

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

**IMPLEMENTAÇÃO DE DADOS
OBTIDOS COM IMAGENS DO
SENSOR TM DO LANDSAT 5 E DA
MISSÃO SRTM NO MODELO
ATMOSFÉRICO BRAMS**

por
ANDRÉA CURY MARQUES

Porto Alegre, setembro de 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**IMPLEMENTAÇÃO DE DADOS OBTIDOS COM
IMAGENS DO SENSOR TM DO LANDSAT 5 E DA
MISSÃO SRTM NO MODELO ATMOSFÉRICO BRAMS**

por

Andréa Cury Marques
Engenheira Agrônoma (2003) – UFPEL

Orientadora: Prof^ª Rita de Cássia Marques Alves, Dra.

Área de concentração: Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e
ao Meio Ambiente.

Banca Examinadora: Prof^ª Dr^ª Debora Regina Roberti - UFSM
Prof^ª. Dr^ª. Dejanira Luderitz Saldanha – UFRGS
Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas - USP

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Sensoriamento Remoto do
Centro Estadual de Pesquisas em
Sensoriamento Remoto e Meteorologia –
UFRGS, como requisito parcial para a obtenção
do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.*

Porto Alegre, setembro de 2009

Marques, Andréa Cury

Implementação de dados obtidos com imagens do sensor TM do Landsat 5 e da missão SRTM no modelo atmosférico Brams / Andréa Cury Marques. - Porto Alegre : CEPSRM/UFRGS, 2010. 81 f. : il.

Dissertação (mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Profa. Dra. Rita de Cássia Marques Alves

1. Modelo de previsão. 2. Vegetação. 3. Classificação de imagem. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Luciane Scoto da Silva CRB 10/1833

Ao Roberto e a Carolina, por viverem ao meu lado nesta vida.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Prof^ª. Dr.^a Rita de Cássia Marques Alves, pelo incentivo a pesquisa.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela disponibilização dos equipamentos necessários ao desenvolvimento desta dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento dos últimos 12 meses de mestrado.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Prof. Dr. Vitor Haertel pelo conhecimento transmitido dentro e fora da sala de aula.

Ao Prof. Dr. Edmilson de Freitas pela valiosa ajuda em momentos decisivos. Sua colaboração e presteza para realização da dissertação foram fundamentais.

À Marilice Cordeiro Garrastazú, amiga e orientadora, antes de ingressar no mestrado, por me incentivar a seguir este caminho e acreditar que era capaz de fazê-lo.

Ao Luiz Felipe Velho, mais que um colega meu querido amigo, por trilhar esse caminho junto comigo, desde o primeiro dia de aula.

À Ingrid Linck Rosenhaim por me apoiar, incentivar, ensinar e também me manter no caminho, quando se fazia necessário.

À Carla Hirt e ao João Pedro por viverem comigo no “terremoto” dividindo espaço e vida.

Às pessoas que estiveram no LMQA (Thiago, Lindolfo, Jaqueline, Marília, Juliana, Débora, Giordano e Pedro) por agüentarem minhas excentricidades.

Ao Bruno e ao Anderson por estarem presentes na minha vida.

Aos meus pais (Luiz e Sonia, Leonor e Wladmir) pelo incentivo e apoio em todas as minhas decisões.

A todos que de uma maneira ou de outra participaram desta etapa da minha vida.

RESUMO

O estudo e a previsão dos sistemas de tempo, e suas variantes, é cada vez mais uma preocupação constante e difundida no meio científico. Esta necessidade torna-se imprescindível, à medida que tais eventos podem causar irreparáveis perdas materiais e humanas, com forte influência no seu desenvolvimento econômico e social. O BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*), modelo de mesoescala, tem como característica principal o aninhamento de grades, permitindo assim obter o comportamento de escala sinótica e microescala em uma única simulação. Este recebe como informações de entrada, dados de observações de superfície e altitude, subprodutos gerados de satélite ou então resultados de modelos numéricos, e estes dados necessitam estar em arquivo com formato compatível com o código do mesmo, para serem processados posteriormente. O objetivo deste trabalho foi utilizar dados provenientes do Satélite LANDSAT 5 TM (*Land Remote Sensing Satellite – Thematic Mapper*), para substituição das informações de vegetação e informações de altimetria da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), utilizando estas informações como dados de entrada no mesmo, melhorando assim a representação das características físicas da região. A Região Metropolitana de Porto Alegre, foi a escolhida como área de estudo e especificamente foi testada a diferença quanto à simulação do modelo sem e com a implementação. Com o intuito de abranger completamente a área de estudo foram utilizadas 2 cenas do sensor TM, para a composição de mosaico de imagens, gerado originalmente com resolução espacial de 30 metros. Este mosaico foi editado, e submetido a uma classificação supervisionada através do Método da Máxima Verossimilhança com uma qualidade final na classificação de 99,7%. Após a classificação o mosaico foi reamostrado para 500 metros de resolução espacial, também foi feita uma adequação da codificação da classificação de acordo com os códigos do BRAMS. As simulações compreenderam às 24 horas do dia 9 de janeiro de 2007. Para a análise da contribuição da topografia e vegetação, foram analisadas as saídas do modelo. O resultado desta interação pode ser observado no campo de algumas variáveis meteorológicas, como direção do vento, temperatura e umidade relativa, que apresentaram comportamento distinto em cada simulação, demonstrando uma diferença qualitativa entre as duas simulações.

Palavras-chave: modelo de previsão, vegetação e classificação de imagem.

ABSTRACT

The study and attempt to predict weather, systems and its variants, is increasingly a constant concern of science and it is widely disseminated in the scientific field. This requirement becomes imperative, to the extent that such events can cause irreparable human and material losses, with strong influence in their social and economic development. The Brazilian Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS, a mesoscale model, which has nesting grids as a main feature, therefore it obtains the scaling synoptic and microscale behavior on just a single simulation. It receives incoming information, surface observations and altitude data, by-products generated by satellite or numerical model results, and these data need to be set into a file format that is compatible to the code, in order to be processed later. The purpose of this work was to utilize satellite data from the LANDSAT 5 TM (Land Remote Sensing Satellite – Thematic Mapper) for the replacement of vegetation and altitude data obtained during the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), using this information as an input data on it, thus improving the representation of the physical features of the chosen region. The metropolitan region of Porto Alegre was chosen as the study area, and the difference as to the simulation of the model was specifically tested, with and without implementation. In order to completely cover the study area, two image scenes were used from the TM sensor for the mosaic composition, originally generated with a 30-meter spatial resolution. The mosaic was edited, and then submitted to a supervised classification through Maximum Likelihood Method with a final quality classification of 99.7%. After submitting the mosaic to sorting, it was resample into a 500-meter spatial resolution, it has been also made an appropriateness of the codification of classification according to BRAMS' codes. The simulations comprised the 24 hours of January 9th 2007. For the analysis of the contribution of topography and vegetation, the model outputs were analyzed. The result of this interaction may be observed in the field of meteorological variables, such as some wind directions, temperature and relative humidity, which have distinct behavior at each simulation, demonstrating a qualitative difference between the two simulations.

Keywords: forecast model, vegetation and image classification.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVEATURAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MODELO DE PREVISÃO METEOROLÓGICA.....	16
2.1.1 Características gerais do modelo RAMS.....	16
2.1.2 Características gerais do modelo BRAMS	18
2.1.3 Modelo de Interação Solo-Vegetação-Atmosfera.....	19
2.2 SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION – SRTM	21
2.3 SATÉLITE LANDSAT.....	22
2.3.1 Resoluções de uma Imagem LANDSAT 5 TM.....	24
2.3.2 Níveis de Processamento das Imagens LANDSAT.....	26
2.3.3 Aplicações das Imagens LANDSAT.....	27
2.4 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS	28
2.4.1 Métodos de Classificação	29
2.4.2 Qualidade da Classificação.....	30
2.4.3 Classificação Supervisionada	31
2.4.4 Método da Máxima Verossimilhança	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	36
3.2.1 O Clima no Rio Grande do Sul.....	37
3.2.2 O Clima na RMPA	39
3.2.3 Caracterização climática do dia 09/01/2007.....	40
3.3 CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS	41
3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DA IMAGEM	42
3.5 CONVERSÃO DE DADOS DE VEGETAÇÃO E DE TOPOGRAFIA PARA INSERÇÃO NO BRAMS	45
3.6 PROCESSAMENTO NO MODELO BRAMS	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema de aquisição de dados pelo ônibus espacial Endeavour	20
Figura 2.2 – Configuração do Sensor Thematic Mapper	22
Figura 2.3 – Esquema demonstrando os métodos de classificação	28
Figura 2.4 – Função densidade de probabilidade definida por máxima verossimilhança	31
Figura 3.1 – Região Metropolitana de Porto Alegre	35
Figura 3.2 – Mapas de Biomas do RS	37
Figura 3.3 – Unidades Geomorfológicas do RS	38
Figura 3.4 – Imagem GOES do dia 09/01/2007 em (a) à 0h e em (b) às 6 h	39
Figuras 3.5 – Imagem GOES do dia 09/01/2007 em (a) à 12h e em (b) às 18 h	40
Figura 3.6 – Assinaturas espectrais dos principais objetos terrestres	41
Figura 3.7 – Polígono que engloba a área de estudo	42
Figura 3.8 – Imagem LANDSAT 5 TM em recorte representativo da área de estudo	43
Figura 3.9 – Modelo Numérico do Terreno em destaque a RMPA	46
Figura 3.10 – Organograma de inicialização do BRAMS	48
Figura 4.1 – Esquema representando as etapas da metodologia	50
Figura 4.2 – Imagem temática gerada pela classificação	51
Figura 4.3 – Histogramas das classes de água, (a) corresponde a duas classes de vegetação na banda 1 da imagem e (b) as mesmas duas classes na banda 5, demonstrando assim sobreposição das classes, variando de banda a banda na imagem	52
Figura 4.4 – Imagem com resolução espacial de 500m e reclassificada	57
Figura 4.5 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 00 e 06 h	58
Figura 4.6 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 12 e 18 h	59
Figura 4.7 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 00 e 06 h	60
Figura 4.8 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 12 e 18 h	61
Figura 4.9 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 00 e 06 h	62
Figura 4.10 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 12 e 18 h	63

Figura 4.11 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 00 e 06 h	64
Figura 4.12 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 12 e 18 h	65
Figura 4.13 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 00 e 06 h	66
Figura 4.14 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 12 e 18 h	67
Figura 4.15 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 00 e 06 h	68
Figura 4.16 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 12 e 18h	69
Figura 4.17 – Comparação dos modelos nas grades 1 e 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação	70
Figura 4.18 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios que compõe a RMPA	34
Tabela 2 – Codificação dos tipos de superfície, baseado na base de dados do USGS e equivalente em Olson	45
Tabela 3 – Matriz de contingência da classificação	53
Tabela 4 – Codificação utilizada na reclassificação da imagem temática	56

LISTA DE ABREVIATURAS

ATMET	<i>Atmospheric, Meteorological and Environmental Technologies</i>
BRAMS	<i>Brazilian Regional Atmospheric Modeling System</i>
CD	Contador Digital
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt</i>
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellites</i>
GCM's	<i>General Circulation Models</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	<i>Instantaneous Field Of View</i>
IGBP	<i>International Geosphere Biosphere Programme</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
InSAR	<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISAN	<i>Isentropic ANalise Package</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LEAF	<i>Land Ecosystem-Atmosphere Feedback Model</i>
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
ND	Número Digital
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
RAMS	<i>Regional Atmospheric Modeling System</i>
RBV	<i>Return Bean Vidicon</i>
REM	Radiação EletroMagnética
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
SAD-69	<i>South American Datum 1969</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIR-C/X-SAR	<i>Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

TEB	<i>Town Energy Budget</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USP	Universidade de São Paulo
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i>

1 INTRODUÇÃO

A forma como a atmosfera se comporta, afeta diretamente a vida cotidiana do homem. O estudo e a tentativa de prever os sistemas de tempo, e suas variantes, é cada vez mais uma preocupação constante e difundida no meio científico. Neste contexto, a previsão de eventos meteorológicos torna-se prioridade em comunidades urbanas e rurais. Esta necessidade torna-se imprescindível, à medida que tais eventos podem causar irreparáveis perdas materiais e humanas, com forte influência no seu desenvolvimento econômico e social.

Um dos modelos numéricos de previsão meteorológica utilizado é o BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*), um modelo de mesoescala, que tem como característica principal o aninhamento de grades, permitindo assim obter o comportamento de escala sinótica e microescala em uma única simulação.

O modelo recebe como informações de entrada, dados de observações de superfície e altitude, subprodutos gerados de satélite ou então resultados de modelos numéricos, e estes dados necessitam estar em arquivo com formato compatível com o código do mesmo, para serem processados posteriormente.

Com o advento da implementação no modelo BRAMS espera-se um progresso na execução deste, obtendo previsões com um melhor detalhamento da área estudada, tendo uma cobertura mais ampla e delineada das informações iniciais ao mesmo.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi utilizar dados provenientes do Satélite LANDSAT 5 TM (*Land Remote Sensing Satellite – Thematic Mapper*), com resolução espacial de 30 m, para substituição das informações de vegetação e informações de altimetria da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 90 m, utilizando estes dados como informações de entrada no modelo numérico de previsão meteorológica. Com estas alterações espera-se um incremento no desempenho do modelo de previsão.

Especificamente, foi testada a diferença quanto à simulação do modelo sem e com a implementação, utilizando a nova grade com uma resolução espacial melhorada para o modelo BRAMS.

1.2 JUSTIFICATIVA

A análise da topografia de uma região pode ser realizada através do Modelo Numérico do Terreno, o qual é obtido através de curvas de nível. No caso do presente projeto tais informações serão obtidas do modelo SRTM da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Já as informações a respeito das características de vegetação podem ser obtidas através de imagens do sensor TM, que permitem ao usuário obter informações relevantes sobre o ambiente físico da área de estudo. O sensoriamento remoto trata basicamente de obter informações a cerca de um determinado objeto sem que seja necessário o contato com o mesmo, baseando-se na interação da radiação eletromagnética com a superfície dos objetos, as quais são registradas por sensores a bordo de satélites.

Além de conhecer as características físicas da área de estudo, é necessário conhecer também o efeito de variáveis meteorológicas e suas interações com o meio, para entender os processos que definem o comportamento deste sistema. Com base nestes fatores, o presente estudo buscou testar a diferença quanto à previsão climática, com a utilização de uma nova grade para o modelo BRAMS, a qual será obtida através da substituição das informações de vegetação e topografia que originalmente se apresentam com resolução espacial de 1 km, no modelo, por informações com resolução espacial de 30 m para vegetação e de 90 m para a topografia, melhorando assim a representação da superfície no modelo. Dados de elevação, declividade e aspecto, derivados do MNT, serão inseridos no modelo numérico BRAMS. Já as informações de vegetação serão extraídas das imagens LANDSAT 5 TM, e também serão inseridas no modelo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELO DE PREVISÃO METEOROLÓGICA

O *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) foi desenvolvido na Colorado State University para unificar vários códigos existentes de simulação numérica de tempo (TRIPOLI e COTTON, 1982). Concluiu-se que a unificação desses códigos, mantendo-se os atributos originais de cada um, facilitava mais efetivamente a pesquisa científica no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Estadual do Colorado. Além disso, na fusão dos modelos uma gama de melhorias foi introduzida no RAMS, entre as quais a capacidade de aninhamento de grades, que é uma das mais importantes. O RAMS possui a habilidade para representar a larga escala, e então aninhar-se progressivamente para escalas menores. O modelo possui um módulo atmosférico, um módulo de solo e vegetação e um pacote de análise dos dados para inicialização e assimilação de dados meteorológicos.

O RAMS recebe como informações de entrada, dados de observações de superfície e altitude, subprodutos gerados de satélite ou então resultados de modelos numéricos. As variáveis de entrada, tais como temperatura do ar, vento, umidade do ar (esta expressa na forma de temperatura do ponto de orvalho, razão de mistura, umidade relativa ou ainda diferença psicrométrica) referem-se a diferentes níveis da atmosfera, e necessitam estar em arquivo com formato compatível com o código do modelo.

2.1.1 Características gerais do modelo RAMS

O modelo RAMS foi originalmente desenvolvido nos primórdios de 1970, essencialmente como uma ferramenta de pesquisa. Desde então um grande número de melhorias tem sido introduzido de maneira que atualmente o modelo se presta tanto à atividade de pesquisa como ao serviço de previsão do tempo em mais de uma centena de instituições em torno do mundo. Recentes melhorias têm focado tanto a concepção física do modelo assim como o design computacional. Ele opera em ambiente de execução LINUX e é composto por um conjunto de sub-rotinas estruturadas em linguagem FORTRAN e C.

Uma descrição completa com maior detalhe sobre a estrutura do modelo, incluindo as equações gerais, parametrizações e evolução ao longo dos anos, pode ser

encontrada em Tripoli e Cotton (1982). O modelo vem sendo continuamente melhorado com base em trabalhos multidisciplinares envolvendo a participação de programadores, meteorologistas, agrônomos, físicos, químicos, matemáticos, engenheiros e profissionais de diversas outras especialidades.

Este modelo foi inicialmente introduzido no Brasil através da Universidade de São Paulo (USP) em 1989. Desde então o RAMS tem sido constantemente usado em estudos que envolvem modelagem de sistemas de mesoescala, previsão do tempo e como ferramenta de apoio à pesquisa. Ao longo dos últimos anos um grande número de dissertações e teses tem sido desenvolvido no Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG-USP), constituindo-se em documentos que tratam com maior profundidade os processos em específico que são representados no modelo RAMS.

Ele foi construído em torno de um conjunto de equações tridimensionais e não hidrostáticas que descrevem a dinâmica, a termodinâmica e a conservação da água em suas três fases. Este conjunto de equações é suplementado por uma ampla seleção de parametrizações de processos como a difusão turbulenta, radiação solar e terrestre, formação de nuvens e precipitação, efeitos do terreno (solo-vegetação), convecção e troca de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera. As opções disponíveis para a condição inicial do modelo compreendem a inicialização homogênea e heterogênea. Na inicialização horizontalmente homogênea, apenas uma sondagem é utilizada como dado de entrada para o modelo (os valores das variáveis são constantes na horizontal). No caso heterogêneo, os dados podem ser assimilados em cada ponto de grade (dados provenientes de estações, sondagens ou análises fornecidas por modelos). Quanto à estrutura de grade, o RAMS utiliza grade horizontal do tipo C de Arakawa, com as componentes da velocidade intercaladas entre os pontos de grade e as demais variáveis definidas no ponto de grade. A estrutura vertical da grade é definida pela coordenada *sigma* Z, onde o topo do modelo é plano e a base acompanha o terreno. Estrutura de grade aninhada pode ser utilizada pelo RAMS quando há necessidade de alta resolução espacial para uma determinada localização.

O processo de interpolação baseia-se numa análise objetiva, a qual consiste em obter um valor interpolado para o ponto de grade através de uma média ponderada da informação original, onde se atribui maior peso à informação mais próxima do ponto de grade e, conseqüentemente, menor peso a informação mais distante, de acordo com uma função Gaussiana, em que o peso é função da distância do valor observado ao ponto de grade. Ele inclui o RAMS/ISAN (*I*sentropic *A*Nalise *P*ackage) como opção de

inicialização que realiza a tarefa de análise de dados para as condições iniciais e de fronteiras para rodadas de grande escala.

O RAMS é complementado com esquemas de parametrizações de processos físicos contidos no código do modelo que permitem serem alterados de maneira a melhor se adequarem às condições específicas de determinado local, ou a condições idealizadas para simulações de situações, o que constitui numa excelente ferramenta para pesquisas meteorológicas.

As soluções dependentes do tempo são primeiramente realizadas nas grades espacialmente maiores, com resolução inferior. Estas grades são utilizadas para modelar o ambiente de sistemas atmosféricos de larga escala, os quais interagem com os sistemas de mesoescala, através das condições de fronteira resolvidos nas grades mais finas. As grades de maior resolução, portanto com menores dimensões espaciais, são utilizados para modelar detalhes dos sistemas atmosféricos de menor escala, tais como escoamento sobre terrenos complexos e circulações termicamente induzidas pela superfície.

As equações da dinâmica da atmosfera que compõem o modelo são complementadas com parametrizações. Com isso, ajustes podem ser realizados na configuração da difusão turbulenta, 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, e convecção cumulus.

A projeção horizontal utilizada para a definição das coordenadas da grade é a estereográfica, cujo pólo de projeção fica próximo do centro da área de domínio. Este tipo de projeção diminui distorções da projeção da área de interesse. Coordenadas Cartesianas também podem ser utilizadas pelo RAMS.

2.1.2 Características gerais do modelo BRAMS

De acordo com Gouvêa (2007) o BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*) é a versão brasileira do RAMS, desenvolvido numa parceria entre a ATMET (*Atmospheric, Meteorological and Environmental Technologies*), CPTEC-INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) e do IAG-USP, e objetiva a correta simulação de fenômenos típicos das regiões tropicais.

O BRAMS na versão 3.2 diferencia-se do RAMS pela introdução da parametrização de cumulus rasos (*shallow cululus*; SOUZA e SILVA, 2003), de uma nova parametrização de convecção profunda (esquema de fluxo de massa com diversos fechamentos), do processo de assimilação de umidade do solo heterogênea, da parametrização de superfície SIB2 e de um novo conjunto de dados no LEAF-3 (*Land Ecosystem-Atmosphere Feedback Model*) com parâmetros observacionais para biomas da América do Sul, bem como aprimoramentos do código para melhor eficiência computacional, como a reprodutibilidade binária (mesmo resultado com qualquer número de processadores) (GOUVÊA, 2008). Em sua versão mais recente o modelo conta com uma parametrização para os processos fotoquímicos na atmosfera (FREITAS *et al.*, 2005), além do tratamento adequado para áreas urbanas através do esquema TEB (*Town Energy Budget*), introduzido inicialmente na versão 4.3 do modelo RAMS (FREITAS *et al.*, 2007).

2.1.3 Modelo de Interação Solo-Vegetação-Atmosfera

Para a caracterização da superfície, foi formulada uma parametrização denominada modelo de solo e vegetação. Neste esquema os fluxos de calor, quantidade de movimento e vapor d'água na camada superficial são computados através de esquema segundo LOUIS (1979).

Na determinação desses fluxos, a parametrização necessita de informações da temperatura e umidade da superfície, considerando os casos em que a superfície é água, solo sem cobertura vegetal ("solo nu") e superfície vegetada.

Para a superfície de água (reservatório d'água, lago ou mar) assume-se que a temperatura da superfície e a umidade de saturação estão relacionadas à temperatura da água e pressão à superfície são constantes no tempo, mas podem variar no espaço.

Equações prognósticas para a temperatura e a umidade do solo são envolvidas no caso de solo nu através de um modelo de solo de múltiplas camadas (MCCUMBER & PIELKE, 1981). A temperatura do solo é obtida pela equação do balanço de energia à superfície. Para simulações típicas, este modelo é executado em uma profundidade de aproximadamente 5 metros, compreendendo cerca de sete a doze camadas. Os diferentes tipos de cobertura vegetal são discretizados no RAMS, definidos por constantes específicas para 12 tipos diferentes de solo, que compreendem desde a superfície revestida por areia, passando aos diferentes tipos de solo argiloso e material

de origem vegetal, parcialmente decomposto encontrado em camadas, geralmente em regiões pantanosas, denominado turfa.

De forma semelhante parâmetros predefinidos e específicos para cada tipo de vegetação fazem parte do banco de dados do RAMS, onde o cálculo da temperatura e da umidade do solo depende, também, da transmissividade da camada de vegetação e da temperatura do dossel. Com isso, é utilizada a equação do balanço de energia à superfície para o cálculo da temperatura e da umidade à superfície, levando-se em consideração os processos radiativos inerentes à camada de vegetação (AVISSAR & PIELKE, 1989). Os 18 tipos de vegetação representados pelo modelo, definidos por constantes, diferenciam-se em plantações, grama, tipos de árvores, desertos, superfície de gelo, oceano, entre outros.

Para a condição de fronteira inferior o modelo utiliza o LEAF, sendo uma representação dos aspectos da superfície, incluindo vegetação, solo, lagos e oceanos e suas influências uns sobre os outros e sobre a atmosfera. Inclui equações prognósticas para: temperatura do solo e umidade em múltiplas camadas; temperatura da vegetação e água na superfície (incluindo orvalho e precipitação interceptada e energia termal para múltiplas camadas); e temperatura e razão de mistura do vapor d'água do ar do dossel. Os termos de troca nestas equações prognósticas incluem trocas turbulentas, condução de calor, difusão de água e percolação nas camadas do solo, transferências radiativas de onda curta e onda longa, transpiração e precipitação. Um dos aspectos importantes do LEAF é sua habilidade em representar variações de escala fina nas características da superfície, tais como tipo de vegetação, inclinação do terreno, tipo de solo e umidade e corpos d'água, os quais freqüentemente variam consideravelmente sobre curtas distâncias horizontais. Cada tipo de superfície responde às influências da atmosfera adjacente de uma maneira própria. Idealmente, cálculos em grades computacionais suficientemente finas seriam empregados em modelos atmosfera-ecossistema para resolver tanto os aspectos de superfície quanto a sua completa resposta atmosférica. Entretanto, fontes computacionais é sempre um fator limitante na resolução do modelo e normalmente não permitem uma simulação ideal. Felizmente, o LEAF é relativamente de baixo custo computacional quando comparado com a representação dos processos atmosféricos no modelo (GOUVÊA, 2008).

A implementação do LEAF dentro do RAMS, e do BRAMS, traz a vantagem de permitir múltiplos tipos de superfície coexistirem dentro de uma única célula de grade, resolvida numa coluna de ar, através da definição de *patches*. Um claro benefício desta aproximação é a habilidade em representar vários tipos de superfície (floresta, grama,

solo nu, por exemplo) dentro de uma mesma célula de grade, onde cada tipo de superfície ocupa uma fração da grade e é tratado separadamente.

2.2 SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION – SRTM

A *Shuttle Radar Topography Mission* foi lançada a bordo do *Space Shuttle Endeavour* em fevereiro de 2000, a partir do Centro Espacial de Kennedy, EUA. O principal objetivo da SRTM foi obter dados topográficos da Terra. O projeto foi desenvolvido a partir de uma cooperação internacional entre a NASA e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), nos Estados Unidos, e agências espaciais da Alemanha e Itália, DLR (*Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt*), e *Italian Space Agency* (ZYL, 2001), respectivamente.

A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa SIR-C/X-SAR (*Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar*), a bordo do *Endeavour*. Porém o arranjo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. Para tanto, a nave foi munida de um mastro de 60m, em cuja extremidade foi instalada antenas para bandas C e X, além de melhorados os dispositivos de controle e navegação, conforme esquema mostrado na Figura 2.1.

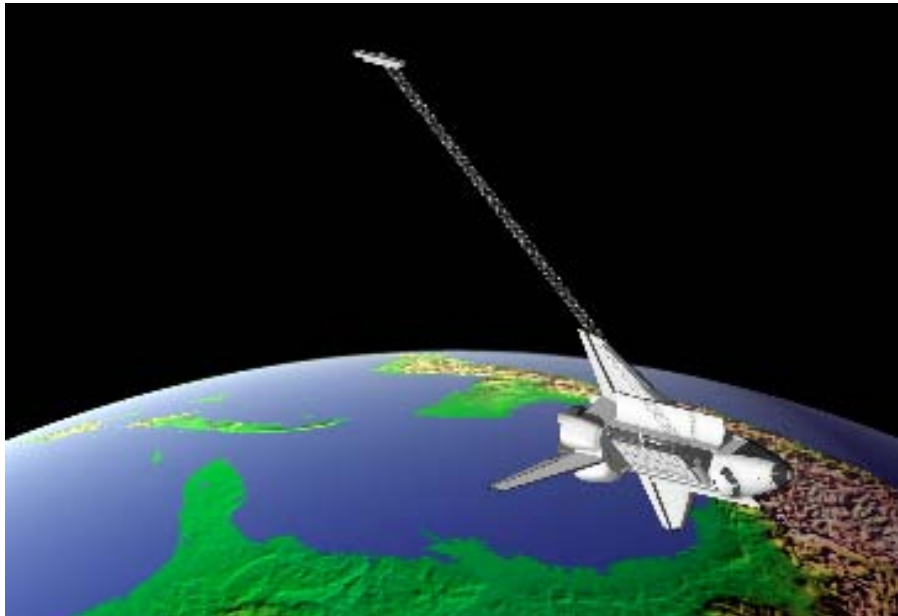


Figura 2.1 – Esquema de aquisição de dados pelo ônibus espacial Endeavour. Fonte:

<http://www.fas.org/irp/program/collect/isfar.htm>

Para adquirir os dados topográficos, a SRTM utilizou um sistema de radar de abertura sintética interferométrico (InSAR). Os radares empregados na missão tiveram

os seguintes comprimentos de onda: banda C (5,6cm, 5,3GHz) e banda X (3,1cm, 9,6GHz). Cada antena InSAR possui fases diferentes e, por meio da diferença de sinais, foram medidas as elevações (ZYL, 2001).

O sobrevôo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. Este foi concluído com a coleta de 12 Tbyte de dados processados para a formação de MNT's. Este sobrevôo ocorreu a uma altitude de 233 km, com a inclinação de 57°, tendo sido imageado 80% do planeta, compreendendo as latitudes entre 60° Norte e 56° Sul. Os MNT's gerados pela missão SRTM são distribuídos gratuitamente para o Estados Unidos, com resolução de 30m em coordenadas geográficas, (1 arco segundo, ou 0,000277°) e para o resto mundo com 90m (3 arco segundo ou 0,000833°). O *Datum* e o elipsóide de referência são *World Geodetic System 1984* (WGS-84), com dados de altitude (*h*) em metros inteiros (HALL *et al.*, 2005). Do total de dados SRTM, os dados da banda C foram processados no JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), e os dados da banda X no Centro Aeroespacial da Alemanha. Estes são usados para criar MNT's de resolução mais alta, porém sem cobertura global.

A missão SRTM teve apoio de campo através de levantamentos geodésicos, realizado com o Sistema de Posicionamento Global (GPS), no modo cinemático. Este método permite determinar rapidamente linhas de posições dadas por um veículo em movimento. Aproximadamente 70.000km de linhas foram coletados para apoio à missão, além de serem distribuídos, no terreno, refletores com coordenadas definidas para adquirir pontos de controle (VALERIANO, 2004).

2.3 SATÉLITE LANDSAT

Nas décadas de 70 e 80, houve um aumento das técnicas digitais para coleta e processamento de dados espaciais (KURKDJIAN *et al.*, 1987). O grande passo tem sido o uso de dados obtidos por satélites, sendo que no Brasil é freqüente o uso de imagens LANDSAT, para as mais variadas aplicações. O programa LANDSAT, iniciado pela NASA, fornece imagens para avaliação dos recursos terrestres. A plataforma do LANDSAT chamada ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*) gera imagens que ajudam a análise regional, embora falte aos sensores a resolução requerida para um maior detalhamento ou análise do mapa.

O programa LANDSAT compõe-se de uma série de sete satélites lançados a intervalos médios de 3 a 4 anos. Os três primeiros satélites fazem parte da primeira

geração, tendo como principais sensores, o MSS (*Multispectral Scanner System*) e o RBV (*Return Beam Vidicon*). Em razão de problemas técnicos no RBV, e da superioridade técnica do instrumento MSS do ponto de vista espectral e radiométrico, o RBV foi muito pouco utilizado. A segunda geração de satélites da série LANDSAT é composta de outro sensor, o TM, sendo mantido o MSS com algumas modificações (ZARATTINI, 1989). Porém o sensor MSS foi desligado em agosto de 1995, por razões técnicas.

O sensor TM possui um sistema de imageamento eletro-óptico do tipo de varredura mecânica. Os detectores do TM estão arranjados em forma matricial de 16 X 6 fotodetectores de silício (bandas 1, 2, 3, e 4) e de antimônio de índio (bandas 5 e 7) e ainda 4 detectores termais de telureto de mercúrio-cádmio (HgCdTe) para a banda 6. A Figura 2.2 demonstra o sensor TM e seus componentes.

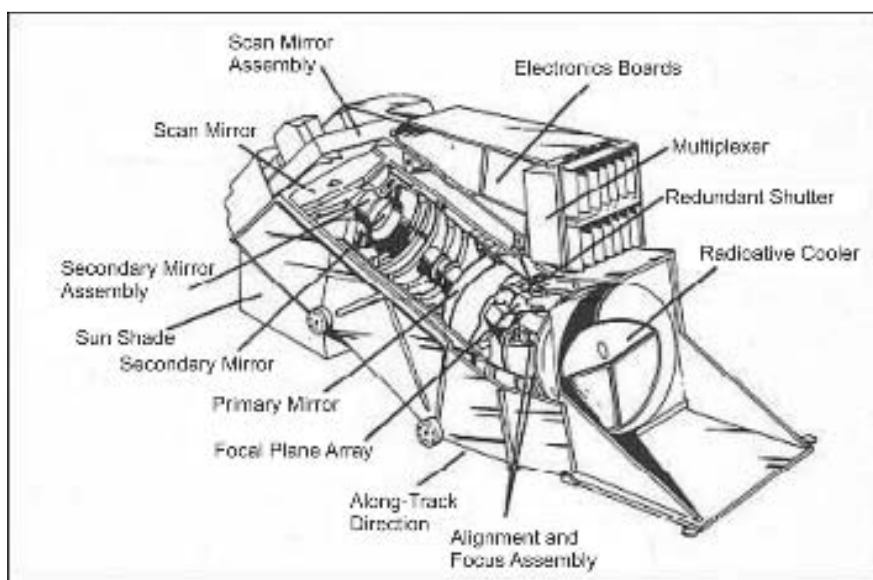


Figura 2.2 – Configuração do Sensor Thematic Mapper. Fonte: http://directory.eoportal.org/get_announce.php

O LANDSAT 5 possui órbita polar e circular heliossíncrona, passando na mesma hora (09:45 am) em qualquer ponto observado, se encontra a uma altitude de 705 Km, possuindo um sistema de funcionamento por meio da utilização da energia solar, captada por painéis solares. Também, detém dispositivos de auto correção de órbita e posicionamento, a fim de garantir produtos geometricamente constantes. Tem um período de 98,9 minutos, dando 14 voltas diariamente ao redor da Terra. A área abrangida no imageamento é uma faixa de 185 km, recortada em cenas de 185 km x 185 km. Ele possui dois subsistemas: o satélite (aquisição de dados) e o apoio terrestre (processamento dos dados) (NOVO, 1992). Esse satélite permite, sob condições ideais,

que se obtenham dados de uma mesma região aproximadamente 22 vezes por ano (CHUVIECO, 1996).

2.3.1 Resoluções de uma Imagem LANDSAT 5 TM

Resolução Espacial

É o poder de discernimento espacial do sensor, ou seja, a capacidade de “enxergar” objetos na superfície da terra. Quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial. A definição da resolução espacial do sensor é através da construção geométrica do seu campo de visada instantâneo (IFOV), que representa a área vista no terreno num determinado momento e de uma maneira simplificada representa o tamanho do pixel. O IFOV do sensor TM é de 30m, na banda 6, correspondente ao termal o IFOV é de 120m.

Resolução Radiométrica

Para Crósta (1992), a resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor. É expressa em termos de dígitos binários, ou bits. O sensor TM do LANDSAT 5 tem uma resolução radiométrica de 8 bits ou um byte. Desta forma pode registrar 256 níveis de cinza, de 0 para preto até 255 para o branco. O valor do nível de cinza, atributo do pixel, é chamado de número digital (ND) ou contador digital (CD).

Resolução Temporal

É o tempo que o satélite leva para passar pelo mesmo ponto em duas passagens consecutivas sobre a superfície da terra. O LANDSAT 5 tem uma resolução temporal da ordem de 384 horas ou 16 dias.

Resolução Espectral

A resolução espectral mostra a que segmentos do espectro eletromagnético (bandas) o sensor é sensível e ainda qual a largura do comprimento de onda da faixa sensibilizada. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo maior é a resolução espectral do sensor.

O satélite LANDSAT 5 possui 7 bandas óticas: três na porção visível do espectro eletromagnético (azul, verde, vermelho); três na porção do infravermelho (infravermelho próximo e médio), e uma banda no infravermelho termal. Segundo SANTOS (1996), este sensor facilitou bastante a identificação pormenorizada de classes de uso da terra.

De acordo com o Item 1.5 que descreve o comportamento espectral dos alvos, a partir da seleção de um conjunto de bandas do espectro eletromagnético, é apresentado a seguir as características das bandas do satélite LANDSAT 5:

Banda 1, compreende à faixa de 0,45 - 0,52 μm do espectro eletromagnético. Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.

Banda 2, compreende à faixa de 0,52 - 0,60 μm . Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade.

Banda 3, compreende à faixa de 0,63 - 0,69 μm . A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.

Banda 4, compreende à faixa de 0,76 - 0,90 μm . Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com *pinus* e *eucalipto*. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.

Banda 5, compreende à faixa de 1,55 - 1,75 μm . Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

Banda 6, compreende à faixa de 10,4 - 12,5 μm . Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.

Banda 7, compreende à faixa de 2,08 - 2,35 μm . Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

2.3.2 Níveis de Processamento das Imagens LANDSAT

Usando a terminologia habitualmente usada no Brasil, as cenas LANDSAT 5, completas, quadrante, digital ou papel, estão disponíveis nos seguintes níveis de processamento:

Nível 4: sem correções geométricas, a não ser para compensar eventuais problemas de qualidade da imagem provocados pelo sistema de scanner, e calibração radiométrica com equalização de sensores.

Nível 5: Adicionalmente as correções existentes no nível 4, correções de sistema, orientado na órbita, reamostrado por "vizinho mais próximo". Aconselhado quando a imagem será usada para estudos de radiometria dos alvos. Já é possível escolher uma projeção cartográfica neste nível de produção (UTM, cônica,...) e um Datum Horizontal (SAD 69, SIRGAS,...).

Nível 6: Adicionalmente as correções existentes no nível 4, correções de sistema, orientado na órbita, reamostrado por "Convolução Cúbica". Resulta numa qualidade gráfica superior da imagem. Também é possível escolher uma projeção cartográfica neste nível de produção.

Nível 7 Sistemático: Geralmente gerado a partir do nível 5 ou 6, são aplicados para este nível de correção os parâmetros orbitais do satélite para obtenção de uma imagem retificada e orientada a Norte. É necessário escolher uma projeção cartográfica neste nível de produção e um Datum Horizontal. A precisão relativa (precisão interna da imagem) alcançada é de 50 m, mais a precisão absoluta (erro de localização externa da cena) pode ser de até 600 m.

Nível 7 Precisão: A imagem é retificada e orientada a Norte e georreferenciada a partir de pontos de controle obtidos em cartas topográficas ou por GPS. É necessário escolher uma projeção cartográfica neste nível de produção e um Datum Horizontal. A precisão relativa alcançada é de 50 m, e a precisão absoluta é também de 50 m.

Imagens do satélite LANDSAT 5 TM são recebidas desde 1984 até 2007, e no momento é único satélite da série LANDSAT que está ainda enviando corretamente informações da Terra.

2.3.3 Aplicações das Imagens LANDSAT

Algumas das aplicações importantes da tecnologia de Sensoriamento Remoto são:

- Avaliação ambiental e monitoramento (crescimento urbano, uso e ocupação do solo);
- Identificação e monitoramento de alterações globais (redução do ozônio atmosférico, desmatamento, efeito estufa, queimadas, inundações);
- Agricultura (condições de culturas agrícolas, previsão de rendimento de safra);
- Exploração de recursos não renováveis (minerais, gás natural);
- Exploração de recursos naturais renováveis (terras, florestas, oceanos);
- Meteorologia (dinâmica de atmosfera, previsão de tempo);
- Mapeamento (topografia, uso do solo, engenharia civil);
- Vigilância militar e reconhecimento (política estratégica, avaliação tática);

Beltrame (1991) afirmou que o satélite LANDSAT 5 TM apresenta distintas aplicações na caracterização e no levantamento de recursos naturais renováveis. Loch (1988) salientou que a resolução espacial de aproximadamente 30 metros fornece condições para identificar, quantificar, avaliar e acompanhar as alterações provocadas na estrutura fundiária do uso do solo e na rede viária. Alves *et al.* (1998) concluíram que a utilização de imagens de satélite tem possibilitado estudos de desmatamento em várias regiões do Planeta, particularmente em regiões tropicais, onde extensões significativas de florestas não poderiam ser monitoradas facilmente sem o recurso dos satélites de Sensoriamento Remoto.

Para atender as necessidades de usuários diversos, estão hoje disponíveis dados de Sensoriamento Remoto com diferentes resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais. Alguns usuários necessitam de dados com baixa resolução espacial e alta resolução temporal (meteorologia, algumas aplicações em agricultura). Outros necessitam dados em alta resolução espacial e baixa resolução temporal (mapeamento) e outros, ainda, requerem altas resoluções, espacial e temporal (vigilância militar). Dados

de Sensoriamento Remoto podem ser utilizados para gerar dados de entrada e validar grandes modelos computacionais, como Modelos de Climas Globais (GCM's – *General Circulation Models*) e modelos de previsão de safras, além de outros.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

As imagens de sensoriamento remoto, por sua natureza digital e discreta, são constituídas de um arranjo de elementos sob a forma de malha ou *grid* e têm sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo linhas (x) e colunas (y), respectivamente. O nome dado a estas células é *pixel* (*picture element*), que possui um atributo numérico “z”, indicando o seu nível de cinza, que varia do preto ao branco (CRÓSTA, 1992). O valor “z” ou CD (contador digital) representa a intensidade da energia eletromagnética medida pelo sensor.

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir e identificar as composições de diferentes materiais da superfície, sendo possível esta distinção e identificação devido ao fato de os materiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético (CRÓSTA, 1992). O principal objetivo dos procedimentos de classificação de imagens é automatizar a categorização de todos os *pixels* de uma imagem dentro de temas ou classes de cobertura da terra (LILLESAND e KIEFER, 1994). O reconhecimento dos objetos na cena é efetuado a partir da análise quantitativa dos níveis de cinza (NOVO, 1992), por meio de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe.

Segundo Centeno (2003), a classificação é uma maneira de tornar a interpretação de imagens mais simples, com o agrupamento de *pixels* em classes, partindo da hipótese que *pixels* que cobrem um mesmo alvo devem ter características espectrais similares.

Conforme a base tomada pela regra de decisão no processo, os classificadores podem ser divididos em: classificadores "*pixel a pixel*" e classificadores por regiões. Os classificadores "*pixel a pixel*" utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada *pixel* para achar regiões homogêneas (SPRING, 1998). São definidos por Lillesand e Kiefer (1994) como procedimentos de reconhecimento de padrões espectrais.

Outra categoria de divisão dos métodos de classificação se refere ao nível de interação do analista no processo de reconhecimento da assinatura espectral das classes, definido como treinamento. O processo pode ser, então, dito como supervisionado ou

não-supervisionado. A seguir na Figura 2.3, tem-se um exemplo dos métodos de classificação.

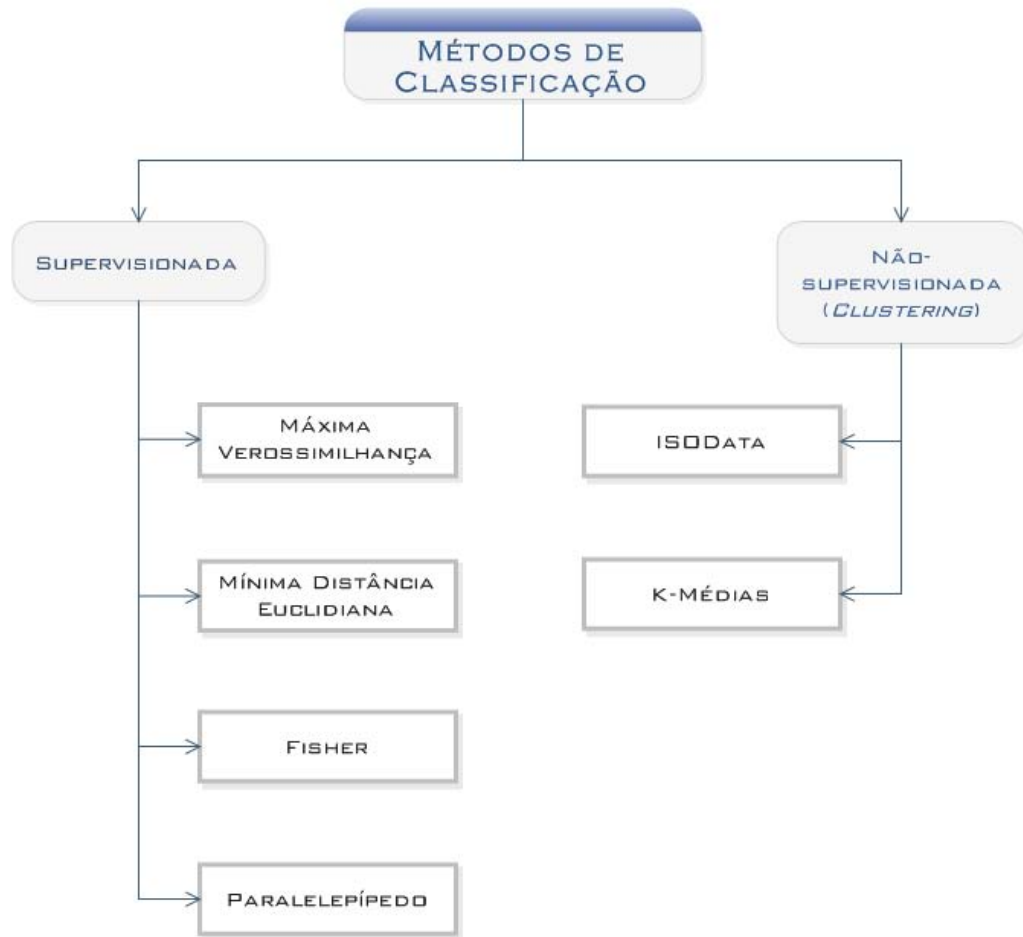


Figura 2.3 – Esquema demonstrando os métodos de classificação.

2.4.1 Métodos de Classificação

Na classificação supervisionada, o classificador orienta sua busca de classes a partir de amostras de treinamento feitas anteriormente com as classes de interesse na cena. Devido à interação do analista na aquisição de amostras, sobre as quais as análises estatísticas são feitas para o processo de classificação, Lillesand e Kiefer (1994); Crósta (1992) e Mather (1999), salientam a importância de um conhecimento prévio sobre a área a ser estudada. No processo, o conjunto de amostras de treinamento de cada classe tem os contadores digitais de seus pixels componentes comparados aos contadores digitais de cada pixel da imagem, para então proceder à classificação (CRÓSTA, 1992).

No processo de classificação não-supervisionada ou também definido como *clustering*, não é necessário a definição de categorias em termos das quais a superfície da Terra será descrita (MATHER, 1999), não havendo qualquer conhecimento prévio do classificador sobre os atributos das classes pertinentes à cena.

O reconhecimento das classes presentes na imagem é efetuado pelo algoritmo classificador, sendo assumido que cada grupo representa a distribuição de probabilidade de uma classe (SPRING, 1998). Os *pixels* nas áreas de treinamento determinam o agrupamento “natural” dos dados, considerando sua distribuição num espaço de atributos de N dimensões (NOVO, 1992).

2.4.2 Qualidade da Classificação

O meio mais comum de expressar a acurácia de uma classificação temática consiste na elaboração de uma matriz de erros ou também conhecida como matriz de confusão e, ainda, tabela de contingência. Esta matriz compara, classe a classe, o relacionamento entre os dados de referência conhecidos (“verdade de campo”) e os correspondentes resultados de uma classificação automática, expressando, desta forma, a maioria das características sobre o desempenho da classificação (LILLESAND e KIEFER, 1994). Segundo Jensen (1996), é a maneira mais efetiva de expressar a qualidade, mostrando para cada classe os erros de inclusão e omissão.

A matriz de contingência é uma matriz quadrada, de dimensão $c \times c$, onde c é o número de classes. Nas colunas está representado o número de pontos, segundo a verdade de campo, amostrado para cada classe, ou também denominado de acurácia do produtor (erros de omissão), a capacidade do classificador de reconhecer um pixel dado de que ele é de uma determinada classe. Nas linhas está o número de pontos encontrado para cada classe segundo a classificação automática, ou acurácia do usuário, que estima o grau de confiança na imagem temática produzida. Dessa forma, a diagonal principal da matriz conterá o número de *pixels* classificados corretamente para cada categoria (ROSOT, 2001).

Através da matriz de confusão é possível também utilizar a técnica de análise multivariada para determinar a concordância do mapeamento com a verdade de campo. Neste sentido, o coeficiente *kappa* (k), deduzido por COHEN, em 1960, vem sendo o utilizado para determinar a qualidade da classificação. Tal coeficiente compara o relacionamento entre dados de referência (“verdades de campo”) e os dados alcançados pela classificação (OLIVEIRA, 1999). De acordo com Moreira (2005), este método

apresenta vantagem por incluir todos os elementos da matriz de erros e não somente os da diagonal principal, como no caso da exatidão geral.

O coeficiente *kappa* apresenta uma estatística que atua como indicador da extensão com que os valores percentuais corretos de uma matriz de erros são devidas as concordâncias “reais” versus concordâncias “ao acaso” (LILLESAND e KIEFER, 1994).

O cálculo do coeficiente *kappa* apresentado por Campbell (1996) utiliza a seguinte equação:

$$\hat{k} = \frac{\text{observado} - \text{esperado}}{1 - \text{esperado}}$$

O “observado” compreende o valor global para a percentagem correta dado pelo somatório dos elementos presentes na diagonal da matriz e dividido pelo total de elementos. O termo “esperado” são os valores calculados com o uso dos totais de cada linha e de cada coluna da matriz, designados pelo autor como marginais. Os produtos das linhas e colunas marginais estimam o número de elementos (*pixels*) assinalados para cada célula da matriz, dado que esses *pixels* sejam assinalados por chance a cada categoria.

De acordo com Campbell (1996), quando o valor de *k* estiver próximo a 1, indica perfeita efetividade de classificação. Um exemplo citado por este mesmo autor apresenta *k*= 0,83, podendo-se concluir que a classificação apresenta uma acuracidade de 83% melhor do que o esperado de uma atribuição aleatória de *pixels* para a categoria.

2.4.3 Classificação Supervisionada

Através da comparação dos CD's dos pixels dos conjuntos de treinamento em cada uma das bandas espectrais com os CD's de cada pixel da imagem, para decidir a qual classe estes pertence.

Para a composição da amostra de treinamento, identifica-se uma área da imagem como representação de uma das classes, é possível definir várias amostras para uma mesma classe, para assegurar que os pixels a ela pertencentes são representativos da mesma.

Existem diversos métodos nos quais os pixels desconhecidos podem ser comparados com os pixels do conjunto de treinamento, tendo como produto final uma imagem classificada, representando um mapa temático.

2.4.4 Método da Máxima Verossimilhança

Entre os classificadores rígidos supervisionados, o da Máxima Verossimilhança é um dos mais utilizados. Conforme Alves (2004), esta é uma técnica que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. A distribuição dos valores de uma imagem numa área de treinamento é descrita por uma função densidade de probabilidade (que representa a probabilidade de se ter uma reflectância X , conhecida a classe w_i , ou, $P(w_i)$ estimada com base na estatística Bayesiana.

Este método considera que as classes ou populações tenham distribuições normais multivariadas, promovendo a ponderação das distâncias entre as médias através de parâmetros estatísticos. Exige um número elevado de pixels para cada conjunto de treinamento, permitindo uma base segura para o tratamento estatístico (CRÓSTA, 1992). Como é mostrado na Figura 2.4 apresentada por Lillesand e Kiefer (1994), onde foram obtidas classes a partir de duas bandas espectrais e plotados os valores de probabilidades em um gráfico tridimensional.

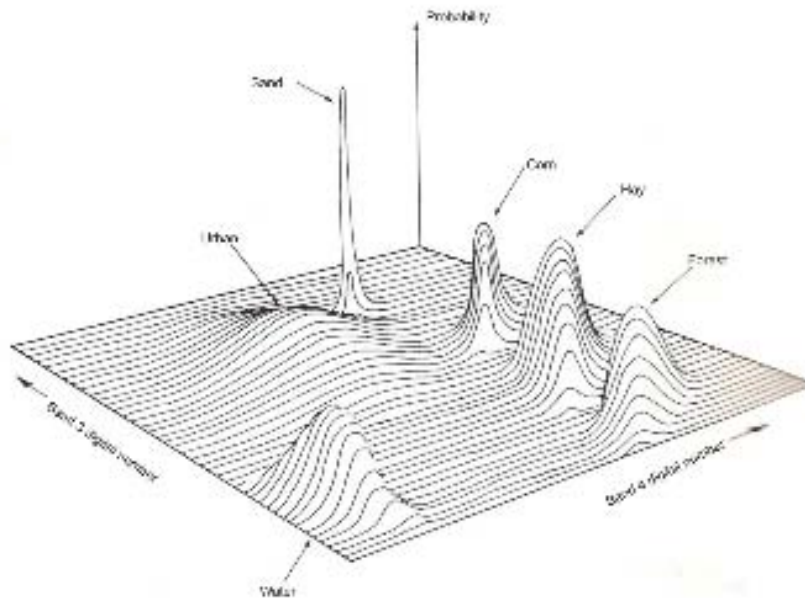


Figura 2.4 – Função densidade de probabilidade definida por máxima verossimilhança. Fonte: Lillesand e Kiefer (1994)

Supondo a normalidade dos dados, a função de decisão do classificador será:

$$G_i(X) = -\frac{1}{2} \ln|\Sigma_i| - \frac{1}{2} (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i) + \ln(P(w_i))$$

Onde:

- $w_i \rightarrow$ classes;
- $X \rightarrow$ contador digital;
- $P(w_i) \rightarrow$ probabilidade “à priori” da classe w_i ;
- $\mu_i \rightarrow$ média da classe w_i ;
- $\Sigma_i \rightarrow$ matriz de covariância da classe w_i .

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi definida como sendo a região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), pois esta é uma região de conhecimento prévio, compondo assim a verdade terrestre. Também conhecida como *Grande Porto Alegre* reúne 31 municípios do estado do Rio Grande do Sul em intenso processo de conurbação. O termo conurbação, refere-se à extensão da capital Porto Alegre, formando com seus municípios limieiros uma mancha urbana contínua. Criada pela Lei Complementar Federal nº 14, de 8 de Junho de 1973, sua delimitação foi posteriormente alterada por diferentes instrumentos legais do governo do Rio Grande do Sul, e não coincide exatamente com os critérios de mesorregião e de microrregião utilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

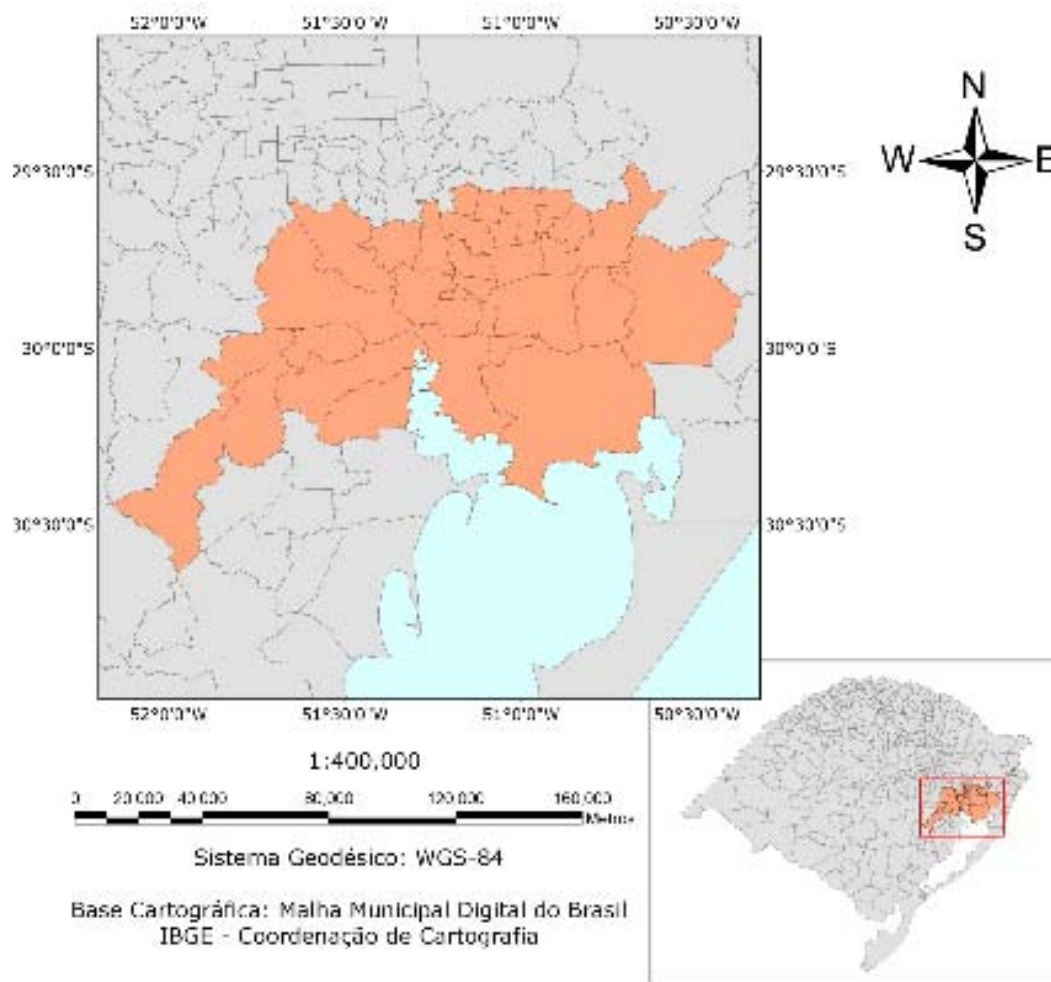
Atualmente compreende 9.800,194 km² e, segundo estimativas do IBGE para 2007, possui 3.959.807 habitantes, sendo a quarta mais populosa do Brasil – superada apenas pelas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, respectivamente. Na Tabela 1 encontra-se a lista dos municípios pertencentes à RMPA, suas áreas e população em 2007.

Tabela 1 – Municípios que compõe a RMPA.

Município	Área (km²)	População (2007)
Alvorada	70,811	207.142
Araricá	35,292	4.781
Arroio dos Ratos	425,938	13.619
Cachoeirinha	43,766	112.603
Campo Bom	61,406	56.595
Canoas	131,097	326.458
Capela de Santana	184,003	10.950
Charqueadas	216,513	33.705
Dois Irmãos	65,156	24.815
Eldorado do Sul	509,699	31.316
Estância Velha	52,378	40.740
Esteio	27,543	78.816
Glorinha	323,641	6.908
Gravataí	463,758	261.150
Guaíba	376,973	93.578
Ivoti	63,138	18.517
Montenegro	420,017	56.790
Nova Hartz	62,558	16.688
Nova Santa Rita	217,868	20.591
Novo Hamburgo	223,606	253.067
Parobé	109,026	48.713
Portão	159,942	28.583
Porto Alegre	496,827	1.420.667
Santo Antônio da Patrulha	1.048,904	37.910
São Jerônimo	937,049	20.506
São Leopoldo	102,313	207.721
Sapiranga	137,519	73.979
Sapucaia do Sul	58,644	122.231
Taquara	457,130	53.428
Triunfo	823,416	23.976
Viamão	1.494,263	253.264
Total	9.800,194	3.959.807

Fonte: IBGE, 2008

Na Figura 3.1 a RMPA é representada espacialmente dentro de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).



3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

O clima compreende um padrão dos diversos elementos atmosféricos que ocorrem na atmosfera da Terra. Fenômenos como frentes frias, tempestades, furacões e outros estão associados tanto às variações meteorológicas previstas pelas leis físicas determinísticas, assim como a um conjunto de variações aleatórias dos elementos meteorológicos (temperatura, precipitação, vento, umidade, pressão do ar) cuja principal ferramenta de investigação é a estatística.

O glossário do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) define clima, num sentido restrito como “tempo meteorológico médio” ou como a descrição estatística de quantidades relevantes de mudanças do tempo meteorológico num período de tempo, que vai de meses a milhões de anos. O período clássico é de 30 anos, definido

pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Essas quantidades são geralmente variações de superfície como temperatura, precipitação e vento.

As mais diversas atividades humanas possuem uma forte integração com a meteorologia, ciência que estuda os fenômenos da atmosfera terrestre, com foco nos processos físicos que envolvem múltiplas escalas e na previsão do tempo, vem crescendo gradualmente a cada dia. Dos vários problemas práticos envolvendo a meteorologia podemos citar alguns, como a avaliação do impacto das atividades humanas sobre o meio atmosférico (por exemplo, poluição do ar, modificação da composição da atmosfera), e o fornecimento das informações estatísticas básicas da atmosfera necessárias para planejamento de longo prazo (por exemplo, zoneamento de uso do solo, projeto de edifícios, especificações para aeronaves).

3.2.1 O Clima no Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul situa-se no extremo meridional do país, entre as latitudes de 27° e 34° Sul (S) e as longitudes de 50° e 57° Oeste (W). O clima varia nas diversas regiões sul-rio-grandenses conforme a altitude e a proximidade da costa marítima. Nas zonas elevadas da serra os invernos são frios, com ocorrência de fortes geadas e às vezes neve. A média de temperatura para o estado é de 18°C.

O clima predominante no território gaúcho é o subtropical, sendo que na região do Planalto Serrano o clima é subtropical de altitude, com temperaturas médias inferiores a 20° C e chuvas abundantes, regularmente distribuídas. Devido à latitude, na região do Pampa Gaúcho as médias térmicas são inferiores a 18° C.

Janeiro e fevereiro são os meses de mais quentes, e a região mais quente é o Vale do Baixo Uruguai, já foi registrado nessa região a máxima de 42,6°C em Jaguarão. O vento mais conhecido e tradicional do Estado, o minuano ou pampeiro, oriundo dos Andes argentinos é extremamente frio e seco, soprando somente no inverno. As estações do ano são bem definidas no Rio Grande do Sul, sendo sentidos, em suas características peculiares, o inverno, a primavera, o verão e o outono.

O regime pluviométrico é bastante regular e as chuvas são bem distribuídas durante todo o ano no estado. A média pluviométrica anual é de 1.643 mm, embora haja regiões mais ou menos chuvosas. Com referência à estiagem, é raro o fenômeno de secas prolongadas, embora a região da Campanha ao sudoeste do estado, pertencente ao

Bioma Pampa, apresenta o fenômeno, em alguns dias do ano, com certa intensidade, a ponto de ameaçar os rebanhos. Metade dos dias do ano são dias de sol. Através da Figura 3.2 são ilustrados os biomas presentes no Rio Grande do Sul.



Figura 3.2 – Mapas de Biomas do RS. Fonte:
<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/>

Segundo a classificação, o Rio Grande do Sul se enquadra na zona fundamental temperada ou “C”, isto é, com temperatura do mês mais frio próxima a 3°C, e no tipo fundamental “Cf”: clima temperado úmido, com chuvas distribuídas por todo ano. Como uma subdivisão do tipo fundamental “Cf”, o estado costuma ser classificado em duas variedades específicas: clima subtropical, “Cfa”, cuja temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio oscilando entre 3° e 18°C. Neste último caso, encontra-se a parte mais elevada do estado, como a região Nordeste, com altitudes superiores a 600m. Isso ocorre ainda no escudo rio-grandense, onde a altitude é da ordem de 400 m. A Figura 3.3 demonstra as unidades geomorfológicas que compõe o estado.



Figura 3.3 – Unidades Geomorfológicas do RS. Fonte:

<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/>

3.2.2 O Clima na RMPA

Os fenômenos atmosféricos que atuam sobre uma região são utilizados como base na determinação da climatologia local. Entre os mais importantes fenômenos, podemos citar a passagem de sistemas frontais, sobre a região de Guaíba, sendo responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos registrados. A trajetória desses sistemas está intimamente ligada ao posicionamento e intensidade da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul. Outro fator de extrema importância que exerce influência no regime das chuvas, assim como também no comportamento de demais variáveis, é o posicionamento da cidade, em uma região litorânea, banhada pelo lago rio Guaíba e próximo ao Oceano Atlântico.

Guaíba encontra-se na faixa climática temperada. Segundo a classificação climática de Köppen, esta zona caracteriza-se por um clima subtropical úmido (Cfa), por apresentar temperaturas médias do mês mais quente superiores a 22°C e chuvas bem distribuídas no decorrer do ano, com quatro estações bem distintas ao longo do ano e marcadas pela constante variação dos elementos formadores do tempo meteorológico (temperatura, formação de nuvens, pluviosidade, umidade, pressão, regime de ventos).

Em Porto Alegre, o clima é subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios e chuvosos, segundo a classificação de Köppen, demonstrando uma forte amplitude térmica anual, farta distribuição anual de chuvas praticamente um período seco inexistente.

A temperatura média em janeiro é de 25°C, e em julho é de 14°C, com as temperaturas recordes de 40,7°C em 01 de janeiro de 1943 e de -4,0°C em julho de 1918. A média anual é de aproximadamente 19,4°C. As geadas ocorrem algumas vezes durante o ano. A média anual de chuva é de 1299 mm.

3.2.3 Caracterização climática do dia 09/01/2007

O dia 09 de janeiro de 2007, foi um dia típico de verão, parcialmente nublado com temperatura média 25°C, umidade relativa do ar em torno de 64% e pressão atmosférica média registrada de 1006 hPa. Nas Figuras 3.4 e 3.5 pode-se observar as imagens do Satélite Meteorológico GOES, caracterizando o dia em estudo.

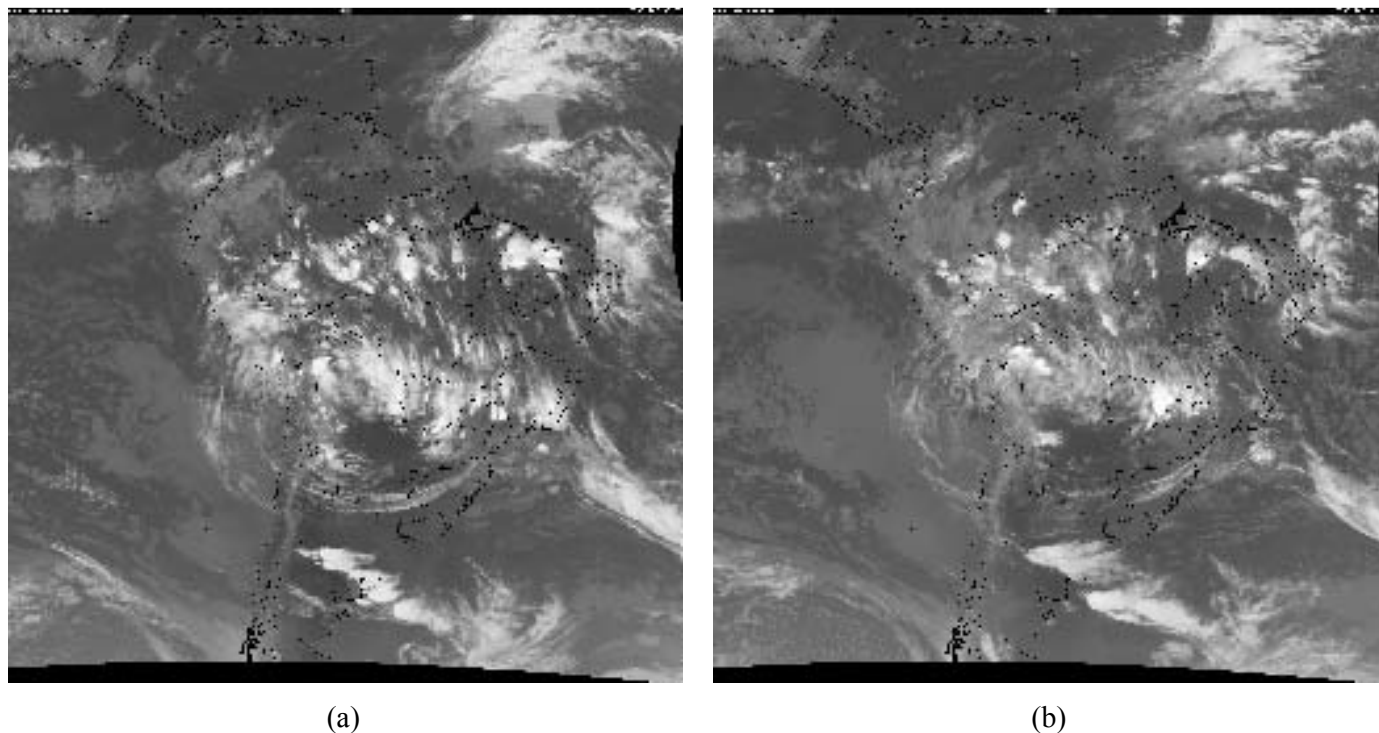
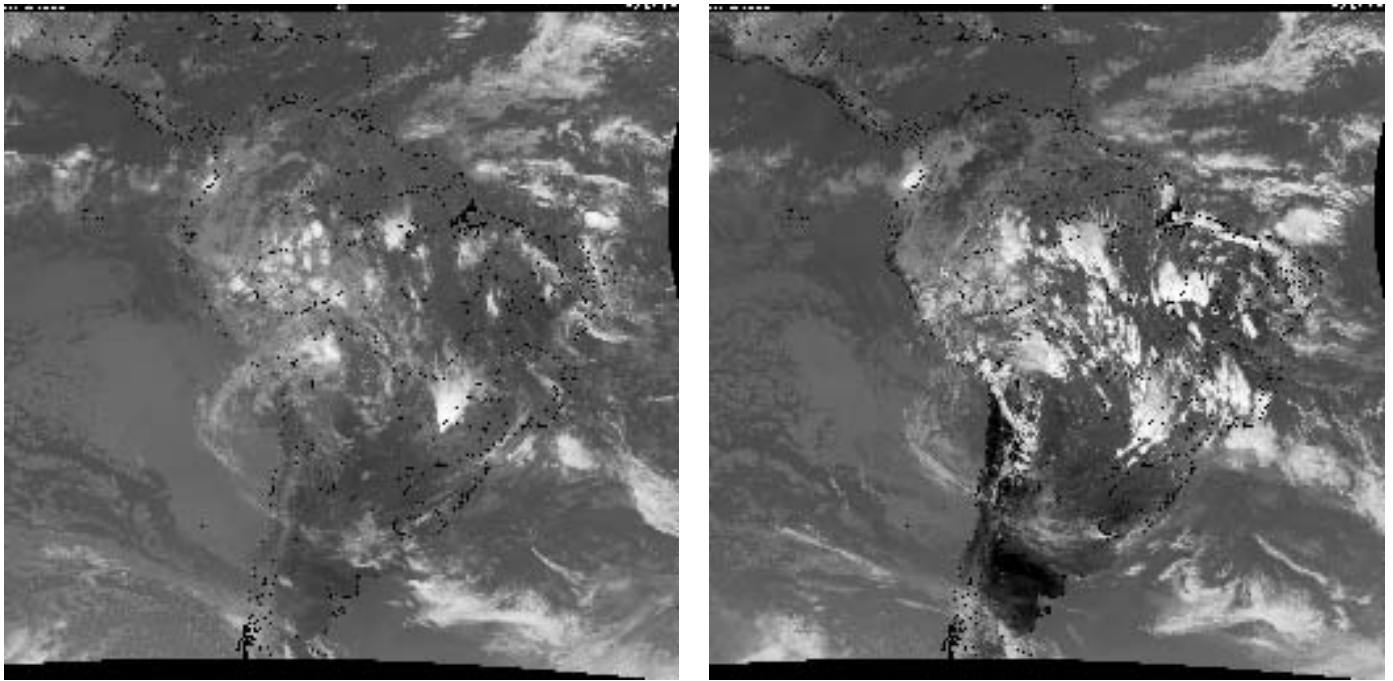


Figura 3.4 – Imagem GOES do dia 09/01/2007 em (a) à 0h e em (b) às 6h. Fonte:
http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp



(a)

(b)

Figuras 3.5 – Imagem GOES do dia 09/01/2007 em (a) à 12h e em (b) às 18h. Fonte:
http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp

3.3 CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DOS ALVOS

Conforme Steffen *et al.* (1996) o fluxo de radiação eletromagnética (REM) ao interagir com um objeto pode ser parcialmente refletido, absorvido e transmitido. Os fluxos resultantes têm valores que dependem das propriedades do objeto.

Pode-se medir a reflectância, ou seja, a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido, nas faixas do espectro correspondente ao visível e infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas e construir um gráfico onde aparece a reflectância no eixo y e as faixas no eixo x. Selecionando um conjunto de bandas bem estreitas e adjacentes consegue-se um gráfico conhecido como “assinatura espectral” que representa de forma mais detalhada o resultado da interação da energia radiante com o objeto. A Figura 1.3 mostra as assinaturas espectrais dos principais alvos na superfície da terra.

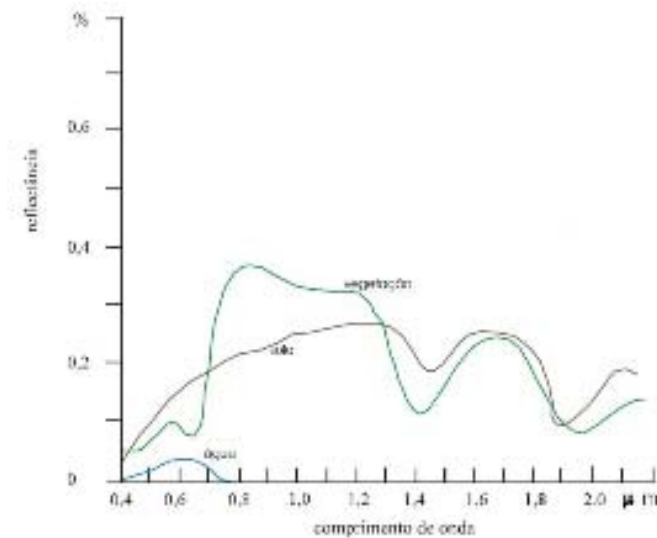


Figura 3.6 – Assinaturas espectrais dos principais objetos terrestres. Fonte: adaptada de Steffen et al. (1996)

Entre os principais alvos que apresentam características particulares, a vegetação, tem sua interação com a REM representada pelas folhas, onde na faixa do visível (0,4 a 0,7 μm) a maior parte da mesma é absorvida. Os responsáveis por esta absorção no azul e vermelho são os pigmentos tipo clorofilas, carotenos e xantofilas. Na região de 0,7 a 1,3 μm a estrutura celular responde pelo aumento da reflectância atingindo aproximadamente 30%. Já na região de 1,3 a 3,0 μm a reflectância é decrescente em função do teor de água existente no vegetal.

Para Steffen *et al* (1996), corpos d'água com material em suspensão apresentam baixa reflectância entre 0,38 a 0,7 μm, absorvendo toda a REM acima de 0,74 μm. Novo (1992) estudou o efeito da concentração de sedimentos na reflectância espectral da água e verificou que o aumento na concentração de sedimentos implica em um aumento da reflectância não linear e mais acentuado na faixa do vermelho.

Swain e Davis (1978) afirmam que a composição e a estrutura cristalina dos elementos minerais primários são fatores determinantes na reflectância dos solos. E que da mesma forma são relevantes a quantidade de matéria orgânica e óxido de ferro, a presença em porcentual de argila, silte e areia e a textura superficial.

3.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DA IMAGEM

Para o Modelo BRAMS as imagens necessitam possuir o mesmo numero linhas e colunas, portanto foi criado um vetor polígono, o qual contempla a RMPA, sendo ilustrado a seguir pela Figura 3.3, usado para a criação do recorte da imagem original.

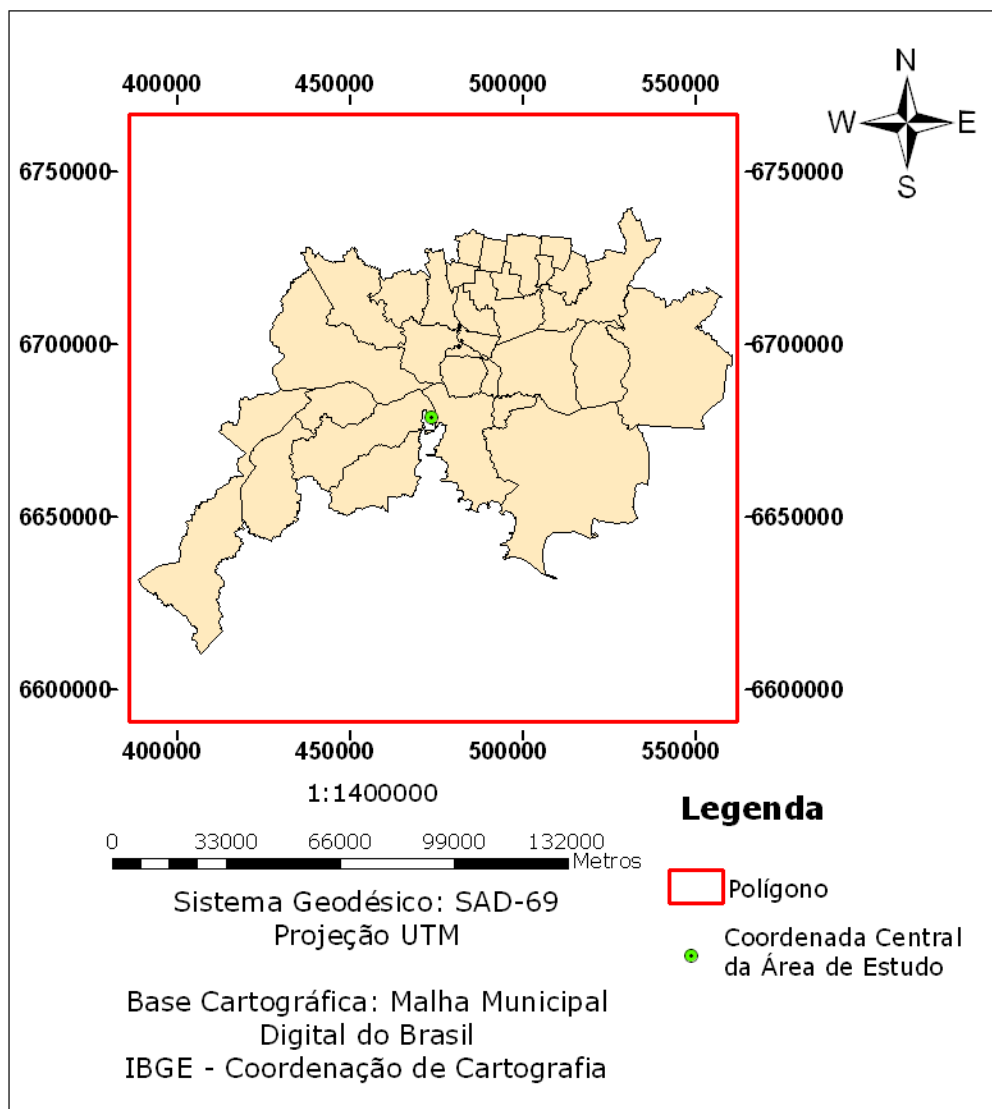


Figura 3.7 – Polígono que engloba a área de estudo.

O sistema de referência adotado foi o *World Geodetic System 1984* (WGS-84), utilizando Sistema de Coordenadas Geográficas.

As imagens foram adquiridas na Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE (Instituto nacional de Pesquisas Espaciais), de forma gratuita. O INPE disponibiliza as imagens com suas bandas espectrais separadas. Para que seja possível efetuar a classificação das imagens é necessário unir essas bandas em um único arquivo para que seja possível trabalhar com dados na forma multidimensional.

Estas imagens utilizadas compreendem duas cenas da série LANDSAT órbita ponto 221 080 e 221 081 respectivamente. Devido ao nível de processamento destas imagens, foi possível criar o mosaico das duas cenas diretamente, utilizando a ferramenta *Pixel Based Mosaic* no software *Envi*TM.

Foi utilizada uma imagem correspondente às bandas 1 à 7 (com exceção da banda 6) do sensor TM do satélite LANDSAT 5. Sendo esta imagem de 01 de dezembro de 2006, data mais próxima da escolhida para rodar o modelo de previsão em que a imagem apresentava 0% de cobertura de nuvens. Da imagem original fez-se um recorte de 6830 x 6830 pixels, representado na Figura 3.4, e para o processamento dos dados, foi utilizado o software MultiSpec Application 3.1TM.

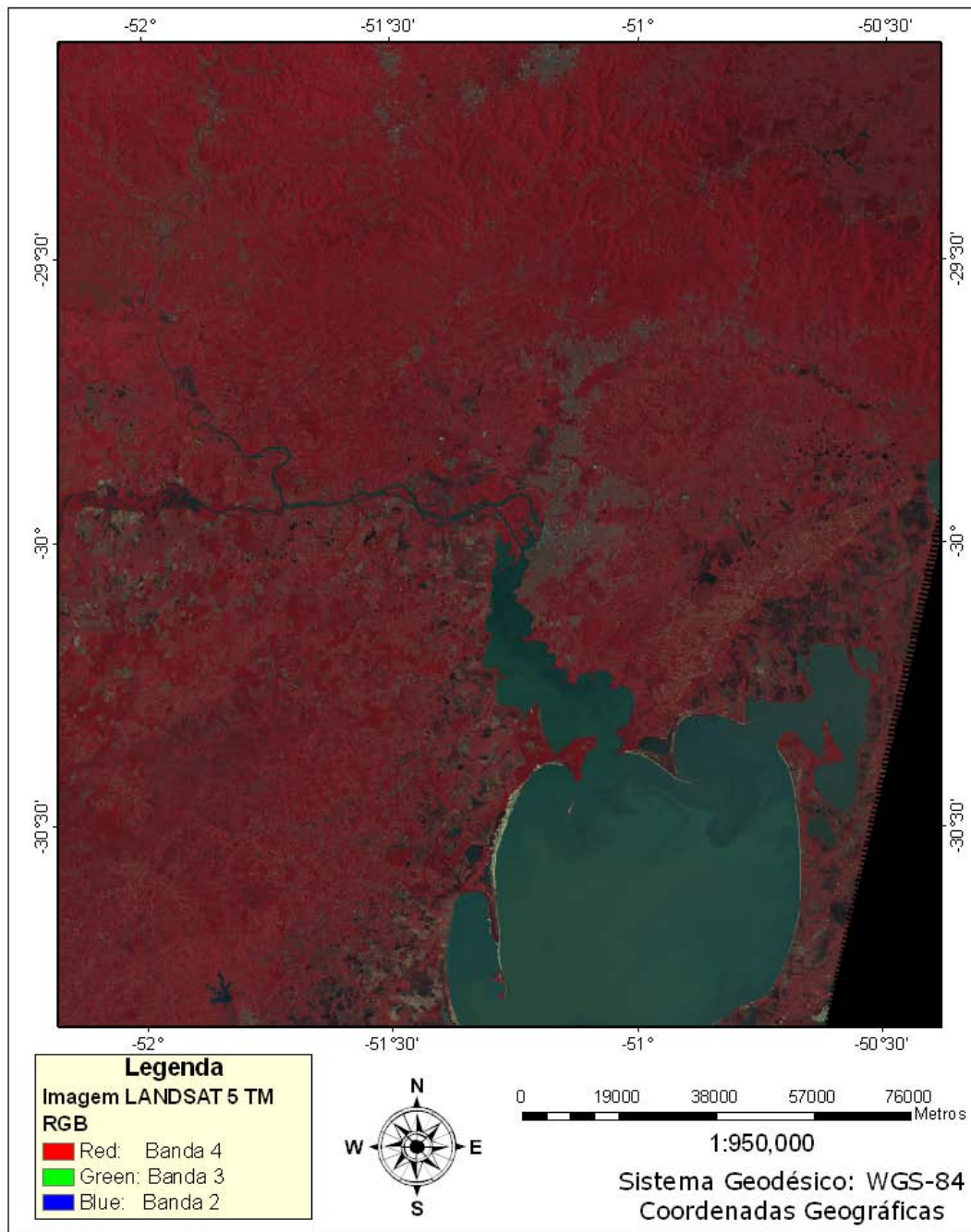


Figura 3.8 – Imagem LANDSAT 5 TM em recorte representativo da área de estudo.

3.5 CONVERSÃO DE DADOS DE VEGETAÇÃO E DE TOPOGRAFIA PARA INSERÇÃO NO BRAMS

O modelo recebe como informações de entrada, dados de observações de superfície e altitude, subprodutos gerados de satélite ou então resultados de modelos numéricos, e estes dados necessitam estar em arquivo com formato compatível com o código do mesmo, para serem processados posteriormente.

Para tanto, foi desenvolvido por Freitas (2009), dois programas em linguagem FORTRAN™, capazes de ler as informações oriundas das imagens do sensor TM e da SRTM, e converter tais dados para linguagem do modelo.

No *MKVeg* são convertidas as informações de cobertura vegetal e uso do solo, a partir da imagem temática, gerada pela classificação da imagem LANDSAT original. As classes utilizadas foram adequadas à classificação de Olson, utilizada pelo BRAMS. Conforme Gouvêa (2007), usualmente é utilizado como condição de superfície, tanto para fins acadêmicos quanto operacionalmente em centros de previsão, o mapa de ocupação do solo fornecido pelo programa IGBP (*International Geosphere Biosphere Programme*) do USGS (*United States Geological Survey*), com resolução de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km na região equatorial), o qual possui uma classificação com 17 tipos de superfícies, como diferentes tipos de vegetação, plantações, corpos d'água, entre outros. A partir deste mapa o modelo numérico faz uma conversão para a sua própria codificação de tipos de ocupação do solo. Os parâmetros característicos destes tipos de superfícies são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Codificação dos tipos de superfície, da base de dados do USGS e equivalente em Olson.

IGBP	Olson	Tipo de superfície
1	3	Floresta sempre verde de folhas estreitas
2	6	Floresta sempre verde de folhas largas
3	4	Floresta decídua de folhas estreitas
4	5	Floresta decídua de folhas largas
5	5	Floresta mista
6	16	Arbustos fechados
7	16	Arbustos
8	18	Savana silvestre
9	18	Savana
10	7	Gramado
11	44	Pântano
12	31	Lavoura
13	1	Urbano 1
14	31	Mosaico de vegetação natural/lavoura
15	12	Neve e gelo
16	11	Solo com vegetação esparsa
17	15	Corpos d'água
19	2	Cana
50	95	Urbano 2
100	10	Sem informação/dados

Fonte: adaptada por FREITAS (2003).

Os valores destacados em negrito, não pertencem à classificação de Olson, foram adaptações propostas por Freitas (2003), para estes tipos de superfície.

O Modelo Numérico do Terreno consiste em um conjunto de dados com informações de elevação da área representada, através de uma matriz numérica referenciada a um sistema de coordenadas espaciais. Com o uso do programa *MKTopo* são trabalhadas as informações oriundas do MNT, e através da Figura 3.7 são possíveis visualizar este em detalhe para todo o estado e em destaque a área de estudo.

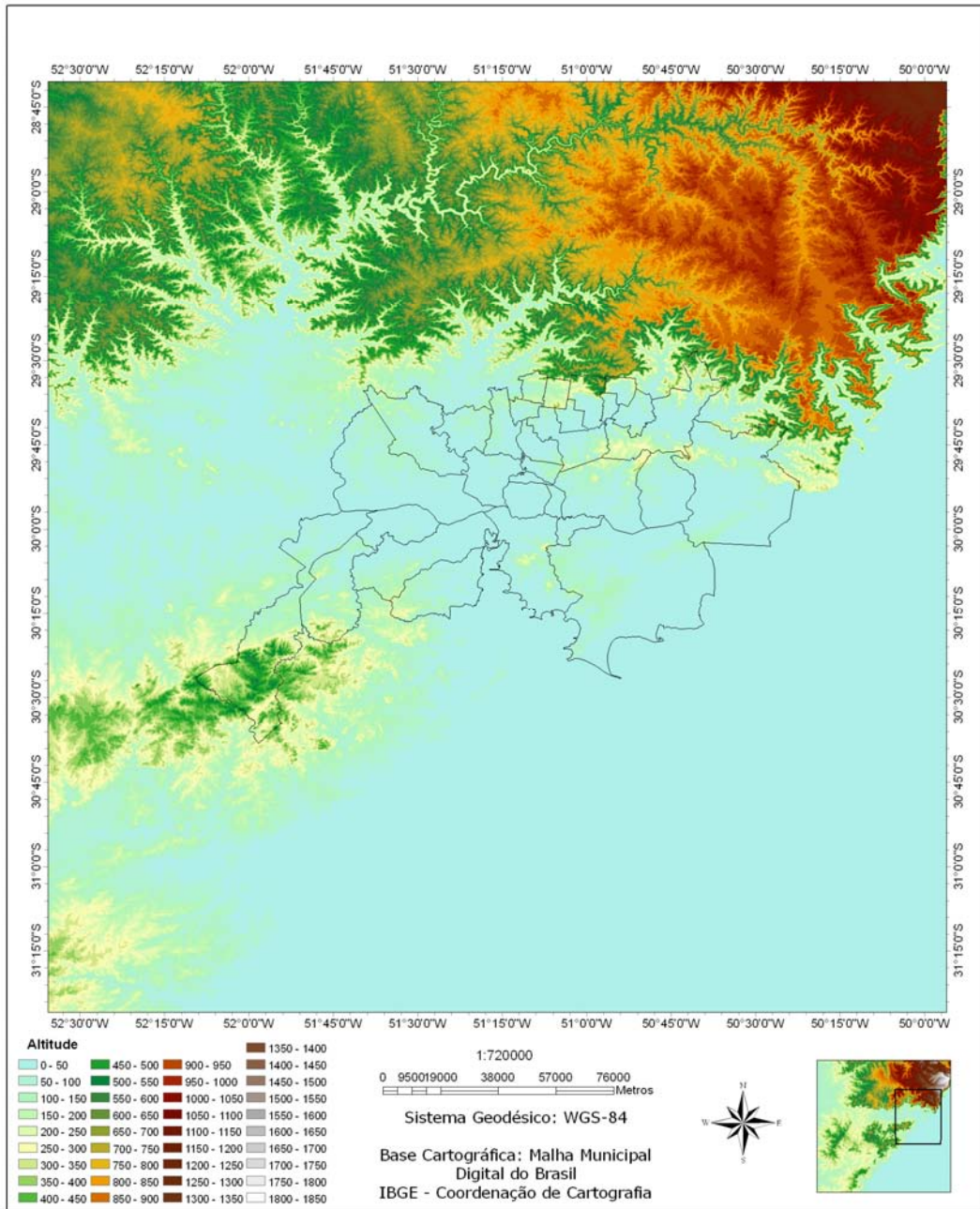


Figura 3.9 – Modelo Numérico do Terreno, em destaque a RMPA.

3.6 PROCESSAMENTO NO MODELO BRAMS

Este estudo foi desenvolvido aplicando uma implementação desenvolvida no Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER), à modelagem numérica executada pelo modelo de mesoescala BRAMS. Avaliando a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), como área de estudo num período de 24 horas correspondente ao dia 09 de janeiro de 2007. Foram associadas às condições

meteorológicas ao Modelo, inicializando a partir de análises do modelo global do CPTEC/INPE.

O modelo BRAMS é constituído de diferentes sub-rotinas, que permitem ser alteradas e recompiladas. Neste estudo foram realizadas alterações em duas sub-rotinas existentes no modelo. A primeira referente à topografia foi alterada a partir de uma nova malha de dados, extraídas da Missão SRTM. Dados de elevação foram gerados pelo modelo numérico de terreno, e então inseridos no modelo de previsão.

A outra sub-rotina modificada é a referente aos dados de vegetação, utilizando informações de cobertura vegetal, a partir de imagens do sensor TM à bordo do Satélite LANDSAT 5.

Originalmente as informações, de topografia e vegetação possuíam uma resolução de 90 e 30 metros, respectivamente, mas os dados foram reamostrados para 500 metros, evitando assim a instabilidade durante o processamento computacional no BRAMS.

Para iniciar a simulação foi feito um pré-processamento, onde neste trabalho, foram inseridos dados de entrada do modelo global do Centro de Previsão do Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), e também dados da área de interesse, sendo estes últimos transformados em arquivos de vegetação e topografia, para então serem interpolados às grades seleccionadas. A fase seguinte, a de processamento, é responsável pelas integrações no tempo das variáveis, gerando arquivos de análises, que contém a informação gerada pela simulação. Os dados contidos nas análises são transformados em novo formato, separados grade a grade, em extensão possíveis de serem manipuladas em programas de visualização. A Figura 3.8 representa o organograma com o esquema da seqüência da simulação, com destaque para a alteração feita.

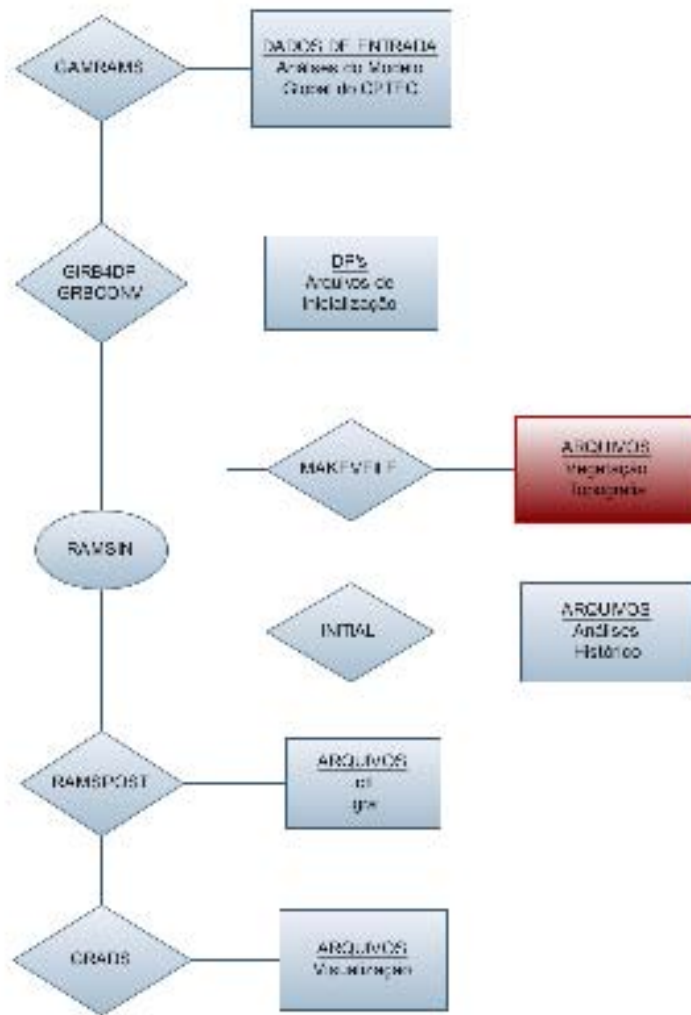


Figura 3.10 – Organograma de inicialização do BRAMS. Fonte adaptado de PAZ, 2004.

Para execução do BRAMS, é necessário que a partir dos arquivos GRB (dados das condições iniciais) sejam gerados arquivos DP (armazenando arquivos com dados do modelo global ajustado para a grade especificada), sendo o formato de entrada do modelo. Para gerar os DP's, também são necessários os arquivos: *grib2dp*, *grbconv* e arquivos de configuração.

A etapa de pré-processamento do BRAMS corresponde à geração dos arquivos de inicialização de variáveis (IV's). Isto é feito executando-se o BRAMS com o atributo *RUNTYPE* configurado como *MAKEVFILE*. O segundo modo de inicialização é o atributo *RUNTYPE* como *MAKESFC* gerando arquivos de superfície do modelo (topografia, temperatura de superfície e do mar e cobertura de vegetação) para a área limitada.

Depois que os IV's são gerados, o modelo é executado utilizando o arquivo RAMSIN com o atributo *RUNTYPE* configurado como *INITIAL*, para gerar as saídas da

integração. A execução do BRAMS ocorre em processamento paralelo, pois é a que requer maior tempo de processamento.

O pós-processamento é feito através do *RAMSPOST*, gerando os arquivos GRA e CTL. Ele é o responsável por criar as figuras das variáveis necessárias para a aplicação meteorológica. Os arquivos GRA, que são utilizados pelo *GrADS*TM para gerar imagens e obter informações em pontos da grade.

O BRAMS foi inicializado com as informações de análise meteorológicas do modelo global do CPTEC/INPE, referente aos horários da 00 UTC (Tempo Universal Coordenado, equivalente ao horário de Londres, que corresponde a 3 horas a mais em relação ao horário de Brasília). Três grades centradas na coordenada central da área de estudo (30,02° S e 51,27° W) foram aninhadas, com resoluções horizontais de 16, 4 e 1 km para as grades 1, 2 e 3, respectivamente.

Fazendo uso destas informações, foram efetuadas duas simulações distintas no modelo numérico BRAMS, onde dois fatores, topografia e tipo de vegetação foram alterados. As simulações referem-se a dois ensaios variados, intercalando a utilização dos dois fatores. O resultado é a contribuição individual de cada uma das variáveis e o efeito da interação entre elas, quando o comportamento destas é relacionado com a inicialização do Modelo sem alteração, para a análise da contribuição individual e a interação entre os fatores tipo de vegetação e a topografia que abrange a área da RMPA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos com este trabalho, de acordo com a metodologia apresentada, representada pela Figura 4.1. Encontram-se os resultados obtidos, com a classificação da imagem TM e o processamento dos dados, no modelo BRAMS, com e sem a implementação. O caráter de escolha dos dias selecionados no estudo foi de acordo com a época da imagem em estudo, para tanto se usou os dias 8 a 10 de janeiro de 2007 para rodar o modelo de previsão.

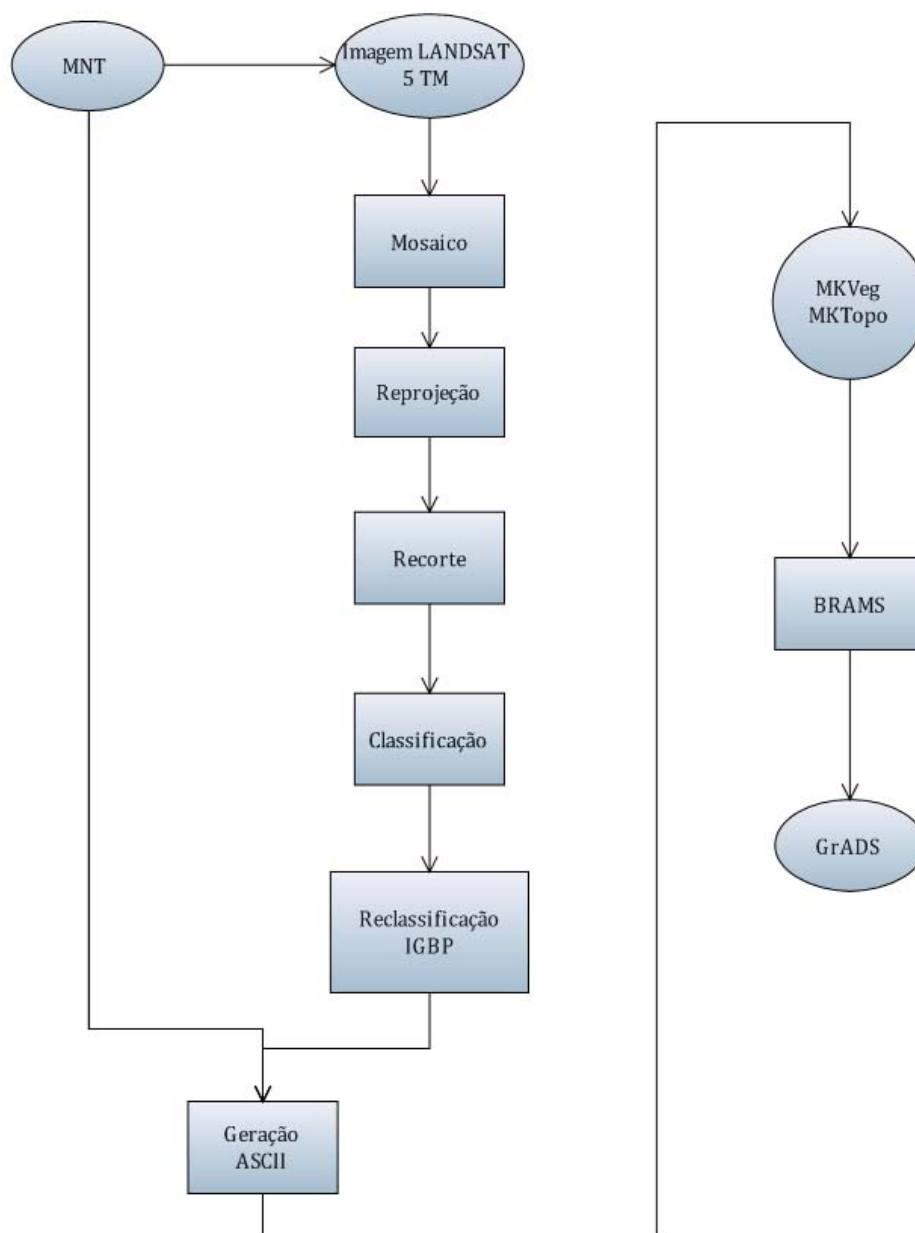


Figura 4.1 – Esquema representando as etapas da metodologia.

Conforme o que foi exposto no Item 3.1, foi gerado um arquivo em formato *ascii*, a partir do recorte referente à área de estudo, com valores de altimetria provenientes do MNT da imagem da missão SRTM.

A imagem TM foi classificada, através do método da máxima verossimilhança, demonstrado na Seção 3.4.1, sendo o resultado obtido demonstrado na Figura 4.2 representada abaixo.

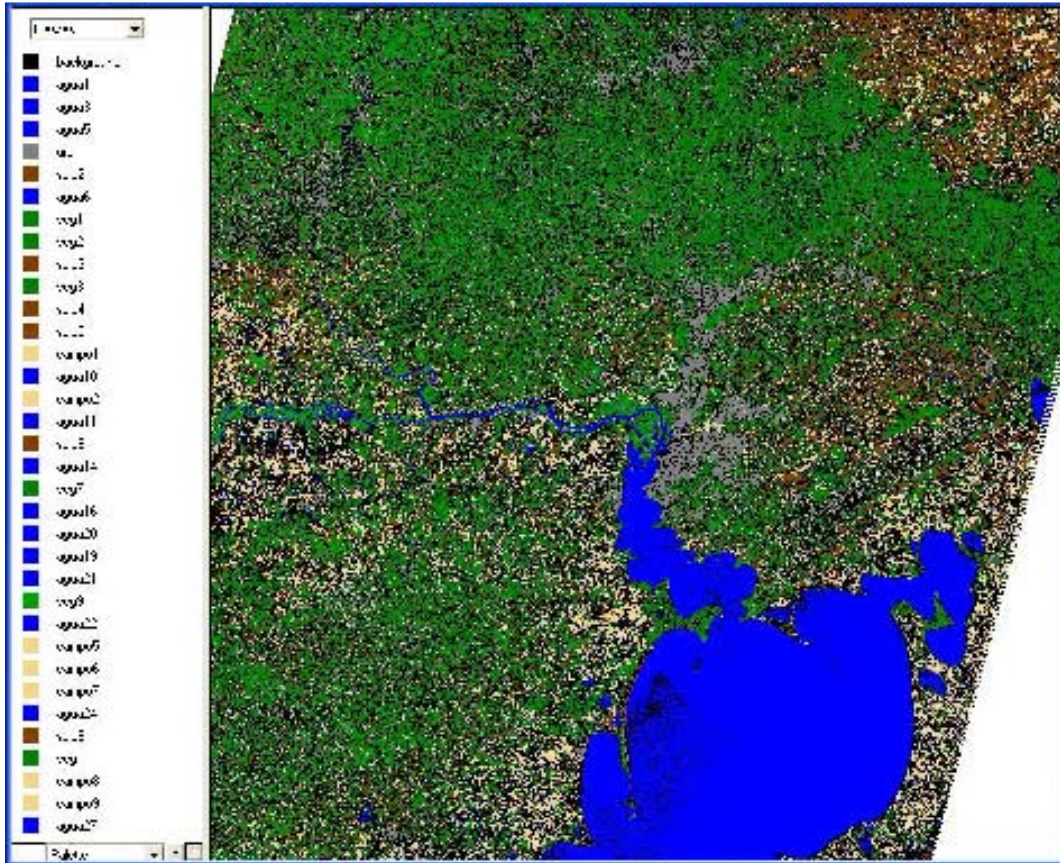
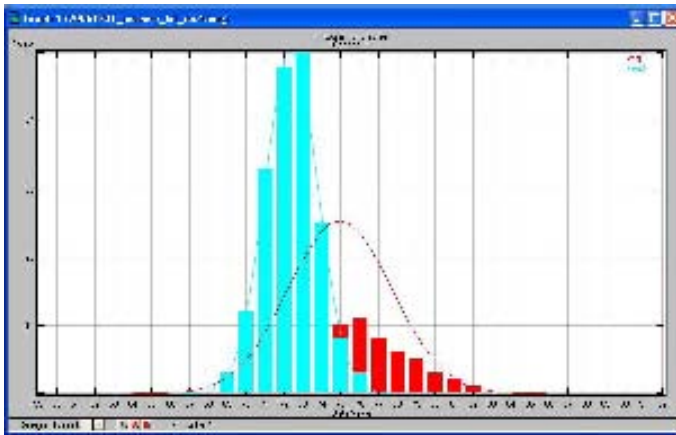
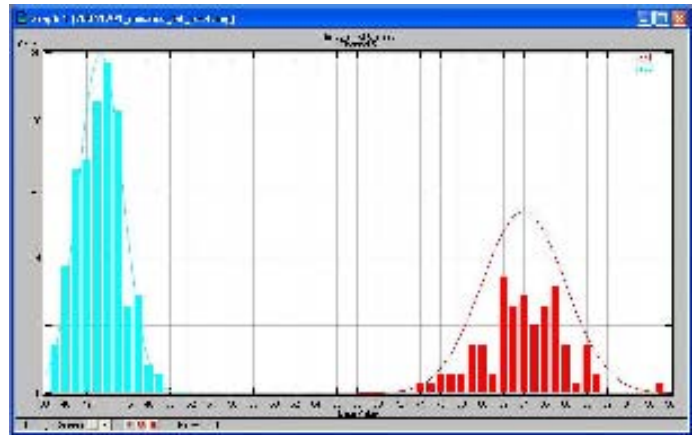


Figura 4.2 – Imagem temática gerada pela classificação.

Foram definidas amostras de treinamento e de teste para o classificador a partir das classes representativas da imagem. Foram definidas ao todo 40 classes com diferenças espectrais, porém estas representam apenas 5 classes temáticas (área urbana, solo exposto, corpos d'água, lavouras e vegetação arbórea). Estas classes temáticas baseiam-se na verdade terrestre, de conhecimento prévio, e definida pro semelhança visual, pela utilização da ferramenta Google EarthTM. Devido à grande diferença na resposta espectral destes alvos fez-se necessário tal separação, a seguir, na Figura 4.3 é exemplificado o caso dos corpos d'água por seus histogramas.



(a)



(b)

Figura 4.3 – Histogramas das classes de água, (a) corresponde a duas classes de vegetação na banda 1 da imagem e (b) as mesmas duas classes na banda 5, demonstrando assim sobreposição das classes, variando de banda a banda na imagem.

Este exemplo evidencia na prática, que a resposta espectral de um alvo esta relacionada à composição do mesmo, como presença de teor de água na planta, ou a fase. Fazendo com que ocorra uma diferença significativa na posição espacial de seus pixels nas bandas que compõe a imagem, apesar de serem neste caso duas classes dentro da mesma classe temática.

A qualidade da classificação da imagem foi analisada através da matriz de contingência, de acordo com a Seção 2.4.2 deste trabalho. A seguir, na Tabela 3 tem-se a Matriz de Contingência obtida após a classificação.

Tabela 3 – Matriz de contingência da classificação.

		TRAINING CLASS PERFORMANCE (Leave-One-Out Method)														
Class	Accuracy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Name	(%)	agua1	agua3	agua5	urb	solo2	agua6	veg1	veg2	solo3	veg3	solo4	solo5	campo1	agua10	campo2
agua1	99.6	22145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua3	99.7	0	1023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua5	99.8	0	0	1649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
urb	99.7	0	0	0	362	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo2	98.8	0	0	0	0	249	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
agua6	98.3	0	0	0	0	0	289	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg1	98.9	0	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0
veg2	100	0	0	0	0	0	0	0	177	0	0	0	0	0	0	0
solo3	97.1	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0
veg3	99.5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	181	0	0	0	0	0
solo4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0
solo5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88	0	0	0
campo1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101	0	0
agua10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	239	0
campo2	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	88
agua11	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo6	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua14	99.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg7	99.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua16	96.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua20	99.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua19	99.2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua21	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg9	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua22	98.4	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo6	98.7	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo7	98.5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo8	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua25	97.7	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
campo8	98.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua27	94.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua28	83.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua29	89.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
back	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua30	99.8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua31	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Accuracy	Reliability (%)	100	99.3	99.9	99.5	97.6	100	100	98.3	100	100	100	97.8	100	100	100

Tabela 4 – Matriz de contingência da classificação (cont. 1).

		TRAINING CLASS PERFORMANCE (Leave-One-Out Method)															
Class	Accuracy	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Name	(%)	agua1	solo6	agua14	veg7	agua16	agua20	agua19	agua21	veg9	agua22	campo5	campo6	campo7	agua24	solo8	
agua1	99.6	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua3	99.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
agua5	99.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
urb	99.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
solo2	98.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua6	98.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
veg1	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
veg2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
solo3	97.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
veg3	99.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
solo4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
solo5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
campo1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
campo2	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua11	100	224	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
solo6	99	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua14	99.5	0	0	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
veg7	99.6	0	0	0	269	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua16	96.6	0	0	0	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua20	99.8	0	0	0	0	0	7072	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
agua19	99.2	0	0	0	0	0	0	1266	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua21	98.9	0	0	0	0	0	0	0	265	0	5	0	0	0	0	0	
veg9	98	0	0	0	0	0	0	0	0	149	0	0	0	0	0	0	
agua22	98.4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	442	0	0	0	0	0	
campo5	100	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	
campo6	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152	0	0	0	
campo7	98.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	0	0	
agua24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	
solo8	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
agua25	97.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
campo8	98.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
campo9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua27	94.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua28	83.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua29	89.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
back	100	0	0	0	0	0	0	1	9	0	0	0	0	0	0	0	
agua30	99.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
agua31	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
solo9	100	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Accuracy Reliability (%)		100	100	100	99.3	100	98.8	99.8	96.7	99.3	98.2	100	100	99.7	100	100	

Tabela 4 – Matriz de contingência da classificação (cont. 2).

TRAINING CLASS PERFORMANCE (Leave-One-Out Method)											
Class	Accuracy	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Name	(%)	agua25	campo8	campo9	agua27	agua28	agua29	back	agua30	agua31	solo9
agua1	99.6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
agua3	99.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua5	99.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
urb	99.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo2	98.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua6	98.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg1	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo3	97.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg3	99.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo4	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo2	98.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua11	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo6	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua14	99.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
veg7	99.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua16	96.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua20	99.8	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
agua19	99.2	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
agua21	98.9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
veg9	98	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua22	98.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo6	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
campo7	98.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
solo8	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
agua25	97.7	292	0	0	0	0	5	0	0	0	0
campo8	98.8	0	164	0	0	0	0	0	0	0	2
campo9	100	0	0	138	0	0	0	0	0	0	0
agua27	94.6	0	0	0	53	0	3	0	0	0	0
agua28	83.5	0	0	0	0	66	1	0	0	0	0
agua29	89.5	0	0	0	6	0	51	0	0	0	0
back	100	0	0	0	0	0	0	45375	0	0	0
agua30	99.8	0	0	0	0	0	0	0	6131	0	0
agua31	98.7	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0
solo9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
Accuracy Reliability (%)		99.7	100	100	89.8	85.7	85	100	99.8	100	97.9

Analisando a acurácia do usuário (*Reliability Accuracy*), isto é, o grau de confiança na imagem temática produzida pelo classificador, nota-se que o método obteve resultados satisfatórios, com valores acima de 85%. A definição da verdade terrestre foi decidida dentro deste método de classificação pelo processo *Leave-one-out*, considerada a abordagem que reduz de forma mais eficiente a tendenciosidade dos dados. A acurácia do produtor (*Accuracy*) que define a capacidade do classificador de reconhecer um pixel dado que ele é de uma determinada classe, também foi analisada, apresentando valores acima de 83% de acurácia.

Finalmente em relação à qualidade da classificação foi calculado o coeficiente *kappa*, obtendo-se um valor de 99,7%, representando uma qualidade excelente no método de classificação da imagem.

Concluída a etapa de classificação a imagem foi reamostrada para uma resolução espacial de 500 metros ou 0,004545°, sendo agora 351 o número de pixels em linha e coluna. O método utilizado para reamostragem dos pixels foi o de interpolação bilinear, o qual toma por base os valores de CD (neste caso os valores das classes) dos quatro vizinhos mais próximos ao centro do novo pixel, calculando a média ponderada pelas distâncias dos centros desses quatro vizinhos ao centro do novo pixel. Na imagem do SRTM foi utilizado o método de interpolação por vizinho mais próximo, determinando o novo valor do pixel igual ao valor do pixel mais próximo de seu centro, por se tratar de dados de altimetria, este método é o mais recomendado.

As últimas etapas de processamento da imagem foram realizadas no *software* ArcGIS™ 9.3, incluindo a reamostragem dos pixels, a imagem temática foi reclassificada, assumindo a partir de agora os valores da Tabela 3, Item 3.5 correspondentes aos valores encontrados na classificação, mostrados a seguir na Tabela 4.

Tabela 4 – Codificação utilizada na reclassificação da imagem temática.

Classes temáticas	Olson	Tipo de superfície
1	5	Floresta mista
2	1	Urbano 1
3	31	Mosaico de vegetação natural/lavoura
4	11	Solo com vegetação esparsa
5	15	Corpos d'água

Gerando uma imagem temática conforme a Figura 4.4.

Imagem Temática

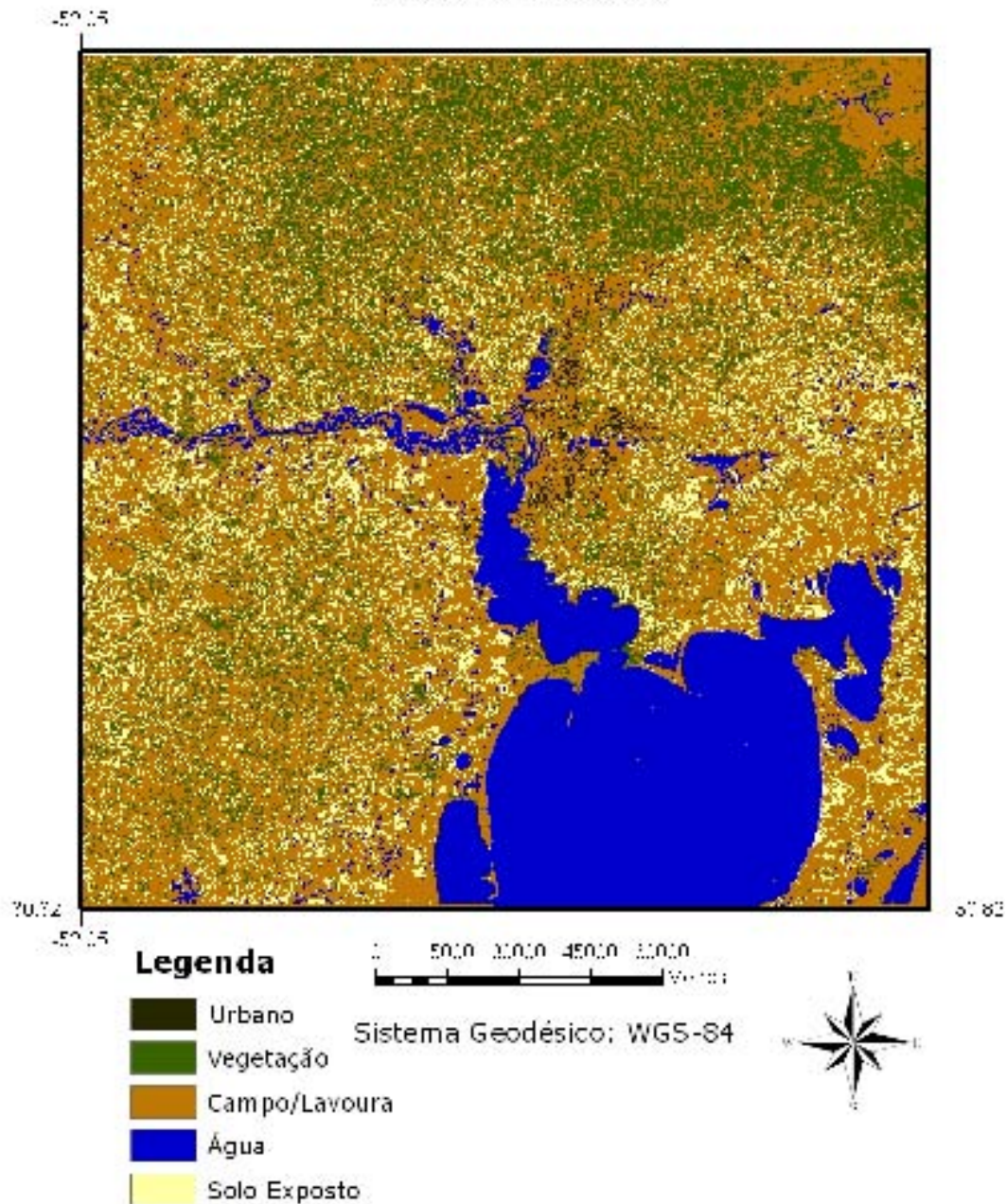


Figura 4.4 – Imagem com resolução espacial de 500m e reclassificada.

A geração do arquivo *ascii* para entrada nos programas de conversão também foi realizada no ArcGIS™ 9.3.

Foram feitas duas simulações no modelo de previsão, uma sem a implementação e outra com a implementação, a seguir tem-se as Figuras 4.5 a 4.16 geradas no GrADS™, da grade 1 e 3, comparando-se direção do vento, umidade relativa do ar e temperatura, em 4 horários diferentes (0, 6, 12 e 18h) do dia 09 de janeiro de 2007.

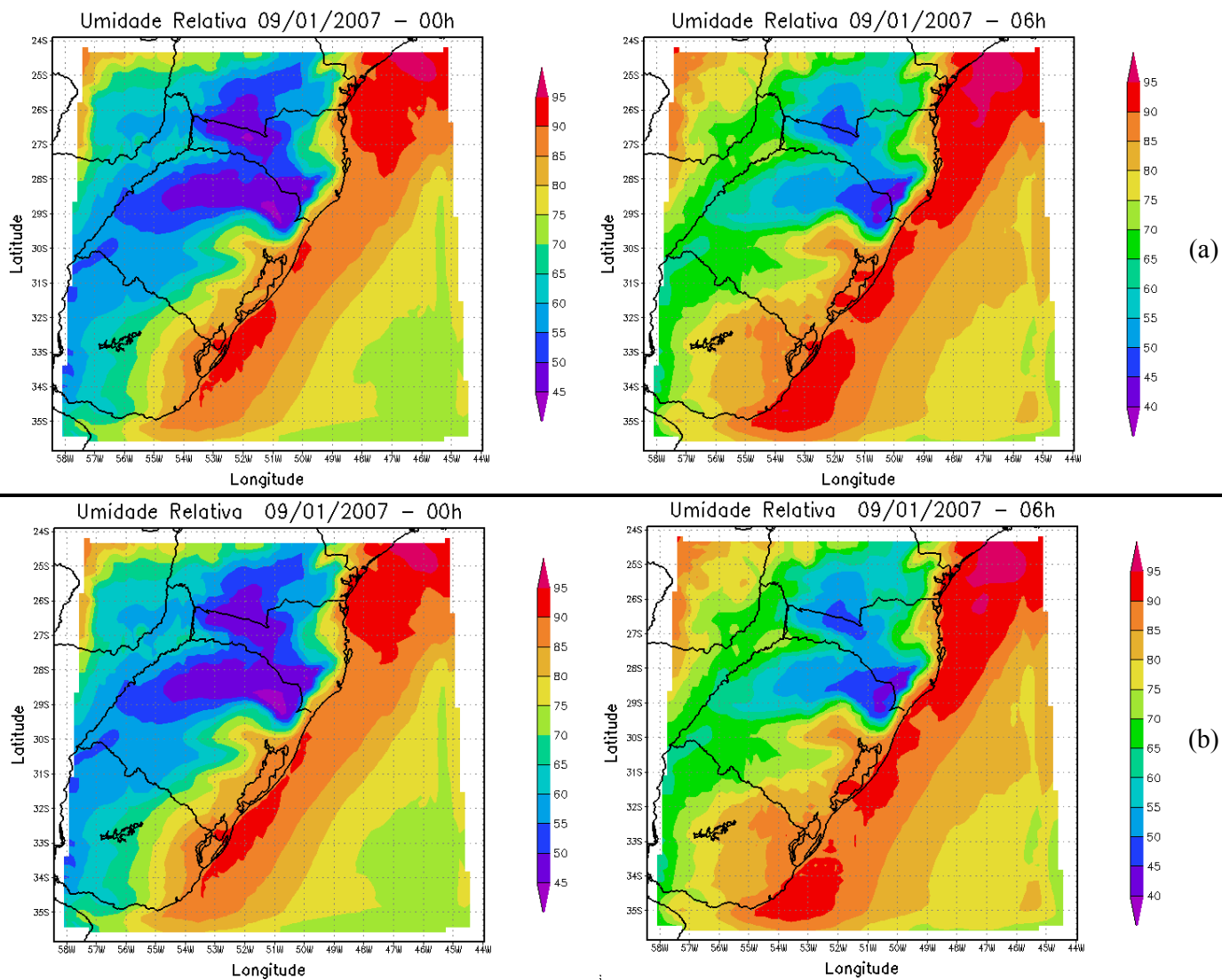


Figura 4.5 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 00 e 06 h.

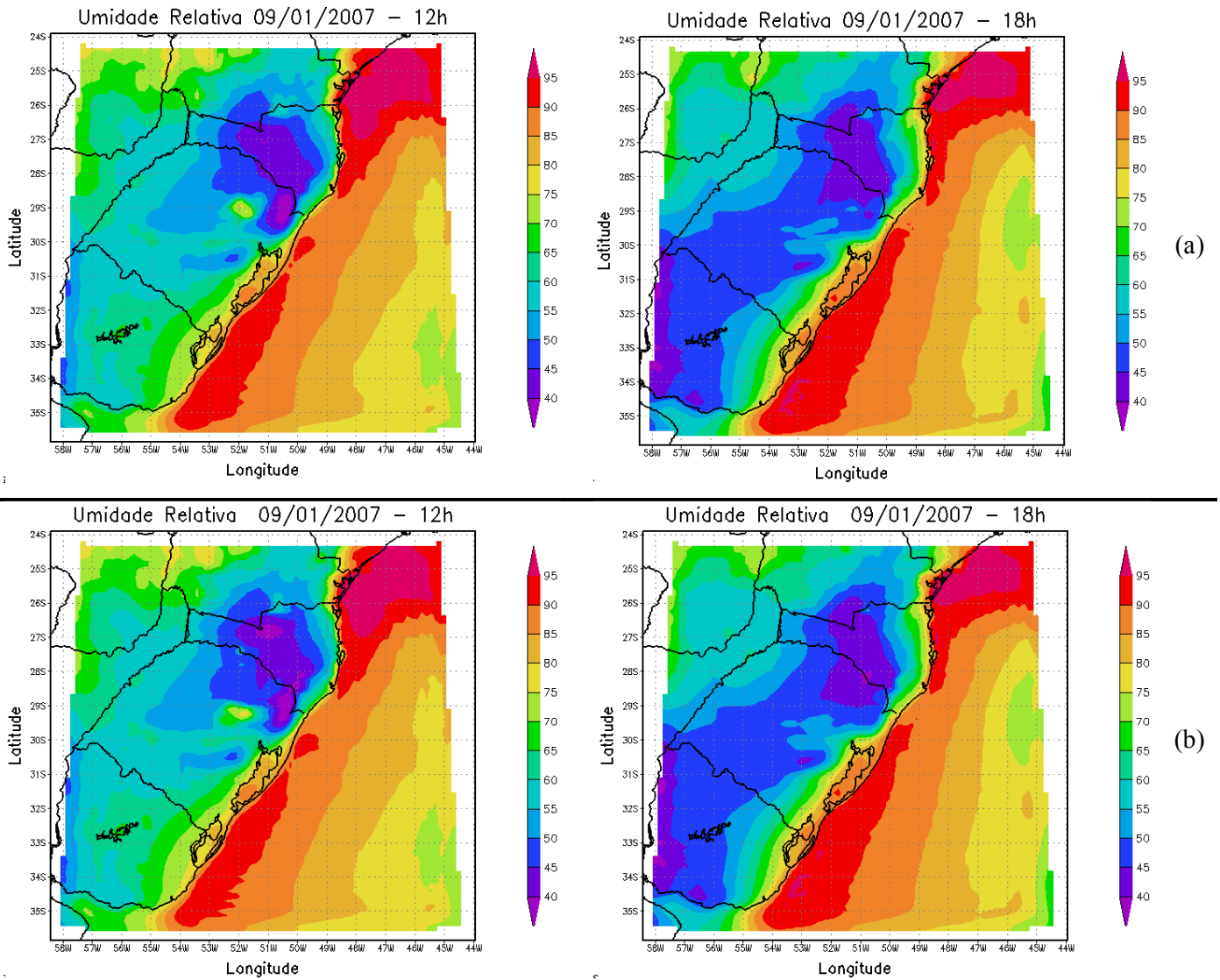


Figura 4.6 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 12 e 18 h.

Em relação à umidade relativa do ar, pode-se constatar uma diferença marcante às 06 e 12 h, sendo que nos outros dois horários observados houve também alteração na forma e distribuição da umidade.

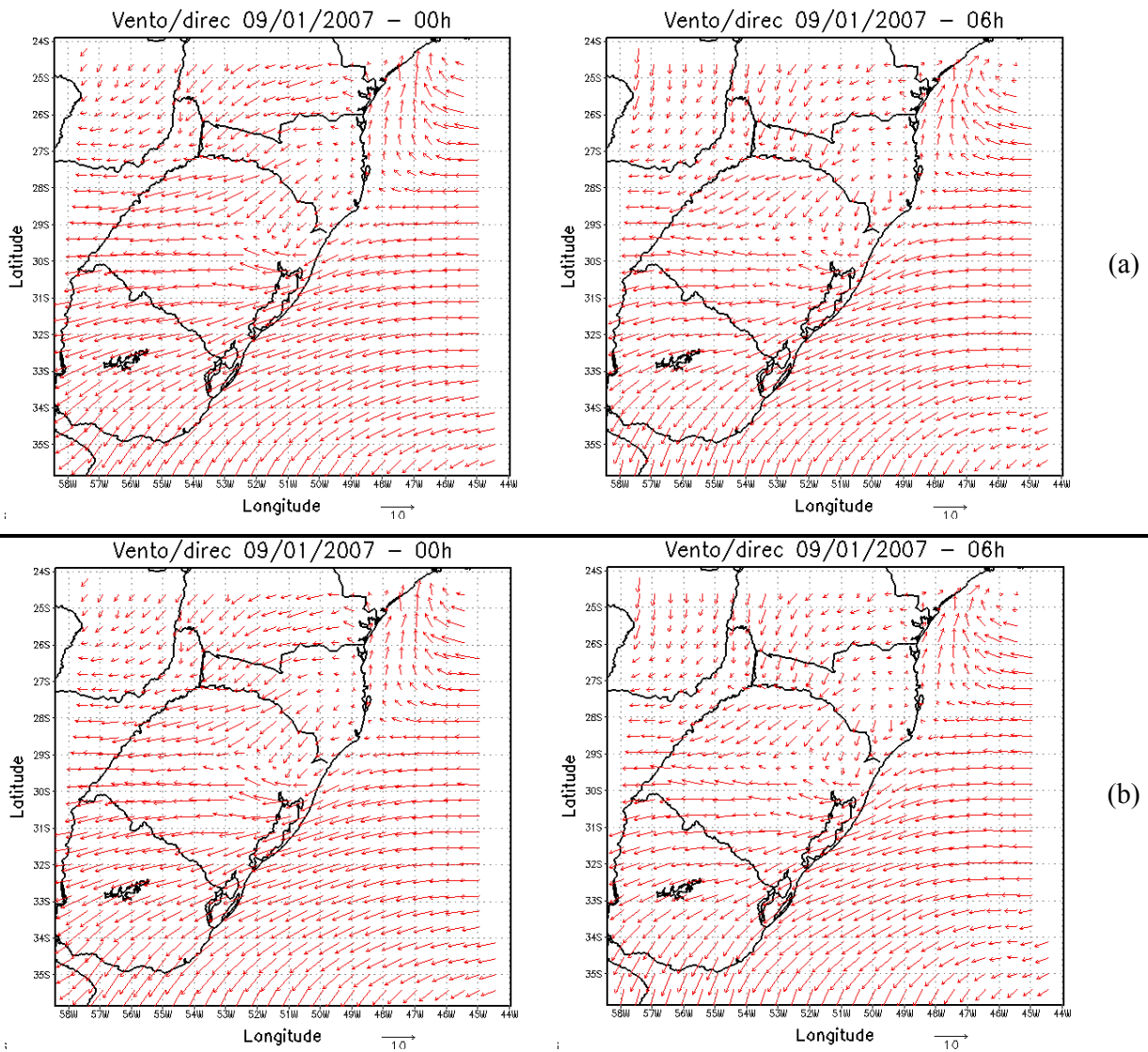


Figura 4.7 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 00 e 06 h.

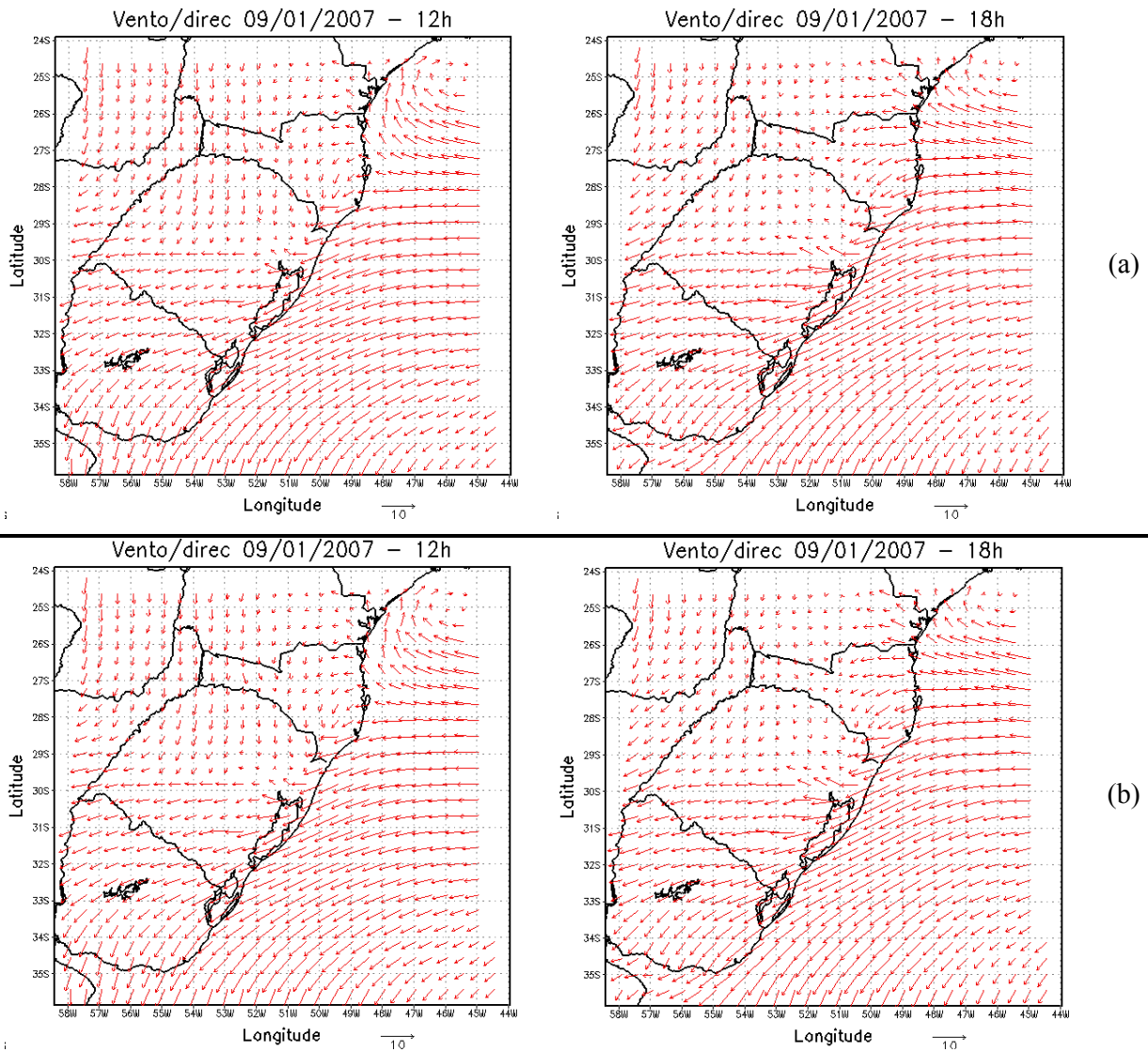


Figura 4.8 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 12 e 18 h.

A direção do vento, na grade 1 não apresenta alterações nos horários observados.

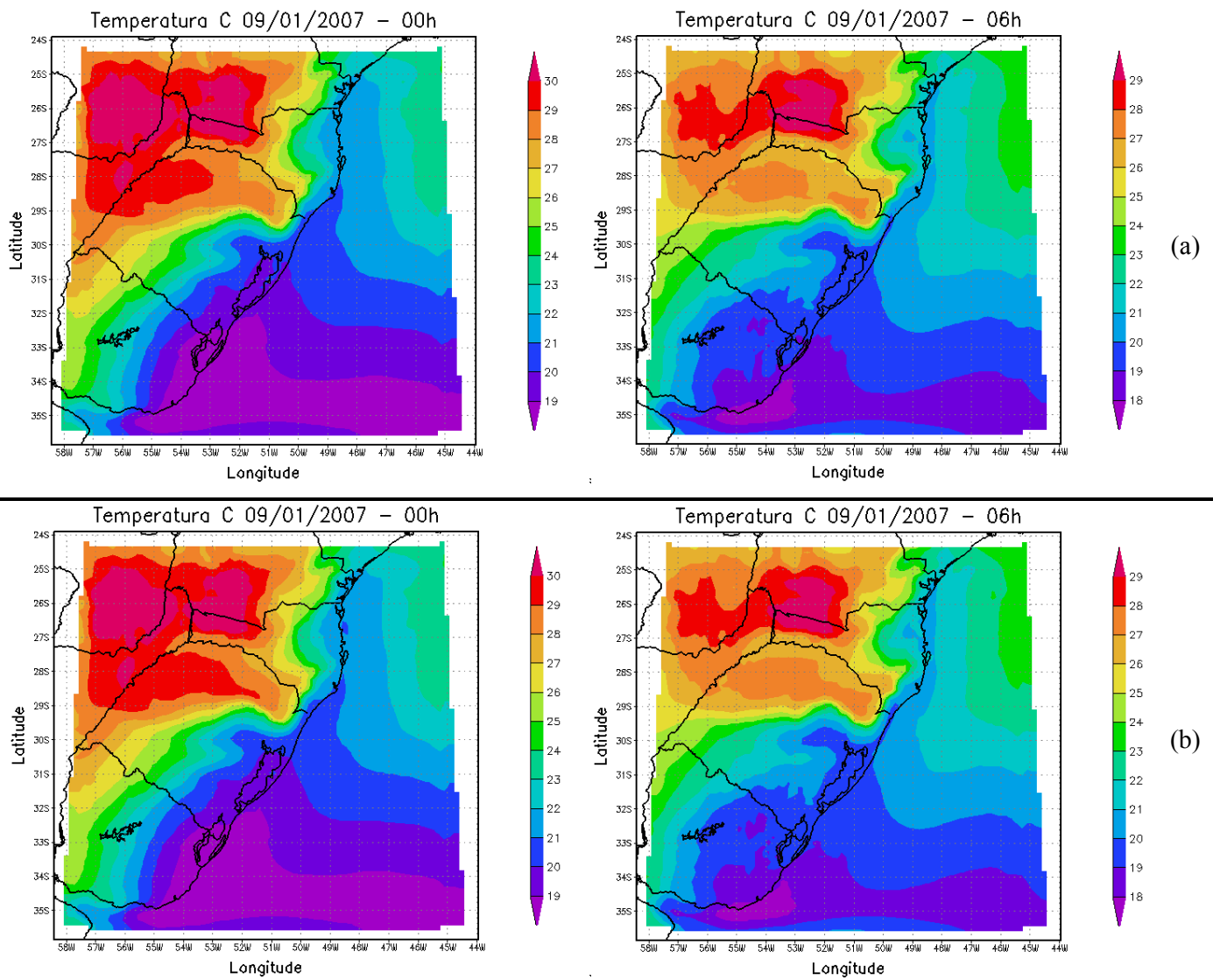


Figura 4.9 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 00 e 06 h.

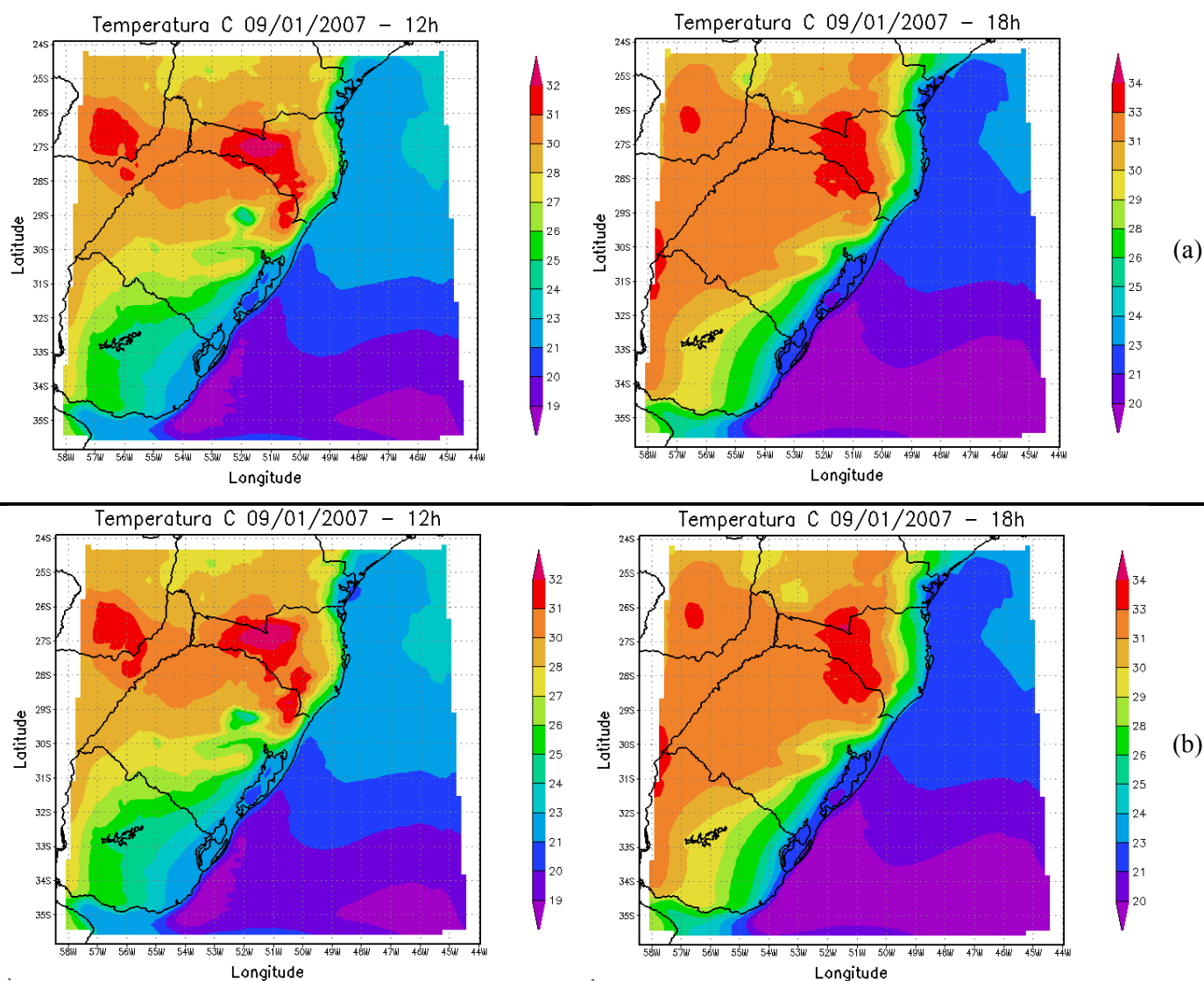


Figura 4.10 – Comparação dos modelos na grade 1: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 12 e 18 h.

A temperatura demonstrou um comportamento semelhante à umidade relativa do ar, com diferenças as 06 e 12 h, sendo que nos outros dois horários observados houve também alteração na forma e distribuição desta.

Mesmo com a grade 1 sendo além dos limites definidos para a área de estudo, já é possível notar uma clara diferença entre o modelo sem a implementação e com a mesma. A direção do vento sofreu alterações, bem como a temperatura e a umidade relativa, sendo que, nestas duas últimas nota-se uma mudança no formato da distribuição dos valores.

Assim como foi constatada alteração na grade 1 do modelo, confirma-se esta na grade 3 nos três parâmetros analisados, direção do vento, temperatura e umidade relativa.

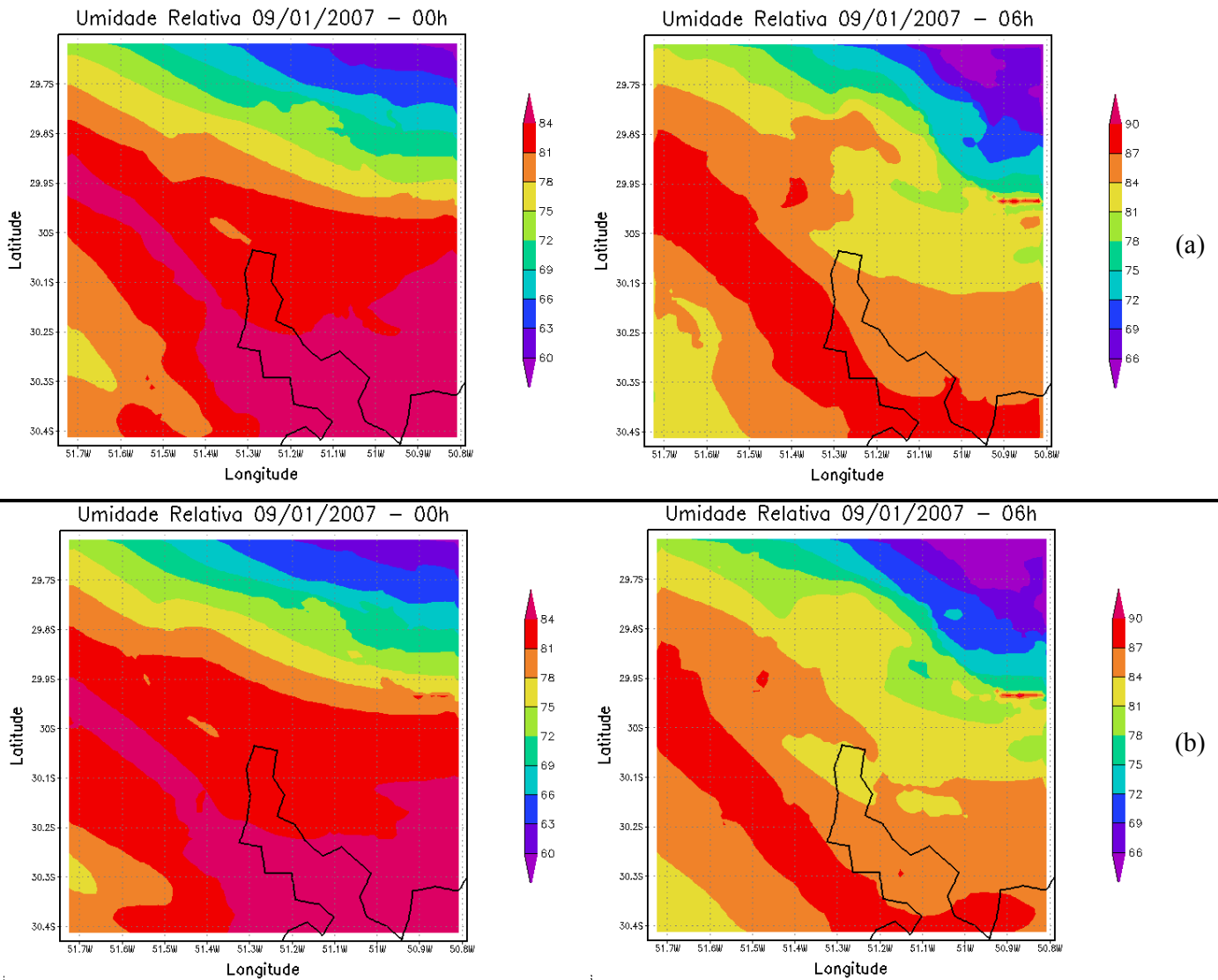


Figura 4.11 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 00 e 06 h.

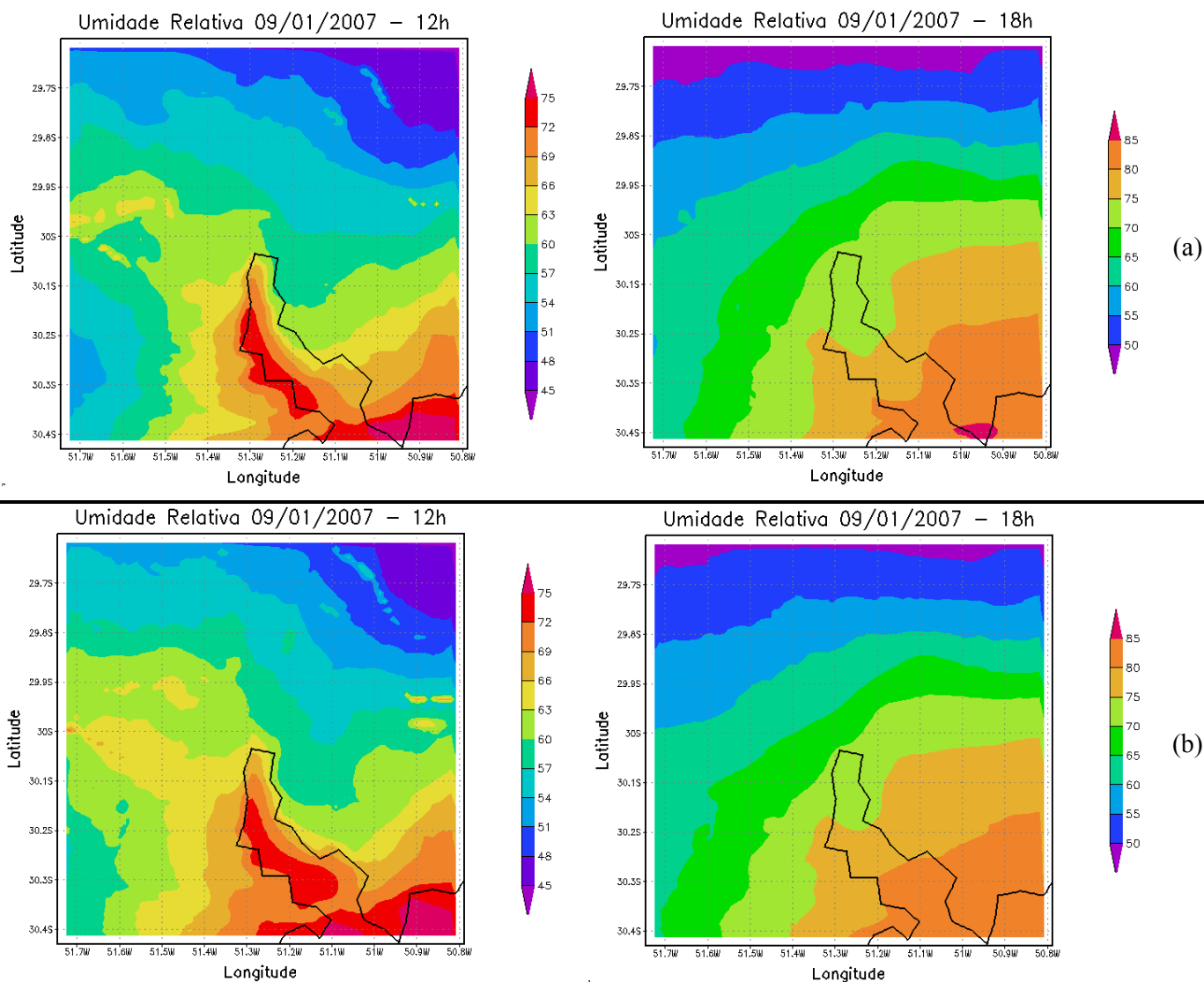


Figura 4.12 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Umidade relativa do ar às 12 e 18 h.

A umidade relativa como na grade 1, apresentou alterações às 06 e 12 h, mas também no horário das 18 h ocorreu alterações marcantes, como observado na Figura 4.12.

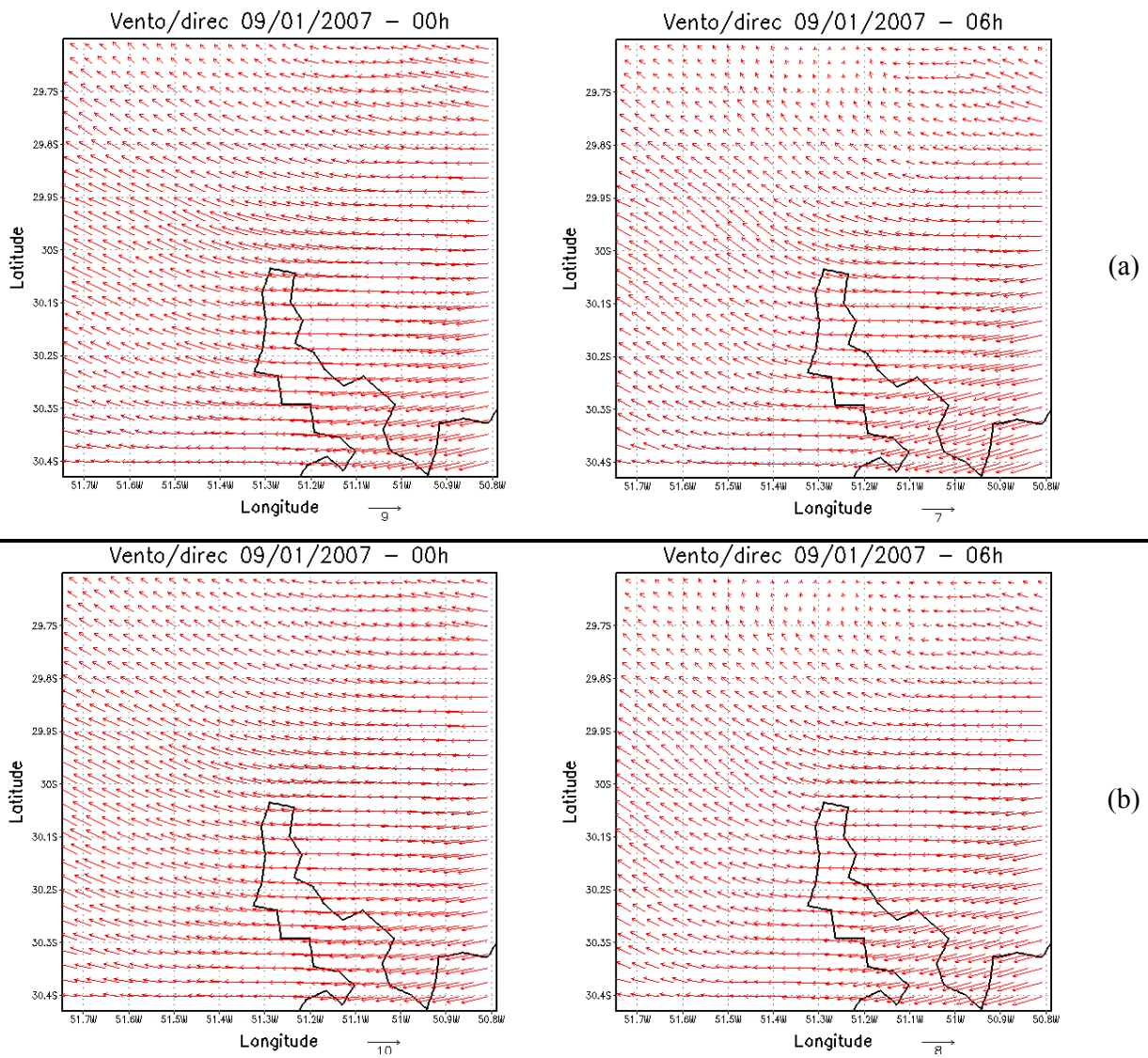


Figura 4.13 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 00 e 06 h.

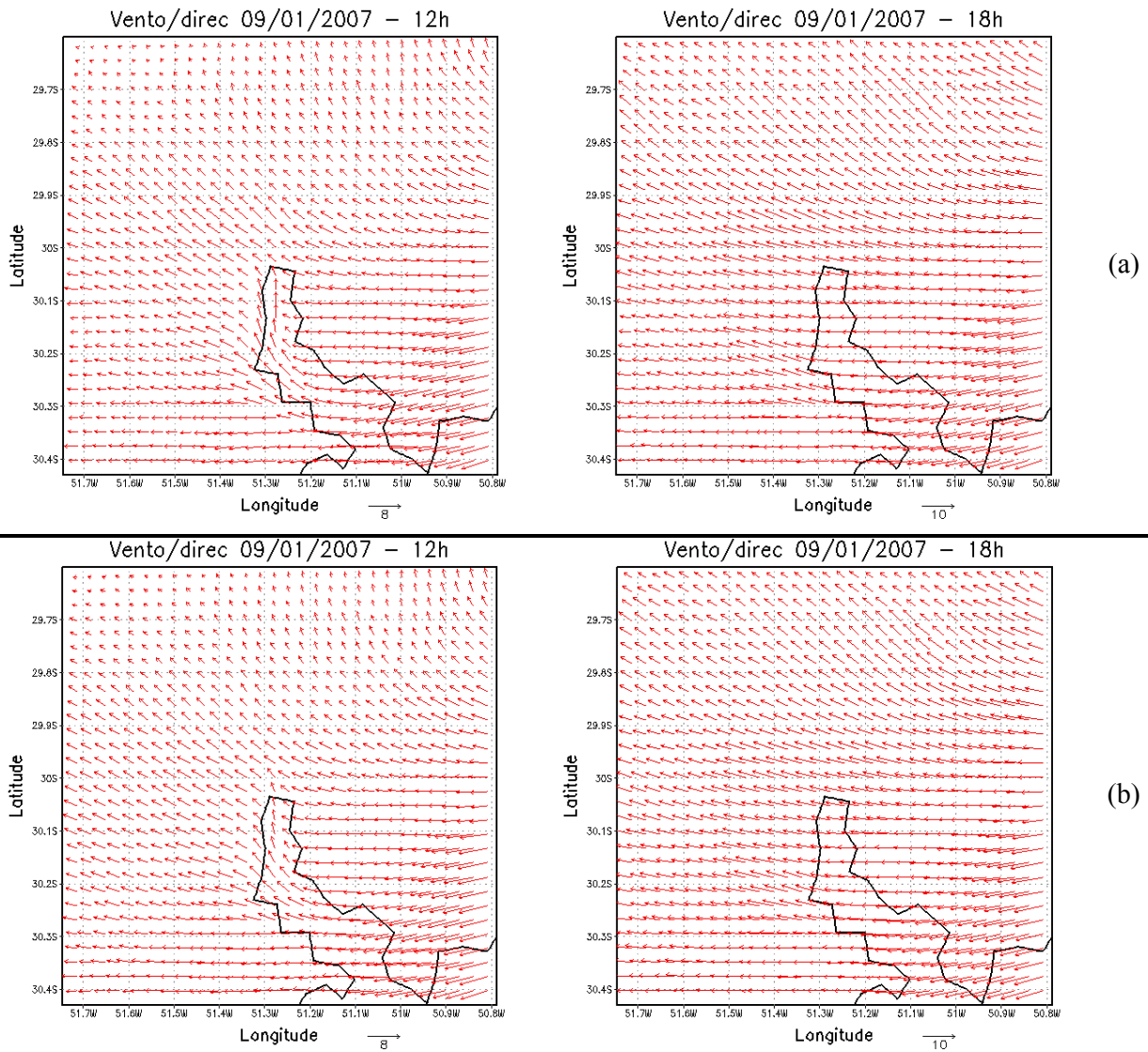


Figura 4.14 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Direção do vento às 12 e 18 h.

A direção do vento assim como na grade 1 não apresentou diferença visível para o modelo sem implementação e com a mesma.

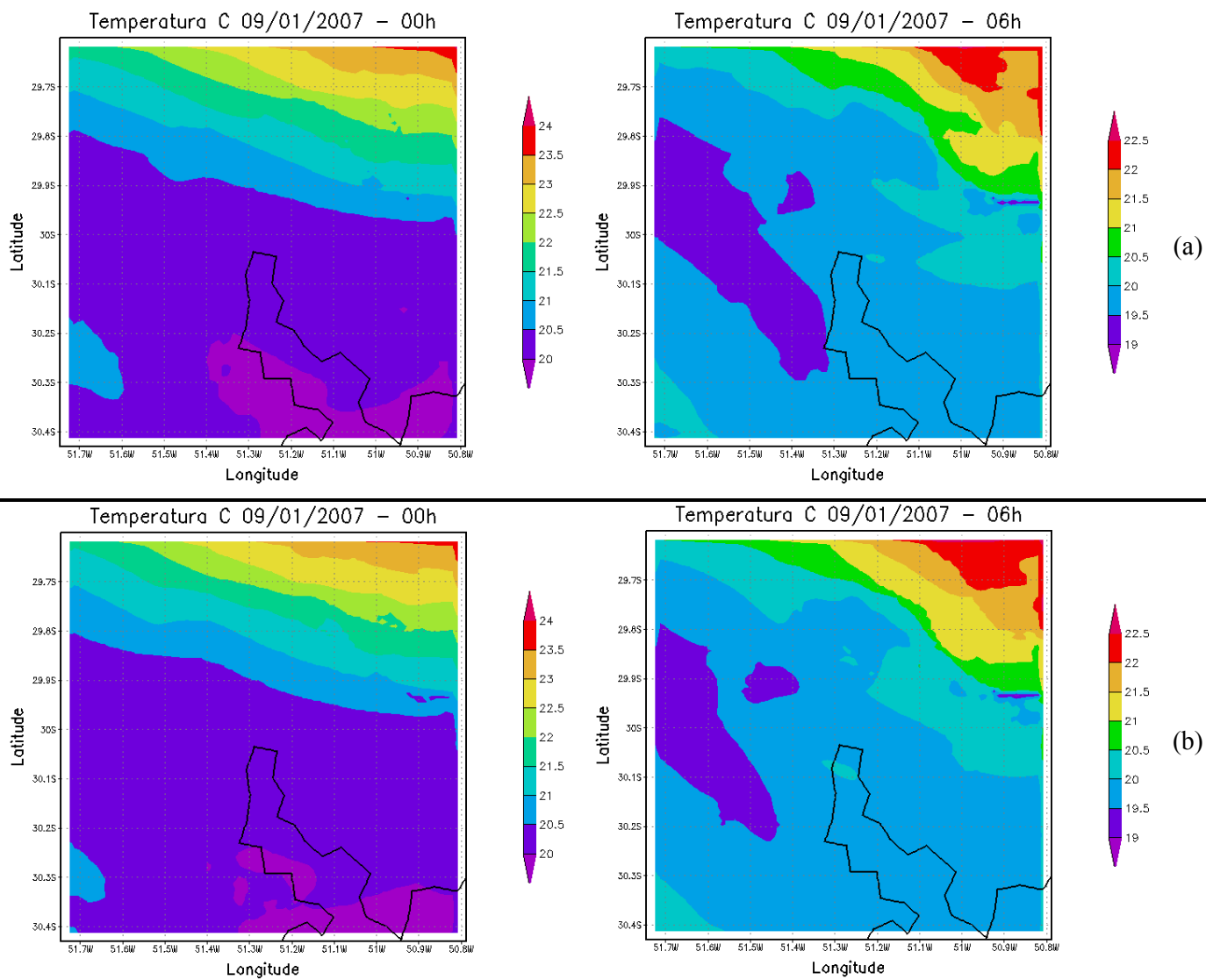


Figura 4.15 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 00 e 06 h.

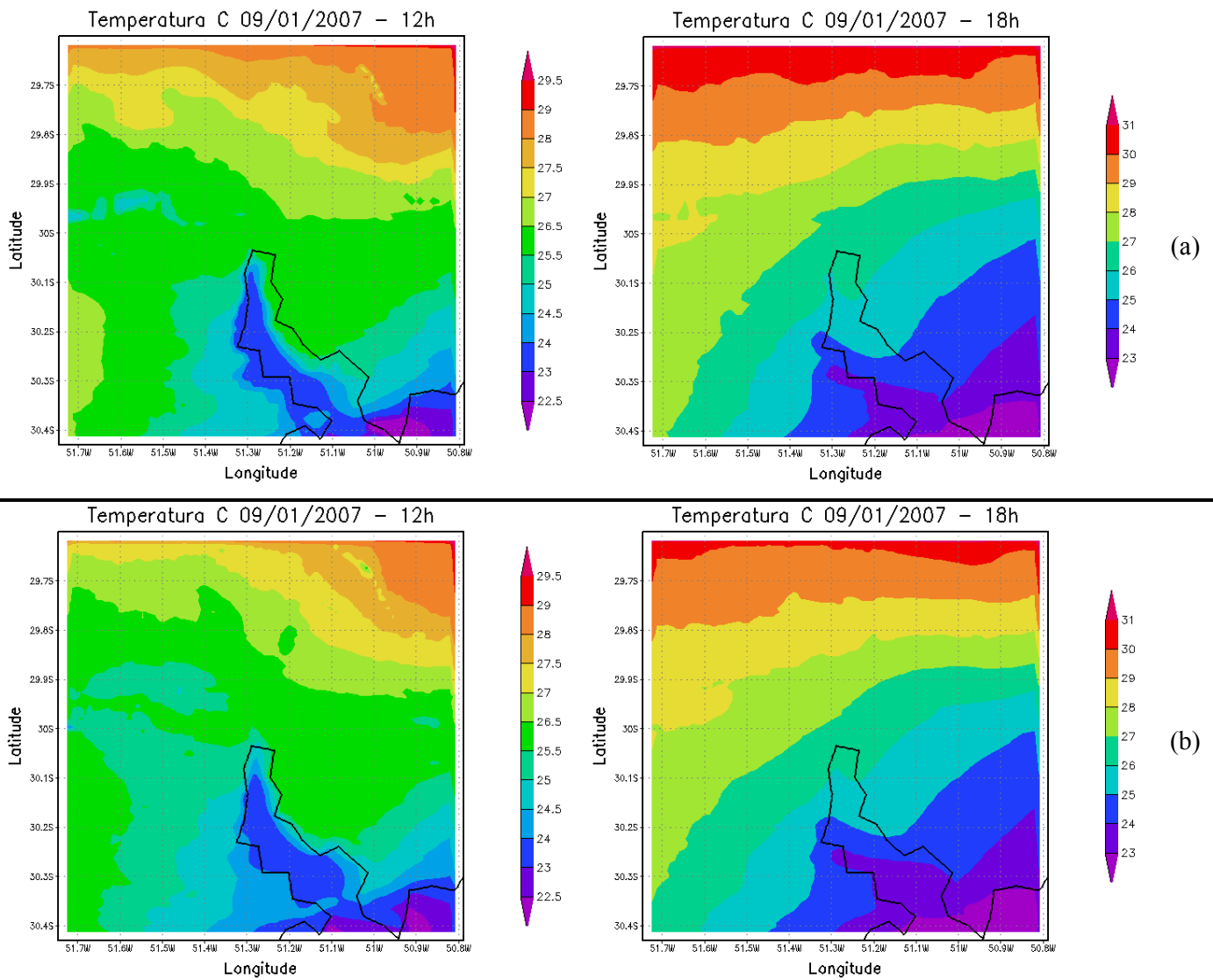


Figura 4.16 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação – Temperatura às 12 e 18h.

A temperatura demonstrou mudanças na forma e distribuição nos quatro horários observados, para a grade 3, sendo considerada, entre as variáveis analisadas a mais sensível à implementação.

A seguir é apresentada na Figura 4.17 a comparação da topografia nas grades 1 e 3.

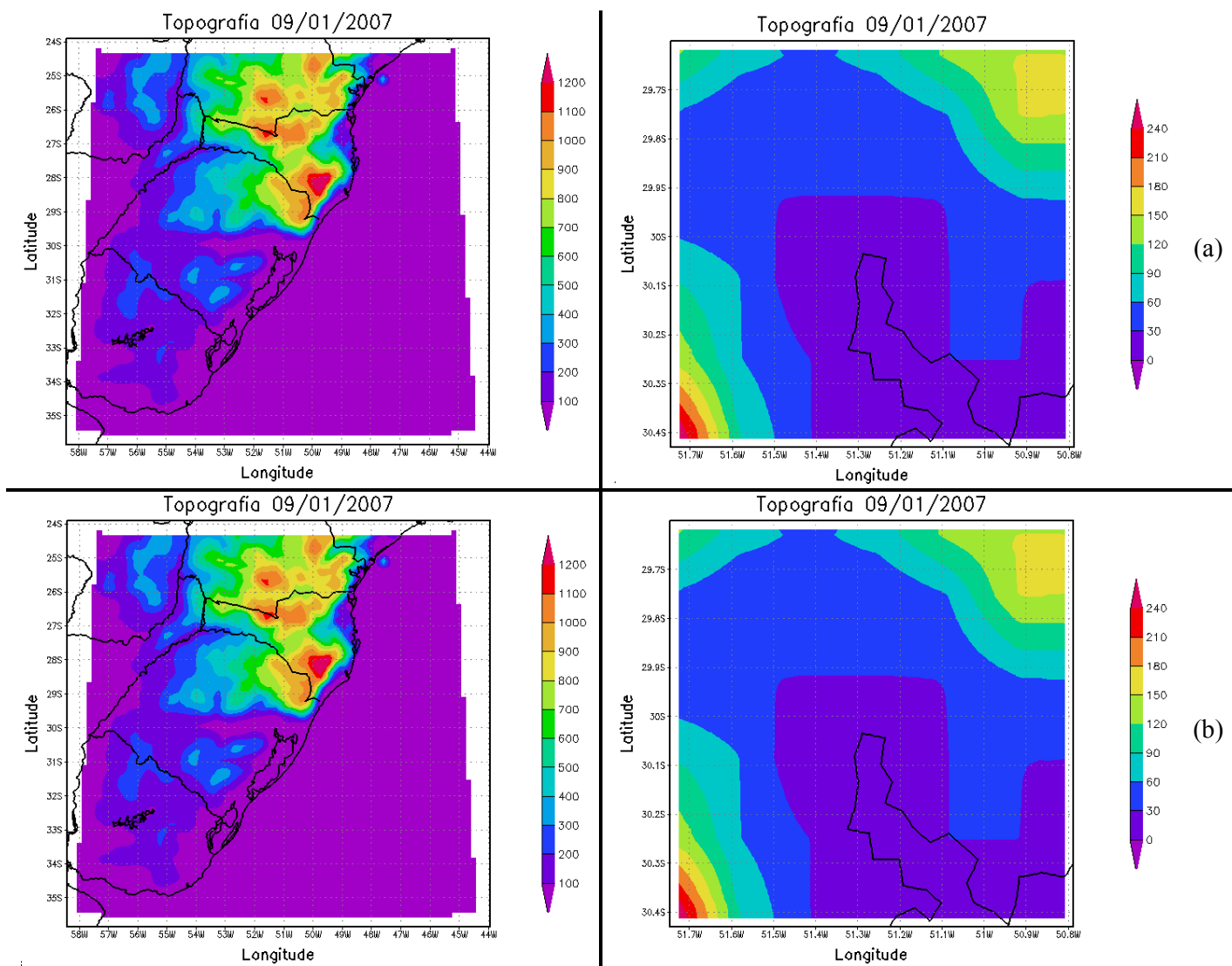


Figura 4.17 – Comparação dos modelos nas grades 1 e 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação.

Em relação à topografia não ocorreu nenhuma diferença visual entre os valores da grade 1 ou 3.

Já em termos de cobertura vegetal, devido à inserção da imagem classificada no modelo, notou-se uma diferença considerável entre o modelo sem implementação e o implementado, como demonstrado na Figura 4.18.

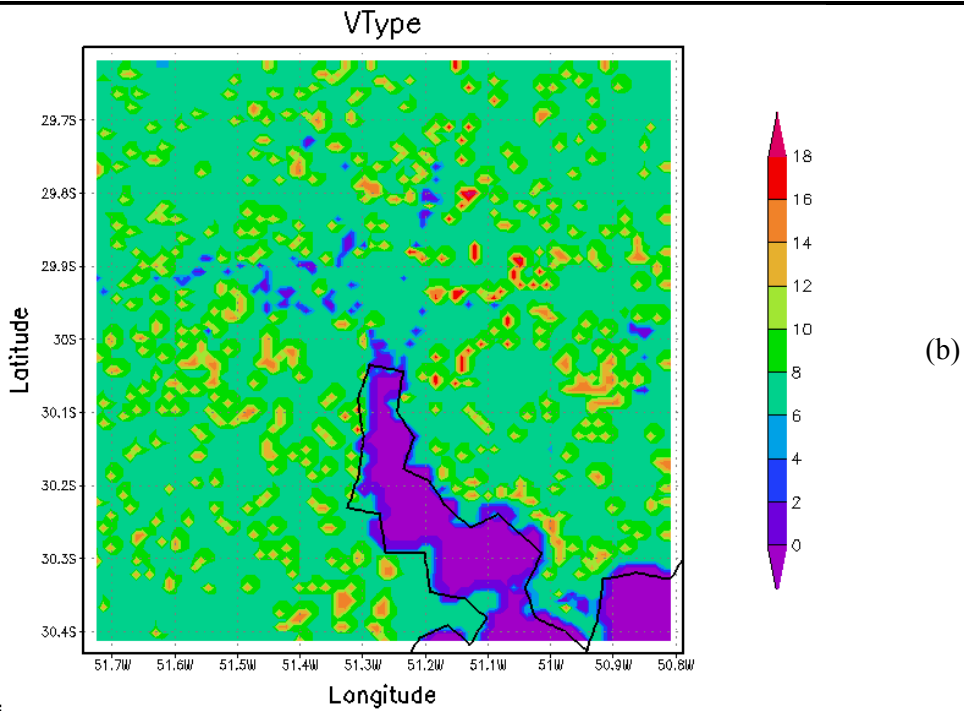
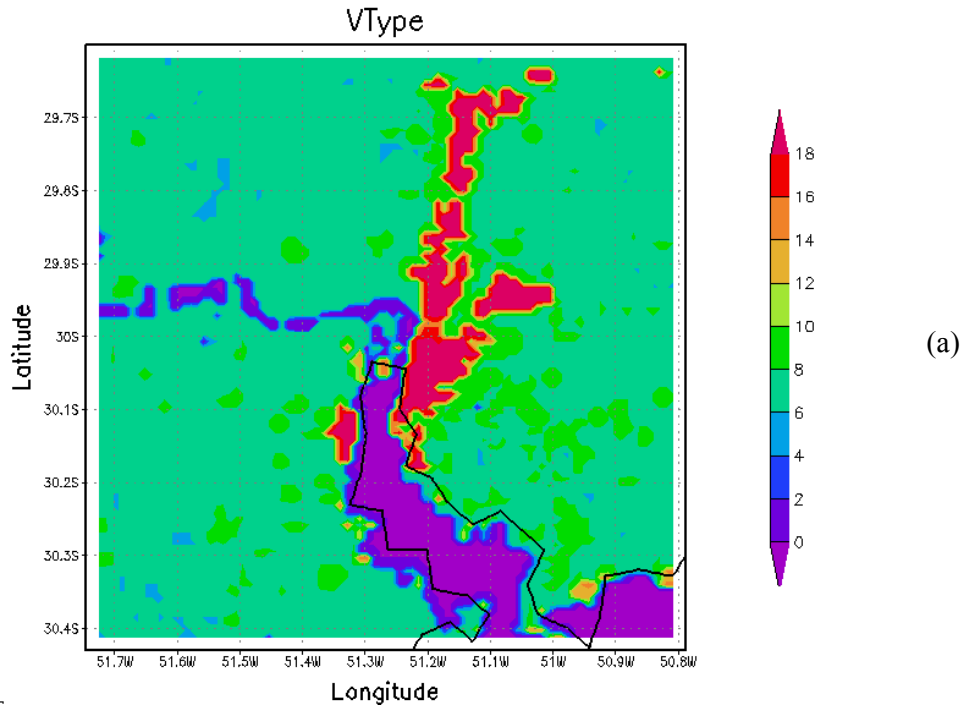


Figura 4.18 – Comparação dos modelos na grade 3: (a) modelo sem alteração e (b) modelo com a implementação.

É possível observar que as áreas de campo ou lavoura estão distribuídas de maneira mais próxima ao real e também a delimitação do lago rio Guaíba foi melhor definida, com a implementação.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Buscando uma melhor representação das características físicas da área de estudo, novos arquivos de topografia foram inseridos no BRAMS, a partir da geração do Modelo Numérico do Terreno, obtido através de imagens do sensor InSAR da missão SRTM. Com o intuito de abranger completamente a área de estudo foram utilizadas 2 cenas do sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT 5, para a composição de mosaico de imagens, gerado originalmente com resolução espacial de 30 metros. Este mosaico foi recortado, e submetido a uma classificação supervisionada através do método da máxima verossimilhança com uma qualidade final na classificação de 98,7%. Após a classificação o mosaico foi reamostrado para 500 metros de resolução espacial, evitando assim instabilidade numérica durante o processamento computacional do modelo BRAMS. Também foi feita uma adequação da codificação da classificação de acordo com os códigos do modelo BRAMS.

O principal enfoque deste trabalho foi verificar se haveria ou não alterações na simulação, diante as diferentes condições de topografia e vegetação impostas no modelo, justamente pelo fato de que as características de uma determinada região influenciam no comportamento atmosférico da mesma.

O resultado desta interação pode ser observado no campo de algumas variáveis meteorológicas, como temperatura e umidade relativa, que apresentaram comportamento distinto em cada simulação, demonstrando uma diferença qualitativa entre as duas simulações.

Este resultado satisfatório, demonstra que a partir desta nova implementação as informações oriundas do modelo de previsão poderão estar mais ajustadas à região a qual se trabalha, sendo possível também a utilização para áreas maiores, como o estado do Rio Grande do Sul, por exemplo. Auxiliando em predição de eventos extremos, importantes para várias instâncias da sociedade moderna.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os estudos realizados neste trabalho, ficou clara a importância das informações para entrada do modelo. Sendo assim, sugere-se para trabalhos futuros:

- A continuidade deste trabalho e também a investigação de outros fatores relacionados;
- A investigação da qualidade de ajustamento do modelo;
- O uso de outros sensores para gerar as informações de entrada no modelo de previsão.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Marcelo Félix. **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DAS PARAMETRIZAÇÕES CONVECTIVAS NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS SEVEROS OCORRIDOS NO BRASIL, UTILIZANDO O BRAMS.** 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

ALVES, César Augusto. **ESTIMATIVA DA ÁREA IMPERMEÁVEL DENTRO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO DILÚVIO (PORTO ALEGRE/RS) ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO.** 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_c.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

ALVES, Diógenes S. *et al.* Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor LANDSAT/TM para caracterização de áreas desflorestadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. **Anais...** . Santos: INPE, 1998. p. 1409 - 1419. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.09.16/doc/2_102o.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2007.

AVISSAR, Roni; PIELKE, Roger A.. A Parameterization of Heterogeneous Land Surfaces for Atmospheric Numerical Models and Its Impact on Regional Meteorology. **Monthly Weather Review**10, Boston, v. 117, n. 10, p.2113-2136, 9 mar. 1989. Disponível em: <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0493/117/10/pdf/i1520-0493-117-10-2113.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

BARROS, Rafael Silva de *et al.* Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens LANDSAT 7: Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: INPE, 2005. p. 3997 - 4004. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.11.39/doc/3997.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

BELTRAME, Angela da Veiga. Uma Aplicação do Sensoriamento Remoto no Planejamento Físico de Microbacias Hidrográficas. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p.37-41, 1991.

CAMPBELL, James B.. **Introduction to Remote Sensing**. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CENTENO, Jorge Antonio Silva. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: UFPR, 2003. 210 p.

CHAART Center for Health Applications of Aerospace Related Technologie. Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/sge/health/sensor/sensors/LANDSAT.html>>. Acesso em: 27 set. 2007.

CHUVIECO, Emilio. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. 3º Madrid: Ediciones Rialp, 1996. 450 p.

CRÓSTA, Álvaro Penteado. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Unicamp, 1992. 170 p.

CRUZ, Carla Bernadete Madureira; BARROS, Rafael Silva de; REIS, Rafael Balbi. Ortorectificação de imagens CBERS-2 usando DEM do SRTM: Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: INPE, 2005. p. 899 - 906. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.11.39/doc/3997.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2007.

DIVISÃO de Geração de Imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/html/LANDSAT.htm>>. Acesso em: 27 set. 2007

EO Portal Sharing Earth Observation. Resources Disponível em: <http://directory.eoportal.org/get_announce.php?an_id=12101>. Acesso em: 27 set. 2007.

FAZENDA, Alvaro Luiz *et al.* **First Time User's Guide (BRAMS Version 3.2)**. São Paulo, 2006.

FREITAS, Edmilson Dias de. **CIRCULAÇÕES LOCAIS EM SÃO PAULO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A DISPERSÃO DE POLUENTES**. São Paulo, 2003, 156p.

Tese (Doutorado) – Curso de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

FREITAS, Edmilson Dias de *et al.* A simple photochemical module implemented in RAMS for tropospheric ozone concentration forecast in the Metropolitan Area of São Paulo - Brazil: Coupling and validation. **Atmospheric Environment**, Inglaterra, v. 39, n. 34, p.6352-6361, 13 jul. 2005.

FREITAS, Edmilson Dias de *et al.* Interactions of an urban heat island and sea breeze circulations during winter over the Metropolitan Area of São Paulo - Brazil. **Boundary - Layer Meteorology**, Netherlands, v. 122, n. 1, p.43-65, jan. 2007.

FREITAS, Edmilson Dias de. **MkVeg/MkTopo**. São Paulo, 2009. Meio digital. Conjunto de programas em linguagem FORTRANTM para conversão de dados de entrada para o modelo BRAMS.

GERMAN Aerospace Center. Disponível em: <<http://www.dlr.de/srtm/index.htm>>. Acesso em: 27 set. 2007.

GOUVÊA, Mariana Lino. **CENÁRIOS DE IMPACTO DAS PROPRIEDADES DA SUPERFÍCIE SOBRE O CONFORTO TÉRMICO HUMANO NA CIDADE DE SÃO PAULO**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HALL, O.; FALORNI, G.; BRAS, R. L. Characterization and quantification of data voids in the shuttle radar topography mission data. **Geoscience And Remote Sensing Letters**, Pavia, v. 2, n. 2, p.177-181, abr. 2005.

IPCC. **The Intergovernmental Panel of Climate Change**. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_glossary.htm>. Acesso em: 20 ago. 2007.

JENSEN, John R.. **Introductory digital image processing**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 318 p.

JET Propulsion Laboratory. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 27 set. 2007.

KELLNDORFER, Josef *et al.* Vegetation height estimation from shuttle radar topography mission and national elevation datasets. **Remote Sensing Of Environment**, p.339-358, 2004.

KURKDJIAN, Maria de Lourdes Neves de Oliveira; PEREIRA, M. N.; SAMPAIO, B. O. Uso da Terra do Município de São José dos Campos por Sensoriamento Remoto, como Subsídio para a Elaboração de seu P.D.D.I. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 1, 1987, Campos do Jordão. **Anais...** . São Paulo: INPE, 1987. p. 1 - 19.

LEMOS, Delnir Monteiro De. **ESTUDO SOBRE UM CLASSIFICADOR ADAPTATIVO PARA ANÁLISE DE DADOS DE ALTA DIMENSIONALIDADE COM UM CONJUNTO LIMITADO DE DADOS DE TREINAMENTO**. 2003. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_d.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

LILLESAND, Thomas Martin; KIEFER, Ralph W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3. ed. New York: Wiley, 1994. 766 p.

LOCH, Carlos. **MONITORAMENTO GLOBAL E INTEGRADO DE PROPRIEDADES RURAIS A NÍVEL MUNICIPAL, UTILIZANDO-SE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 1988. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

LOUIS, Jean-françois. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. **Boundary-layer Meteorology**, Netherlands, v. 17, n. 2, p.187-202, 27 mar. 1979.

MATHER, Paul M. **Computer processing of remotely sensed images: An Introduction**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 306 p.

MCCUMBER, Michael C.; PIELKE, Roger A.. Simulation of the Effects of Surface Fluxes of Heat and Moisture in a Mesoscale Numerical Model. **Journal Of Geophysical Research**, Washington, v. 10, n. 86, p.9929-9938, 13 jul. 1981.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 250 p.

MOTTA, José Luis Gafrée. **SUBSÍDIOS À PREVISÃO DE SAFRA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL USANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_j.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

MÜLLER, Sonia Isoldi Marty Gama; DALMOLIN, Quintino; ARAKI, Hideo. Comparação entre os Métodos de Máxima Verossimilhança, Distância Mínima e o Método de Fisher para Reconhecimento de Padrões em Imagens Coloridas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 4, p.3-13, 1999. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/bcg/article/viewFile/1496/1250>>. Acesso em: 27 set. 2007.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto.: Princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

OLIVEIRA, Joanito de Andrade; DUTRA, Luciano Vieira; RENNÓ, Camilo Daleles. Aplicação de Métodos de Extração e Seleção de Atributos para Classificação de Regiões. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** . Goiânia: INPE, 2005. p. 4201 - 4208. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.21.24/doc/4201.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2007.

OLIVEIRA, Yeda Maria Malheiros de. **INVESTIGATION OF REMOTE SENSING FOR ASSESSING AND MONITORING THE ARAUCARIA FOREST REGION OF BRAZIL**. 1999. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, University Of Oxford, Oxford, 1999.

PAZ, Sheila Radmann da. **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA ATMOSFERA UTILIZANDO MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE PARA O ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES NA REGIÃO DE CANDIOTA**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_s.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

PINHEIRO, Eduardo da Silva. Comparação entre Dados Altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, Carta Topográficas e GPS: Numa Área com Relevo Escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 58, 2006. Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_58_2006/58_01_1.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2007.

RABUS, Bernhard *et al.* The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal Photogrammetry And Remote Sensing**: ISPRS, Netherlands, p.241-262, 2003.

RICHARDS, John A.; JIA, Xiuping. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. 2. ed. Berlin: Springer-verlag, 1993. 439 p.

ROSOT, Nelson Carlos. **INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORES DE MICROONDAS E ÓPTICOS PARA FINS DE MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE REFLORESTAMENTOS NO SUL DO BRASIL**. 2001. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SALDANHA, Claudinéia Brazil. **UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE E MODELAGEM NUMÉRICA PARA O ESTUDO DA DISPERSÃO DE POLUENTES NAS USINAS TERMOELÉTRICAS DE CHARQUEADAS E SÃO JERÔNIMO**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_c.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

SANTOS, João Roberto dos. A Tecnologia de Sensoriamento Remoto como Suporte ao Monitoramento Ambiental: Situação Atual e Perspectivas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1996, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: FUPEF, 1996. p. 7 - 14.

SCHOWENGERDT, Robert A. **Remote sensing: Models and methods for image processing**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 522 p.

SHUTLE Radar Topography Mission. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 27 set. 2007.

SILVA, Jorge Luiz Barbosa da. **GEOPROCESSAMENTO APLICADO À IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA REJEITOS E ESTIMATIVA DE RECURSO DE CARVÃO NA REGIÃO DA MINA LEÃO II.** 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_j.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

SIMÕES, Débora de Souza. **ANÁLISE DE EVENTOS TORNÁDICOS OCORRIDOS NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO IMAGENS DOS SATÉLITES GOES E METEOSAT E O MODELO REGIONAL RAMS.** 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/novo/diss_d.html>. Acesso em: 20 ago. 2007.

SISTEMAS Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/LANDSAT.htm#tm>>. Acesso em: 27 set. 2007.

SOUZA, Enio P.; SILVA, Emerson M.. Impacto da implementação de uma parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala: Descrição e testes de sensibilidade do esquema. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José Dos Campos, v. 18, n. 1, p.33-42, 02 jun. 2003.

SPRING – Sistema de processamento de informações georreferenciadas. **Processamento de imagens.** São José dos Campos: NETGIS, v.2, 1998.

STEFFEN, Carlos Alberto; MORAES, Elisabete Caria; GAMA, Fábio Furlan. Tutorial: Radiometria Óptica Espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** . Salvador: INPE, 1996. p. 980 - 1028. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.09.16/doc/2_102o.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2007.

SWAIN, Philip H; DAVIS, Shirley. **Remote Sensing: the quantitative approach.** New York: Mcgraw-hill International Book Co., 1978. 396 p.

TRIPOLI, G. J.; COTTON, W. R. The Colorado State University three-dimensional Cloud Meso-scale Model. Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments. **Journal de Recherches Atmosphériques**, Toulouse, n. 16, p.185-220, 1982.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José Dos Campos: INPE, 2004. 72 p. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/downloads/SRTM/publicacao.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2007.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Capítulo 18, p. 351-371.

ZALOTI JUNIOR, Orlando Demetrio *et al.* Avaliação do Modelo Digital do Terreno Extraído de Dados do SRTM: Uma Abordagem Baseada na Declividade, Aspecto e Uso/Cobertura do Solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: INPE, 2007. p. 5043 - 5050. Disponível em: <<http://mar.te.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.43/doc/5043-5050.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2007.

ZARATTINI, Andréa Curi. **SISTEMAS SENSORES LANDAST E SPOT: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA**. 1989. Monografia (Especialização) - Curso de Interpretação de Imagens Orbitais e Sub-Orbitais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

ZYL, Jakob J. Van. The shuttle radar topography mission (SRTM): A breakthrough in remote sensing of topography. **Acta Astronautica**, Germany, v. 5, n. 48, p.559-565, 2001.