  - Tv (K)        'THV'  - Theta-v (K)
C   'RELHUM'-relative humidity (%)  'SPEED'- wind speed (m/s)
C   'FTHRD'- radiative flux convergence (??)
C   'MICRO'- GASPRC
C   'ZO'   - ZO (M)        'ZI'   - ZI (M)         'ZMAT' - ZMAT (M)
C   'USTARL'-USTARL (M/S) 'USTARW'-USTARW (M/S) 'TSTARL'-TSTARL (K)
C   'TSTARW'-TSTARW (K)  'RSTARL'-RSTARL (G/G) 'RSTARW'-RSTARW (G/G)
C   'UW'   - UW (M*M/S*S) 'VW'   - VW (M*M/S*S)
C   'WFZ'  - WFZ (M*M/S*S) 'TFZ'  - TFZ (K*M/S)
C   'QFZ'  - QFZ (G*M/G*S) 'RLONG'- RLONG
C   'RSHORT'-RSHORT

```

\$ISAN_CONTROL

```

MSTAGE = 1, 1, 1,          ! Main switches for
                          ! pressure, isentropic, "varfile" processing

NATIMES = 72,             ! Number of times on which to perform analysis

IAHOUR  = 00,12,00,12,00,12,00,12,00,12,00          ! Hours to analyze
IADATE  = 11,11,12,12,13,13,14,14,15,15,16

IAMONTH = 03,03,03,03,03,03,03,03,03,03,03          ! Months
IAYEAR  = 04,04,04,04,04,04,04,04,04,04,04          ! Years

GUESS1ST='PRESS',
          !   NCAR archived data file names

IAPR    = 'dp11-mar-04-00',
          'dp11-mar-04-12',
          'dp12-mar-04-00',
          'dp12-mar-04-12',          ! Input pressure level dataset
          'dp13-mar-04-00',
          'dp13-mar-04-12',
          'dp14-mar-04-00',
          'dp14-mar-04-12',
          'dp15-mar-04-00',
          'dp15-mar-04-12',
          'dp16-mar-04-00',

          ! Input pressure level dataset

IARAWI  = 'ncar/Y08200',          ! Archived rawindsonde file name
IASRFCE = 'ncar/Y08190',          ! Archived surface obs file name

          ! File names and dispose flags

IFNPRS  = 'ip',          ! Pressure file name prefix
IOFLGP  = 0,             ! Dispose flag: 0 = no write, 1 = write

IFNISN  = 'ii',          ! Isentropic file name prefix
IOFLGI  = 0,             ! Dispose flag: 0 = no write, 1 = write

IFNSIG  = 'is',          ! Sigma-z file name prefix
IOFLGS  = 0,             ! Dispose flag: 0 = no write, 1 = write

IFNVAR  = 'iv',          ! "Variable initialization" file name prefix
IOFLGV  = 1,             ! Dispose flag: 0 = no write, 1 = write

```

\$END

\$ISAN_PRESSURE

```

!-----
!   Pressure grid information:
!-----
NPRX=215,      ! number of grid points in x (lon) direction
NPRY=138,      ! number of grid points in y (lat) direction
NPRZ=14,       ! number of pressure levels

PDATA= 'CPT',   ! 'NMC' or 'ECMWF' if from NCAR archives, CPT from CPTEC.

WPLON = -120.0, ! West longitude bound of pressure data access
SPLAT = -89.284, ! South latitude bound
                ! Latitude and longitude bounds are north and east
                !   if positive, south and west if negative.

SPCNPRX = 0.938, ! East-west grid spacing of pressure data
SPCNPRY = 0.938, ! North-south spacing

                ! Pressure levels (mb) in input dataset to access
LEVPR = 1000,925,850,700,400,500,300,250,200,150,100,70,50,30,

```

\$END

 Isentropic and sigma-z processing

\$ISAN_ISENTROPIC

```

!-----
!   Specify isentropic levels
!-----
NISN   =   43,      ! number of isentropic levels
LEVTH  = 280,282,284,286,288,290,292,294,296,298,300,303,306,309,312,
        315,318,321,324,327,330,335,340,345,350,355,360,380,400,420,
        440,460,480,500,520,540,570,600,630,670,700,750,800,

!-----
!   Analyzed grid information:
!-----

NIGRIDS = 3,      ! number of BRAMSgrids to analyze

TOPSIGZ = 20000., ! sigma-z coordinates to about this height

HYBBOT  = 4000., ! Bottom (m) of blended sigma-z/isentropic layer in varfiles
HYBTOP  = 6000., ! Top (m) of blended sigma-z/isentropic layer

SFCINF  = 1000., ! Vertical influence of surface observation analysis

SIGZWT  = 1.,    ! Weight for sigma-z data in varfile:
                !   0.= no sigz data, 1.=full weight from surface to HYBBOT

NFEEDVAR = 1,    ! 1 = feed back nested grid varfile info, 0 = don't

!-----
!   Observation number limits:
!-----

MAXSTA=150,      ! maximum number of rawinsondes (archived + special)
MAXSFC=1000,    ! maximum number of surface observations

NONLYS = 0,      ! Number of stations only to be used
IDONLYS = '76458', ! Station ID's used

NOTSTA = 0,      ! Number of stations to be excluded
NOTID  = 'r76458', ! Station ID's to be excluded
                !   Prefix with 'r' for rawinsonde, 's' for surface

STASEP = .1,     ! Minimum surface station separation in degrees.
                !   Any surface obs within this distance
                !   of another obs will be thrown out unless it has

```

```

! less missing data, in which case the other obs
! will be thrown out.

ISTAPLT = 0, ! If ISTAPLT = 1, soundings are plotted;
ISTAREP = 0, ! If ISTAREP = 1, soundings are listed;
! no objective analysis is done.
! If ISTAREP/ISTAPLT = 0, normal processing is done

IUPPER = 1, ! 1-Do upper air analysis, 0-Only do surface

IGRIDFL = 3, ! Grid flag = 0, if no grid point data, only obs
! 1, if all grid point data and obs
! 2, if partial grid point and obs
! 3, if only grid data

GRIDWT = .01, .01,
! Relative weight for the gridded pressure data compared
! to the observational data in the objective analysis

GOBSEP = 5.0, ! Grid-observation separation (degrees)
GOBRAD = 5.0, ! Grid-obs proximity radius (degrees)

WVLNTH = 1200., 900.,
! Used in S. Barnes objective analysis.
! Wavelength in km to be retained to the RESPON
! percent from the data to the upper air grids.

SWVLNTH = 750., 300.,
! Wavelength for surface objective analysis

RESPON = .90, .9,
! Percentage of amplitude to be retained.

```

\$END

```

-----
Graphical processing
-----

```

\$ISAN_GRAPH

```

! Main switches for plotting

IPLTPRS = 1, ! Pressure coordinate horizontal plots
IPLTISN = 0, ! Isentropic coordinate horizontal plots
IPLTSIG = 0, ! Sigma-z coordinate horizontal plots
IPLTSTA = 0, ! Isentropic coordinate "station" plots
!-----
! Pressure plotting information
!-----
ILFT1I = 0, ! Left boundary window
IRGT1I = 0, ! Right boundary window
IBOT1J = 0, ! Bottom boundary window
ITOP1J = 0, ! Top boundary window
! Window defaults to entire domain if one equals 0.

NPLEV = 3, ! Number of pressure levels to plot
IPLEV = 1000,500,200,
! Levels to be plotted
NFLDU1 = 3, ! Number of fields to be plotted
IFLDU1 = 'THETA','GEO','RELHUM', ! Field names
CONU1 = 0.,0.,0.,0., ! Field contour increment
IVELU1 = 2,0,0,0, ! Velocity vector flag

!-----
! Isentropic plotting information
!-----
ILFT3I = 0, ! Left boundary window
IRGT3I = 0, ! Right boundary window
IBOT3J = 0, ! Bottom boundary window
ITOP3J = 0, ! Top boundary window
! Window defaults to entire domain if one equals 0.

! Upper air plots:

```

```

IUP3BEG = 320,      ! Starting isentropic level for plotting
IUP3END = 620,      ! Ending isentropic level
IUP3INC = 100,      ! Level increment

NFLDU3 = 0,         ! Number of fields to be plotted
IFLDU3 = 'U','V','PRESS','GEO','RELHUM',      ! Field names
CONU3  = 0.,0.,     ! Field contour increment
IVELU3 = 1,0,       ! Velocity vector flag

!-----
! Surface plotting information
!-----
! Uses isentropic plotting window info

NFLDS3 = 0,         ! Number of surface fields to plot
IFLDS3 = 'U','V','PRESS','GEO','RELHUM',      ! Field names
CONS3  = 0.,0.,0.,0., ! Field contour increment
IVELS3 = 1,0,0,0,0, ! Velocity vector flag

!-----
! Sigma-z plotting information
!-----
! Uses isentropic plotting window info

ISZBEG = 2,         ! Starting sigma-z level for plotting
ISZEND = 8,         ! Ending sigma-z level
ISZINC = 2,         ! Level increment

NFLDSZ = 0,         ! Number of fields to be plotted
IFLDSZ = 'U','V','PRESS','THETA','RELHUM',    ! Field names
CONSZ  = 0.,0.,     ! Field contour increment
IVELSZ = 1,0,       ! Velocity vector flag

!-----
! "Station" plotting information
!-----
NPLTRAW = 0,        ! Approximate number of raw rawinsonde plots per
                   ! frame. 0 turns off plotting.

NSTIS3 = 2,         ! number of station surface plots
ISTIS3 = 'PRESS','RELHUM','MIXRAT',          ! field names

!-----
! Cross-section plotting information
!-----
NCROSS3 = 0,        ! number of cross section slabs
ICRTYP3 = 2,1,      ! type of slab: 1=E-W, 2=N-S
ICRA3   = 1,1,      ! left window
ICRB3   = 35,43,    ! right window
ICRL3   = 22,25,    ! cross section location
NCRFLD3 = 3,        ! number of plots on each cross section
ICRFLD3 = 'MIXRAT','RELHUM','THETA',        ! field names
THCON3  = 5.,5.,5., ! contour interval of isentropes
ACON3   = 0.,0.,0., ! contour interval of other field

$END
!-----
! Field values for graphical stage
!-----
!
!
!-----
!      Pressure      Isentropic      Station      Sigma-z
!-----
!      U              U              U              U
!      V              V              V              V
!      TEMP           PRESS           PRESS           PRESS
!      GEO            GEO            TEMP            THETA
!      RELHUM         RELHUM         RELHUM         RELHUM
!      MIXRAT         MIXRAT         MIXRAT
!      THETA          THETA
!      SPEED          SPEED
!      ENERGY        ENERGY
!      THETAE         THETAE
!      SPRESS         SPRESS
!
!

```

ANEXO 2 – BALANÇO HÍDRICO

function x = evapo1 (point, date)

```
% *****
% Cria coordenadas geográficas para X,Y pontos (pontos de grades
% em X em Y) a partir de um ponto de referencia(lat,long),
% considerando um incremento em x e em y.
%
% * ptgx = pontos de grade em x
% * ptgy = pontos de grade em y
% * latini = latitude inicial (em graus decimais)
% * longini = longitude inicial (em graus decimais)
% * incx = incremento em x (em graus decimais)
% * incy = incremento em y (em graus decimais)
%
% exemplo de sintaxe:
% converte (30,30,-34.462,-59.086,0.413,0.359)
%
% *****

% Leitura da matriz excel da evapotranspiração inicial
bhptodia = xlsread('C:\Documents and Settings\Marlos\Meus
documentos\luiz\balanco1080-68form.xls');

% Atribuição da variável de evapotranspiração
evapo0 = bhptodia ;
prec = evapo0 * 2.232323 ;

% Capacidade de armazenamento constante para determinado tipo de solo
cad = 75;

% Constante em funcao do CAD
cte = -0.01367;

% Calculo do p-et0
for i = 1:point
    for j = 1:date
        pet0(i,j)= prec(i,j)-evapo0(i,j);
    end
end

% Constantes de Inicialização
negini = 0;
armini = cad;
altini = 0;
etrini = 0;
defini = 0;
```

```

% Condição para o calculo das variáveis para o balanço hídrico
if pet0(:, :) <= 0    % Análise se há apenas valores negativos no P-ET0

    neg(:, :) = 0;
    arm(:, :) = 0;
    alt(:, :) = 0;
    evaporeal = prec;
    exced = 0;
    deficit = - pet0;

elseif pet0(:, :) >= 0 % Análise se há apenas valores positivos no P-ET0

    neg(:, :) = 0;
    arm(:, :) = cad;
    alt(:, :) = 0;
    evaporeal = evapo0;
    exced = pet0;
    deficit = 0;

else                % Análise se há valores positivos e negativos no P-ET0

    % Calculo do NEG
    for i = 1:point
        for j = 1:date

            disp(i)

            if j == 1    % Calculo para o dia inicial

                % Calculo do NEG e do ARM
                if pet0(i,j) >= 0
                    if (pet0(i,j) + armini) < cad
                        arm(i,j) = pet0(i,j) + armini;
                    else
                        arm(i,j) = cad;
                    end
                    neg(i,j) = (1/cte) * log (arm(i,j)/cad) * -1;
                else
                    neg(i,j) = pet0(i,j) + negini;
                    arm(i,j) = cad * exp(cte * abs(neg(i,j)));
                end
                % Calculo do ALT
                alt(i,j) = arm(i,j) - armini;

            else        % Calculo para os demais dias

                % Calculo do NEG e do ARM
                if pet0(i,j) >= 0
                    if (pet0(i,j) + arm(i,j-1)) < cad
                        arm(i,j) = pet0(i,j) + arm(i,j-1);
                    else
                        arm(i,j) = cad;
                    end
                    neg(i,j) = pet0(i,j) + negini;
                else
                    neg(i,j) = pet0(i,j) + negini;
                    arm(i,j) = cad * exp(cte * abs(neg(i,j)));
                end
                alt(i,j) = arm(i,j) - armini;
            end
        end
    end
end

```

```

        else
            arm(i,j) = cad;
        end
        neg(i,j) = (1/cte) * log (arm(i,j)/cad) * -1;
    else
        neg(i,j) = pet0(i,j)+ neg(i,j-1);
        arm(i,j) = cad * exp(cte * abs(neg(i,j)));
    end

    % Calculo do ALT
    alt(i,j) = arm(i,j) - arm(i,j-1);

end

% Calculo do EXC
if arm (i,j) < cad
    exc(i,j) = 0;
else
    exc(i,j) = pet0(i,j) - alt(i,j);
end

% Calculo da EVAPOREAL
if pet0(i,j) >= 0
    evaporeal(i,j) = prec(i,j)-alt(i,j);
else
    evaporeal(i,j) = evapo0(i,j);
end

% Calculo de DEF
if pet0(i,j) >= 0
    def(i,j) = 0;
else
    def(i,j) = evapo0(i,j) - evaporeal(i,j);
end

end
end
end

xlswrite('evaporeal', evaporeal)
xlswrite('exc', exc)
xlswrite('def', def)
xlswrite('arm', arm)
xlswrite('pet0', pet0)
xlswrite('alt', alt)

```