

RANIÉRI CARLOS FERREIRA DE AMORIM

**ESPACIALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS EM
ÁREAS DE RELEVO ONDULADO NA BACIA DO RIO DOCE**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em
Meteorologia Agrícola, para obtenção do título
de “Magister Scientiae”

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005**

Aos meus pais, JADSON CARLOS DE AMORIM e NILDA ERNESTINA FERREIRA DE AMORIM, que através de carinho e perseverança me mostraram o caminho da vida. Meu muito obrigado !

DEDICO.

Aos meus irmãos, Carlos Fernandes, Ricardo Amorim, Jadson Amorim, Karla Khristiane e Dayse Karine, pelo apoio e incentivo. À minha cunhada Marilene Dutra e às minhas sobrinhas Rafaela Amorim e Marcela Amorim que, pela inocência e doçura, contribuíram para que as longas horas de estudo e pesquisas se tornassem momentos de alegria.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar-me saúde e força para superar as dificuldades e vencer obstáculos da vida, em busca de novas conquistas.

Ao orientador professor Aristides Ribeiro e conselheiro Brauliro Gonçalves Leal, pela dedicação, paciência, ajuda, incentivo e fundamental orientação na colaboração do projeto de pesquisa até a revisão final deste trabalho.

Aos demais professores do curso pelos ensinamentos passados e ao Mariano Pereira pelas críticas valiosas e ensinamentos.

A coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, UFV, pelo apoio durante a realização do curso.

A CAPES, Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudo.

A CENIBRA (Celulose Nipo-Brasileira S.A.), pelo incentivo à pesquisa, pela disponibilização de sua área, de recursos financeiros e humanos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos amigos e amigas José Luiz, Danilo Filho, Marcos Paulo, Evaldo Lima, Givanildo Góis, Rogério Lessa, Welliam Silva, Wesley Souza, Jonathas Batista, Marcelo Amorim, Hernani Rodrigues, Rommel Murilo Baeso, Leonardo Neves, Edson Nunes, Raquel Evanangelista, Hewlley Imbuzeiro, Vanda Sales.

Ao Alexandro Facco, pelo grande auxílio na parte computacional e revisão deste trabalho e a Christiane Leite pela amizade, apoio e incentivo.

À Tatiana Antonucci e Kelly Portugal, secretária da coordenação do curso, pelo apoio, amizade e profissionalismo.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização e concretização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RANIERI CARLOS FERREIRA DE AMORIM, filho de Jadson Carlos de Amorim e Nilda Ernestina Ferreira de Amorim, natural de Arapiraca, Alagoas, nasceu no dia 02 de junho de 1975.

De maio de 1998 à junho de 2000 foi bolsista de iniciação científica pelo CNPq. Em julho de 2001 graduou-se em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas. Iniciou em março de 2004, o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2005.

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1 Área experimental	6
3.2 Dados utilizados	7
3.3 Padronização de altitude das estações	8
3.4 Sistemas de Geoespacialização	8
3.5 Análise dos resultados	13
3.5.1 Validação cruzada	13
3.5.2 Mapas das diferenças	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Gráficos do comportamento temporal das variáveis meteorológicas das estações no período estudado	15
4.2 Análise da variação espacial das variáveis meteorológicas	23
4.3 Análise de erro relativo percentual da validação cruzada	32
4.4 Análise das diferenças de matrizes	40
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
7. APÊNDICES	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1	Localização e topografia da área em estudo. O mapa em destaque apresenta o Modelo Digital de Elevação e as meteorológicas	6
Figura 2	Localização das regionais da área em estudo	7
Figura 3	Fluxograma das etapas do desenvolvimento para obtenção da espacialização das diferentes variáveis meteorológicas	11
Figura 4	Fluxograma das etapas do desenvolvimento para obtenção das diferenças das estações reais e virtuais	12
Figura 5	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Alfié, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	16
Figura 6	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Cataquinho, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	17
Figura 7	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Cocais, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	18
Figura 8	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Coqueiros, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	19
Figura 9	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Fábrica, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	20
Figura 10	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Gaspar, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	21
Figura 11	Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Lagoa Grande, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	22
Figura 12	Espacialização das temperaturas potenciais médias mensais ($^{\circ}\text{C}$) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas	24

		Pág.
Figura 13	Espacialização da temperatura potencial semestral ($^{\circ}\text{C}$) para os períodos: (a) úmidos (outubro de 2002 a março de 2003) e (b) seco (abril a setembro de 2003).	25
Figura 14	Espacialização da umidade específica do ar médias mensais (gkg^{-1}) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas.	26
Figura 15	Espacialização da umidade específica do ar semestral (gkg^{-1}) para os períodos: (a) úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e seco (abril a setembro de 2003).	27
Figura 16	Espacialização da velocidade do vento médias mensais (ms^{-1}) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas	28
Figura 17	Espacialização da velocidade do vento semestral (ms^{-1}) para os períodos: (a) úmidos (outubro de 2002 a março de 2003) e (b) seco (abril a setembro de 2003).	29
Figura 18	Espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial (mm) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas	30
Figura 19	Espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial semestral (mm) nos períodos: (a) úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e (b) seco (abril a setembro de 2003).	31
Figura 20	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	42
Figura 21	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	43
Figura 22	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).	44

	Pág.
Figura 23	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm). 45
Figura 24	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm). 46
Figura 25	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm). 47
Figura 26	Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm). 48
Figura A.1.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$). 56
Figura A.1.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}). 57
Figura A.1.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}). 58
Figura A.1.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm). 59
Figura A.2.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$). 60

	Pág.	
Figura A.2.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).	61
Figura A.2.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).	62
Figura A.2.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	63
Figura A.3.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$).	64
Figura A.3.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).	65
Figura A.3.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).	66
Figura A.3.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	67
Figura A.4.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$).	68
Figura A.4.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).	69
Figura A.4.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).	70
Figura A.4.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	71
Figura A.5.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$).	72
Figura A.5.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).	73
Figura A.5.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).	74

	Pág.	
Figura A.5.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	75
Figura A.6.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).	76
Figura A.6.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg ⁻¹).	77
Figura A.6.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms ⁻¹).	78
Figura A.6.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	79
Figura A.7.1	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).	80
Figura A.7.2	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg ⁻¹).	81
Figura A.7.3	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms ⁻¹).	82
Figura A.7.4	Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).	83

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 1 Características topológicas e meteorológicas da área de estudo.	7
Quadro 2 Localização geográfica das estações meteorológicas da Empresa “Celulose Nipo-Brasleira S. A. (CENIBRA)”.	8
Quadro 3 Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações em estudo, nos períodos secos (04-09/02 e 04-09/03) e úmidos (10/02-03/03 e 10/03-03/04), para a temperatura potencial (t_o), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv).	35
Quadro 4 Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Alfié e Cataquinho, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (t_o), a umidade específica (q), a precipitação pluvial (PP) e a velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período estudado.	36
Quadro 5 Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Cocais e Coqueiros, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (t_o), umidade específica (q), precipitação pluvial (pp) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.	37
Quadro 6 Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Fábrica e Gaspar, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (t_o), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.	38
Quadro 7 Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Lagoa Grande, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (t_o), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.	39

LISTA DE SIMBOLOS

$d_{p_i p_j}$	Distância euclidiana do j-ésimo ponto amostrado i ao ponto interpolado.
\hat{z}	valor interpolado
d	valor de z do ponto conhecido i
p	expoente de ponderação da distância
n	número de pontos a serem incluídos na procura
i	número do ponto conhecido a ser tomado em conta
k	expoente da distância, geralmente igual a 1 ou 2
d_{ij}	valor da distância da amostra j ao ponto i da grade
T	Temperatura do ar (°C)
P_i	pressão atmosférica (hPa);
P_{est}	Pressão medida na estação (hPa);
Z_i	Altitude da célula i (m)
T_Z	Temperatura na altitude Z (°C)
P_Z	Pressão Atmosférica na altitude Z (hPa)
P_o	Pressão Atmosférica na altitude de referência (hPa)
θ_o	Temperatura Potencial na altitude referência (K)
R	Constante específica do ar seco ($287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
UR	Umidade Relativa (%)
q	Umidade específica do ar
$e_{w(t)}$	Pressão de Vapor de Saturação
a	7,5 para a temperatura do ar
b	237,3 para a temperatura do ar
U	Velocidade do vento (m s^{-1})
P	Pressão atmosférica (hPa); Latitude (graus)

RESUMO

AMORIM, Raniéri Carlos Ferreira de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2005. **Espacialização de variáveis meteorológicas em áreas de relevo ondulado na bacia do Rio Doce.** Orientador: Aristides Ribeiro. Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama e Brauliro Gonçalves Leal.

A crescente importância das variáveis meteorológicas para a estimativa de produtividade e também a carência de trabalhos científicos relacionados à espacialização de variáveis meteorológicas, mostrou a necessidade da realização de estudos que auxiliem na compreensão da climatologia local e suas aplicações. Desta forma, este trabalho tem como objetivo testar e validar o desempenho de uma metodologia para espacialização das variáveis meteorológicas: temperatura do ar, precipitação pluvial, umidade do ar e velocidade do vento para uma área de relevo ondulado. O estudo foi realizado em um polígono regional que contém parte da bacia do Rio Doce localizada na região do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, com coordenadas geográficas entre os paralelos 18° 26' e 20° 18' de latitude Sul e entre os meridianos 42° 8' e 43° 35' de longitude Oeste, com uma área de 41.512,5 km², pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA). O período de estudo foi de junho de 2001 a junho de 2004. Comprovou-se a eficiência do método de espacialização das variáveis temperatura e umidade relativa desenvolvido para o local e período estudado, o qual envolveu as etapas: a) criação de uma grade de dados regulares a partir de dados pontuais irregulares, que amplia a disponibilidade de informações meteorológicas; b) correção do gradiente adiabático seco nos pontos de grade com base no modelo digital de elevação; e c) interpolação destas informações utilizando o método do inverso do quadrado da distância. A espacialização da temperatura e umidade relativa foi independente da influência na sazonalidade, de efeitos latitude e continentalidade nas escalas espaciais e temporais consideradas, com um erro relativo médio de 11,1% e 6,6%, respectivamente. A espacialização da velocidade do vento foi satisfatória nas escalas espacial e temporal, com um erro relativo médio de 27% para a maioria das estações estudadas. A espacialização da precipitação pluvial não foi eficiente para representar as variações espaciais dos mecanismos de formação dos eventos de chuva com um erro relativo médio de 66,5%.

ABSTRACT

AMORIM, Raniéri Carlos Ferreira de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005. **Espacialization of the meteorological variables in areas of wavy relief in the Rio Doce Basin.** Adviser: Aristides Ribeiro. Committee Members: Gilberto Chohaku Sedyama and Brauliro Gonçalves Leal.

The growing importance of the meteorological variables for the productivity estimate and also the need of scientific works related to the espacialization of meteorological variables, showed the need of the realization of studies to aid in the understanding of the local climatology and their applications. This way, this work has as objective tests and to validate the performance of a methodology for espacialization of the meteorological variables: temperature of the air, pluvial precipitation, humidity of the air and wind speed for an area of wavy relief. The study was accomplished in a regional polygon that it contains part of River Doce basin located in the area of River Doce valley, State of Minas Gerais, with geographical coordinates among the parallel ones $18^{\circ} 26'$ and $20^{\circ} 18'$ of South latitude and among the meridians $42^{\circ} 8'$ and $43^{\circ} 35'$ of longitude West, with an area of $41.512,5 \text{ km}^2$, belonging to the company Nipo-Brasileira de Cellulose S.A. (CENIBRA). The study period was from June, 2001 to June, 2004. Proven the efficiency of the method of espacialization of the variables temperature and relative humidity developed for the place and studied period, which it involved the stages: a) creation of a grid of regular data starting from irregular punctual data, that it enlarges the readiness of meteorological information; b) correction of the gradient dry adiabatic in the grating points with base in the digital model of elevation; and c) interpolation of these information using the method of the inverse square of the distance. The espacialization of the temperature and relative humidity was independent of the influence in the seasonal, of effects latitude and continentally in the space and temporary scales considered, with a medium relative error of 11,1% and 6,6%, respectively. The espacialization of the wind speed was satisfactory in the space and temporary scales, with a medium relative error of 27,0% for most of the studied stations. The espacialization of the pluvial precipitation was not efficient to represent the space variations of the mechanisms of formation of the rain events presenting a medium relative error of 66,5%.

1 – INTRODUÇÃO

O clima deve ser considerado como um fator decisivo para o desenvolvimento e o crescimento das plantas. Sendo assim, os elementos climáticos são essenciais para capacitar os agricultores a tomarem decisões operacionais. Todas as culturas, em maior ou menor grau, são sensíveis às condições edafoclimáticas adversas. Para que a agricultura seja menos vulnerável às oscilações climáticas é necessário que o produtor realize, em sua localidade, uma caracterização climática, para definir o que plantar e qual o período mais apropriado. Além disso, é desejável que o agricultor disponha de informações sobre as previsões do tempo e do clima, que podem auxiliar no planejamento de suas atividades agrícolas.

Geralmente não se dispõe de uma rede de estações meteorológicas com densidade adequada e séries históricas suficientemente longas e confiáveis. Por isso, a regionalização dos elementos meteorológicos se faz importante e obedecem a uma distribuição onde as condições médias da atmosfera, a localização da região e os fatores naturais permitem o agrupamento em regiões que apresente padrões semelhantes.

A função mais utilizada para espacialização de variáveis meteorológicas baseia-se na distância euclidiana, em que a influência de uma variável medida em determinada estação meteorológica diminui à medida que se afasta desta coordenada geográfica. O inverso do quadrado da distância (IDW), de acordo com alguns estudos, é o método baseado em distância euclidiana mais acurado entre os métodos de interpolação para mapear variáveis meteorológicas.

Tendo em vista a importância das variáveis meteorológicas para a ciência, a produção agrícola e a estimativa de produtividade, e devido à carência de trabalhos científicos relacionados à geoespacialização de variáveis meteorológicas, faz-se necessária à realização de estudos que auxiliem na compreensão da climatologia local, onde há deficiência de um banco de dados completo e consistente.

O objetivo deste trabalho foi testar e validar o desempenho de uma metodologia para espacialização das variáveis meteorológicas temperatura do ar, precipitação pluvial, umidade do ar e velocidade do vento, para uma área de relevo ondulado localizada na Bacia do Rio Doce.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O clima é de suma importância em todas as fases da atividade agrícola, seja no planejamento da atividade, na condução dos plantios (tomada de decisão), como no armazenamento da produção, etc. Os dados meteorológicos são coletados de forma pontual conforme as coordenadas geográficas das estações meteorológicas onde são medidos, sendo necessário, para viabilizar interpretações espaciais das informações, a realização de um estudo de regionalização dessas variáveis.

A regionalização é realizada de forma a disponibilizar informações climáticas em locais sem dados ou com poucas informações disponíveis gerando uma partição espacial, que resulta em novas unidades de áreas com dimensões geográficas mais abrangentes. Tal procedimento aplicado aos elementos meteorológicos, como temperatura do ar, precipitação pluvial, pressão atmosférica, umidade do ar, irradiância solar global e velocidade do vento obedecem a uma distribuição no espaço, onde o estado médio da atmosfera, a localização da região e os fatores naturais, conjuntamente, permitem o agrupamento em regiões que apresentam padrões semelhantes (STOCKHOLM, 1984). Devido aos custos de implantação de redes de medidas dos elementos meteorológicos faz-se necessário analisar com cuidado o número mínimo de estações necessárias, bem como sua precisa alocação. Quanto maior for os fatores forçantes que determinam o clima de uma região, maior será a densidade de estações necessária para a caracterização climática. Como forçantes locais pode-se destacar fatores topo e meso-climáticos, como altitude, inclinação e face de exposição do terreno, presença de grandes corpos de água livre, etc (WOTLING et al., 2000). A densidade e localização das estações meteorológicas devem permitir assimilar bem os padrões locais e regionais do clima, captando de forma adequada as variações diurnas, sazonais e inter-anuais das variáveis meteorológicas.

Dentre os elementos climáticos, a precipitação pluvial é um dos elementos que mais afetam a produção agrícola, devido ao seu caráter de difícil previsibilidade, aumentando, conseqüentemente, os riscos no planejamento da agricultura, tanto em curto, quanto em longo prazo. A temperatura do ar é um dos principais fatores que controla o desenvolvimento e o crescimento das plantas. Toda planta tem seus limites de temperatura definido, em que se verifica maior ou menor crescimento, portanto, é de suma importância o conhecimento dos extremos térmicos de uma região para o sucesso da atividade agrícola. Os dados de temperatura do ar obtidos nas estações meteorológicas são pontuais, apresentando este elemento grande variação espacial, sendo de suma importância métodos

adequados de espacialização. Felizmente, modelos com variáveis dependentes de fácil obtenção (latitude, longitude e altitude), podem representar bem as variações da temperatura do ar no espaço. A umidade atmosférica é um fator determinante para as atividades biológicas, afetando o desenvolvimento dos vegetais. Sob o aspecto fisiológico, este elemento está relacionado à evapotranspiração dos vegetais, governado as trocas de água entre o sistema solo-planta e a atmosfera. Dentre outros aspectos a evapotranspiração é desejável por controlar a absorção de nutrientes (fluxo de massa), a termo-regulação (liberação de calor latente), o alongamento celular (turgidez celular), manutenção do fluxo de CO₂ para fotossíntese (abertura estomática para o processo de difusão), etc (LARCHER, 2000). Finalmente, a umidade do ar está intimamente relacionada à incidência de pragas e doenças, fato que é determinante no sucesso da atividade agrícola, por influir grandemente nos custos de produção. O vento também é um elemento do clima que influi diretamente no microclima de uma região, interferindo no crescimento de culturas. Pode-se destacar como efeito favoráveis desse elemento meteorológico a renovação do ar próximo as folhas que mantêm a taxa transpirativa (remoção do vapor saturante) e renovação da concentração de CO₂ próximo aos estômatos (favorece a difusão por diferença de pressão interna e externa ao mesófilo foliar). No entanto, quando o vento é incessante e em determinada intensidade tem efeitos desfavoráveis, como o dessecamento das plantas, promove injúrias físicas nos tecidos e pode até provocar o acamamento das culturas (PEREIRA et al., 2002).

Com o advento dos microcomputadores de alto desempenho, as técnicas de geoprocessamento expandiram rapidamente tornando-se importantes ferramentas para as análises espaciais das variáveis biofísicas. Segundo ROSA & BRITO (1996), citado por ORTIZ (2003), o geoprocessamento é o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais, bem como, o desenvolvimento de sistemas e suas aplicações. A característica fundamental de um sistema de geoprocessamento é sua facilidade de criar, armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional (CÂMARA, 1993). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são sistemas destinados a manipulação de dados georreferenciados, ou seja, informações codificadas espacialmente de forma precisa, rápida e sofisticada (GOODCHILD, 1991). Entretanto, nem todos os modelos inferenciais propostos respondem as questões básicas relacionadas à forma, tamanho e orientação do domínio a ser considerado na interpolação e tão pouco fornecem informações a respeito da incerteza associada aos valores estimados (BURROUGH & MACDONNEL, 1998).

RAUPACH et al. (1997) verificaram que a topografia perturba todos os processos e variáveis envolvidas na interação terra-atmosfera, incluindo radiação solar, temperatura do ar e déficit de saturação, ventos, nebulosidade e precipitação pluvial. O estudo mostrou que a influência da topografia sobre as variáveis meteorológica, apresenta uma profunda influência no clima próximo à superfície, e assim sendo, nas trocas de energia, água e momentum na biosfera.

Os elementos meteorológicos podem ser modelados a partir da representação da topografia da região, em Modelos Digitais de Elevação (MDE). Segundo JENSON & DOMINGUE (1988), MARK (1984), MOORE et. al. (1991) & MARTZ & GARBRECHT (1992), pesquisas têm demonstrado que é possível obter-se informações topográficas a partir de raster (MDE). Os MDEs produzem informações fundamentais necessárias para descrever e modelar a paisagem geográfica, que é importante em muitos processos de modelagem envolvendo fenômenos próximos da superfície. A exploração dos MDEs produz uma variedade de parâmetros secundários da paisagem, importantes na aplicação global em hidrologia e microclimatologia (CAMPOS et al., 1997). Técnicas manuais para obter parâmetros similares consomem tempo e são caras, sendo conseqüentemente, limitadas a menores áreas de estudo, quando comparadas com outras áreas maiores estudadas usando MDEs (PETERSEN et al., 1991). No entanto, para a obtenção do MDEs deve-se definir pontos que possuam coordenadas tridimensionais. Estes pontos podem ter uma distribuição espacial aleatória ou definida.

Ressalta-se aqui, que a qualidade e a resolução dos dados digitais devem ser consistentes com a escala da bacia hidrográfica, com o processo físico a ser modelado e com os objetivos do estudo. Segundo GARBRECHT & STARKS (1995), OSTMAN (1987) e TOPOGRAPHIC SCIENCE WORKING GROUP (1988), o United States Geological Survey (USGS) dispõe de informações digitais, com resolução de 30 por 30 metros, úteis para muitas aplicações em ciências ambientais. Pesquisas recentes (WOLOCK, 1994 e ZHANG & MONTGOMERY, 1994), têm avaliado os efeitos do ruído e da baixa resolução dos dados digitais na precisão dos resultados modelados.

A interpolação é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos. DIRKS et al. (1998) trabalharam com alguns interpoladores espaciais para chuvas anuais, mensais, diárias e horárias para a Ilha de Norfolk na Nova Zelândia, tendo concluído que os

métodos krigagem e o inverso do quadrado da distância (IDW) sobressaíram em relação a polígonos de Thiessen, “splines” cúbicas e inverso da distância com expoentes 1, 3 e 4.

O método de interpolação IDW assume que cada amostra de ponto tem uma influência local que diminui com a distância. Admite que os pontos mais próximos para o processamento da célula, influem mais fortemente que aqueles mais afastados. Este método é recomendado quando a variável a ser mapeada diminui com a distância na localização amostrada (WEI & MCGUINNESS, 1973).

O parâmetro Expoente de Ponderação da Distância (EPD) tem forte influência na interpolação, por exemplo, controlando a significância dos pontos conhecidos nos valores interpolados baseado na distância deles ao ponto de saída. Definindo um valor alto para EPD, será dado um peso maior para os pontos mais próximos, e a superfície resultante terá mais detalhes, sendo, portanto, menos lisa. Especificando um valor baixo para EPD, a influência dos pontos mais afastados será maior, resultando em uma superfície mais lisa, conseqüentemente com menos detalhes (BOOTH, 2001).

Um dos métodos utilizados para avaliar a espacialização é o processo de validação cruzada sendo, de acordo com, bastante simples. Para isso remove-se um dado do conjunto de dados amostrais e, usando-se um estimador e função ponderada relacionada com a distância, estima-se o valor retirado, utilizando-se as amostras remanescentes. Têm-se, agora, dois valores para o mesmo ponto, o real e o estimado. O erro da estimação pode ser calculado pela diferença entre o valor real e o estimado, sendo repetido para cada local amostrado (MYERS 1997).

Nas comparações baseadas em série de dados climáticos, um estudo de validação cruzada pode ajudar a escolher entre os diferentes métodos de interpolação. Os resultados de validação cruzada têm informações espaciais importantes, com um enfoque específico nas metas finais da prática de estimação que pode prover onde um método de estimação pode haver problema. Desde que tais percepções possam conduzir a casos específicos nas melhorias do método de estimação, a validação cruzada é um passo preliminar importante antes das estimativas finais serem calculadas (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

3. Material e Métodos

3.1 Área Experimental

O estudo foi realizado em um polígono regional que contém parte da bacia do Rio Doce localizada na região do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, com coordenadas geográficas entre os paralelos 18° 26' e 20° 18' de latitude Sul e entre os meridianos 42° 8' e 43° 35' de longitude Oeste, com uma área de 41512,5 km² (Figura 1), pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA).

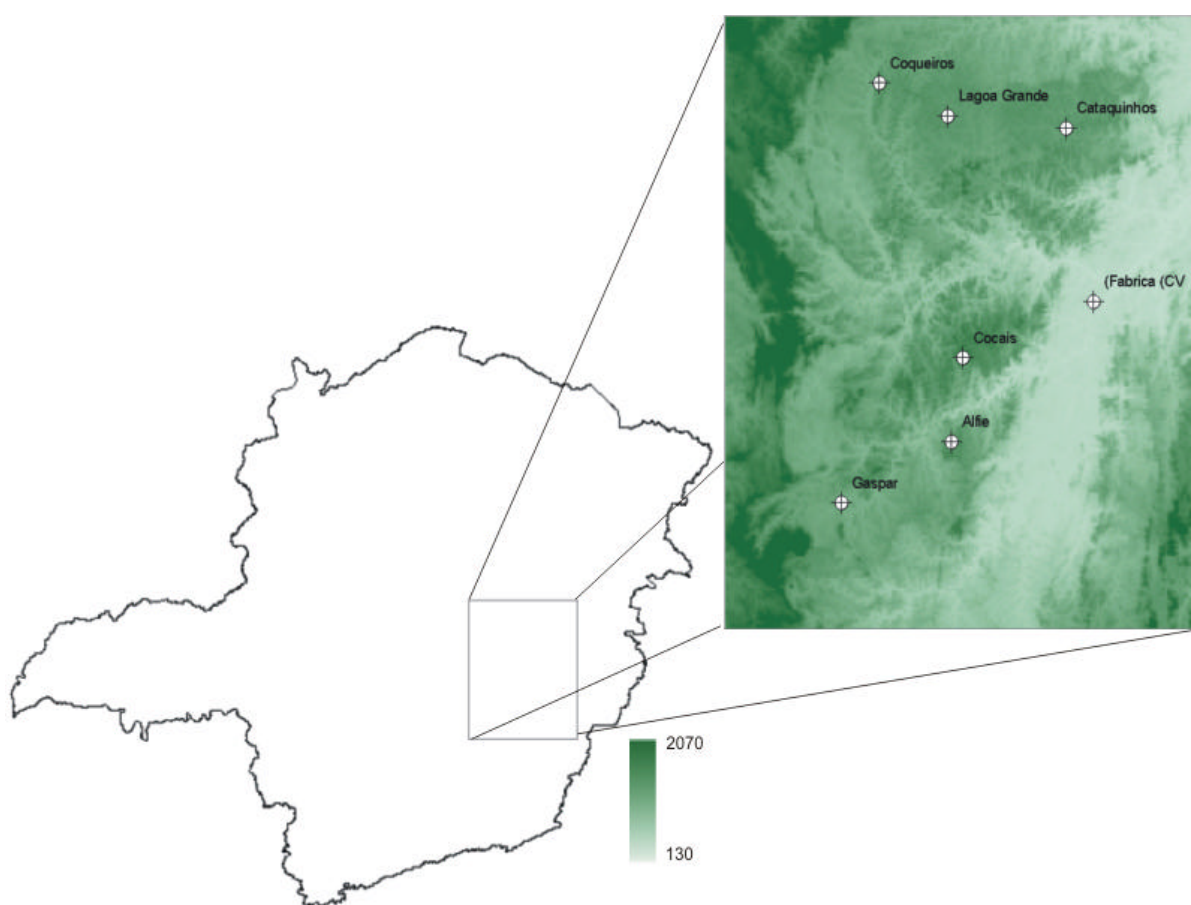


Figura 1 – Localização e topografia da área em estudo. O mapa em destaque apresenta o Modelo Digital de Elevação e as estações meteorológicas.

Para a caracterização topográfica e meteorológica, a área de estudo foi dividida em regiões com características semelhantes, as quais são apresentadas no Quadro 1 e Figura 2.

Quadro 1 - Características topológicas e meteorológicas da área de estudo.

Local	Belo Oriente	Nova Era	Guanhães	Cocais	Ipaba
Precipitação Média Anual (mm)	1160	1424	1137	1258	1160
Temperatura Média Anual (°C)	25,1	22,7	22,1	21,2	25,1
Umidade Relativa Média Anual (%)	66	59	60	66	66
Déficit Hídrico (mm)	429	195	203	148	429
Altitude (m)	290	740	800	950	290
Relevo	Plano a Forte Ondulado	Suave ondulado a montanhoso	Suave ondulado a montanhoso	Forte ondulado a montanhoso	Plano e forte ondulado

Fonte: LEITE (2001), comunicação pessoal.

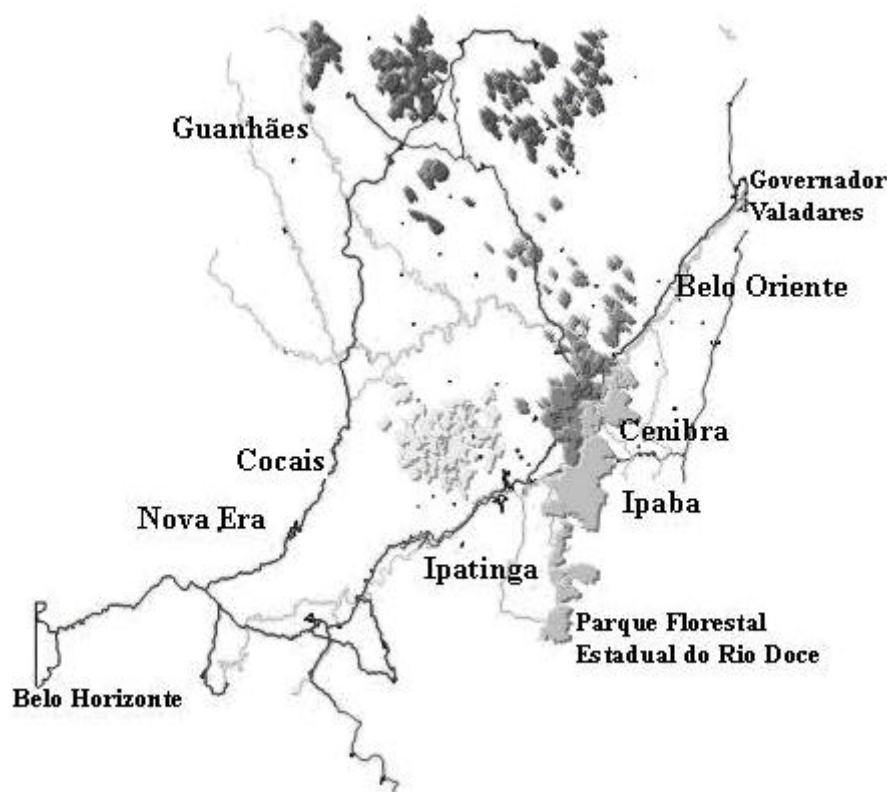


Figura 2 - Localização das regionais na área em estudo.

3.2 Dados Utilizados

No Quadro 2 são apresentados as 7 (sete) estações meteorológicas utilizadas, sendo descritas as coordenadas de posição (altitude, latitude e longitude). Foram utilizados neste estudo totais diários de precipitação pluvial e a temperatura potencial, a umidade específica do ar e a velocidade do vento médias diárias calculadas a partir de medidas horárias coletadas nas estações meteorológicas automatizadas. Durante a seleção das estações meteorológicas para obtenção das séries climáticas, uma dificuldade encontrada foi a

desuniformidade na distribuição espacial dessas estações. Para a espacialização, estas variáveis foram submetidas à análise de consistência dos dados e falhas na sequência da série. O período de estudo foi de 16 de junho de 2001 a 15 de junho de 2004.

Quadro 2 – Localização geográfica das estações meteorológicas da Empresa “Celulose Nipo-Brasleira S. A. (CENIBRA)”, Minas Gerais.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Região
Alfié	-19° 46' 28''	- 42° 54' 24''	1.143	Nova Era
Cataquinho	- 18° 42' 24''	- 42° 29' 25''	1.015	Guanhães
Cocais	- 19° 29' 19''	- 42° 51' 54''	1.273	Nova Era
Coqueiros	- 18° 33' 17''	- 43° 10' 03''	993	Guanhães
Fabrica (CV)	- 19° 17' 53''	- 42° 23' 26''	233	Belo Oriente/Ipaba
Gaspar	- 19° 59' 00''	- 43° 18' 19''	847	Nova Era
Lagoa grande	- 18° 39' 58''	- 42° 55' 16''	1.012	Guanhães

3.3. Padronização de Altitude das Estações

As médias diárias das variáveis meteorológicas como pressão atmosférica e temperatura do ar em cada estação foram transformada para a altitude de referência (nível médio do mar). A pressão atmosférica foi corrigida em função da altitude para que se ajustasse a tal nível, utilizando a equação 5 do apêndice 3. A temperatura potencial foi usada para comparar as temperaturas do ar a diferentes alturas, sendo a equação 5 do apêndice 4 utilizada para converter as temperaturas do ar em potenciais. A partir dos dados de umidade relativa e temperatura do ar, foi calculada a umidade específica do ar através das equações 6, 7 e 8 descritos no apêndice 5.

3.4 Sistema de Geoespacialização

A implementação dos modelos matemáticos, para a espacialização das variáveis meteorológicas da área em estudo, foi realizada utilizando o módulo de análise espacial (Spatial Analyst) do Sistema de Informação Geográficas (SIG) “ArcGIS Desktop 8.3” (ESRI). Os mapas resultantes da interpolação foram agrupados mensalmente para facilitar a análise.

Devido a distribuição espacial das estações no formato de uma grade irregular, foi geradas 80 estações virtuais, numa regular de 250 linhas por 205 colunas. Os dados destas

estações virtuais foram obtidos através das referidas sete estações por meio de interpolação.

O modelo digital de elevação utilizado foi GTOPO30 em forma de uma grade regular com resolução de 30'x30' (900 m) nas coordenadas geográficas para obter uma área contínua.

Utilizaram-se dados horários das estações meteorológicas da empresa CENIBRA e, depois de verificada a consistência desses dados, foi gerada uma macro no software Microsoft Excel 2000 para determinar as médias diárias da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e o total diário da precipitação pluvial. A partir das coordenadas geográficas de cada estação meteorológica foram alocadas as estações no polígono estudado. A interpolação dos dados meteorológicos foi feita através do método do Inverso do Quadrado da Distancia (IDW) utilizando o software Sistema de Informações Geográficas ARC GIS 8.3, em que rotina das interpolações foi feita por meio de macros na linguagem no “Visual Basic 6.0”.

O algoritmo IDW estimou os valores desconhecidos dependendo dos valores vizinhos conforme as seguintes equações:

$$z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_{ij}^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p}} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

- \hat{z} = valor interpolado;
- d = distância de um dado ponto conhecido;
- Z = valor de z do ponto conhecido i;
- p = expoente de ponderação da distância;
- n = número de pontos a serem incluídos na procura;
- i = número do ponto conhecido a ser tomado em conta.

A ponderação mais usada na prática é o inverso do quadrado da distância euclidiana do ponto da grade à amostra considerada, ou seja:

sendo:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{Equação 2}$$

As diferentes etapas do desenvolvimento para a obtenção de mapas de espacialização das diferentes variáveis meteorológicas são apresentadas no fluxograma (Figura 3). Para obtenção dos mapas das diferenças entre as estações reais e os pontos de grade regular dos nós (Figura 4) foram feitas as seguintes etapas:

A partir da interpolação feita com todas as estações meteorológicas reais para cada variável;

foi feito, em seguida, a interpolação retirando uma das 7 (sete) estações;

retornava com a estação retirada anteriormente e repetia o processo até a última estação;

a partir dos mapas de interpolação utilizando todas as estações e os mapas com a retirada de uma das estações, foram determinados intervalos de 22,5 km para extrair os valores pontuais da grade regular dos nós;

interpolou-se novamente os dados referentes a grade regular dos nós;

em seguida, foi feita a diferença das interpolações a partir das estações reais com as virtuais, subtraindo uma da outra.

Resultando nos mapas das diferenças de estações reais das virtuais.

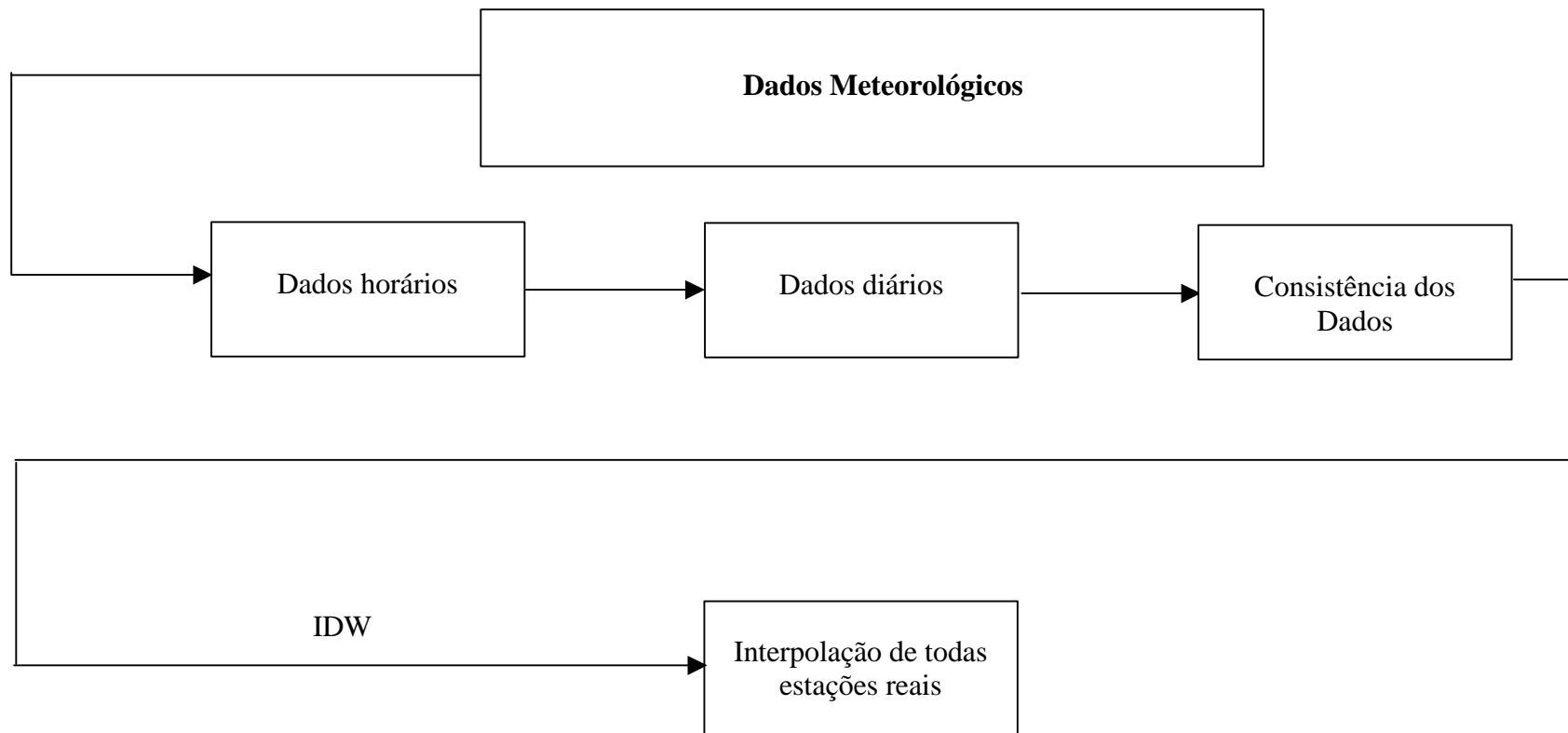


Figura 3 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento para obtenção dos mapas da espacialização das diferentes variáveis meteorológicas.

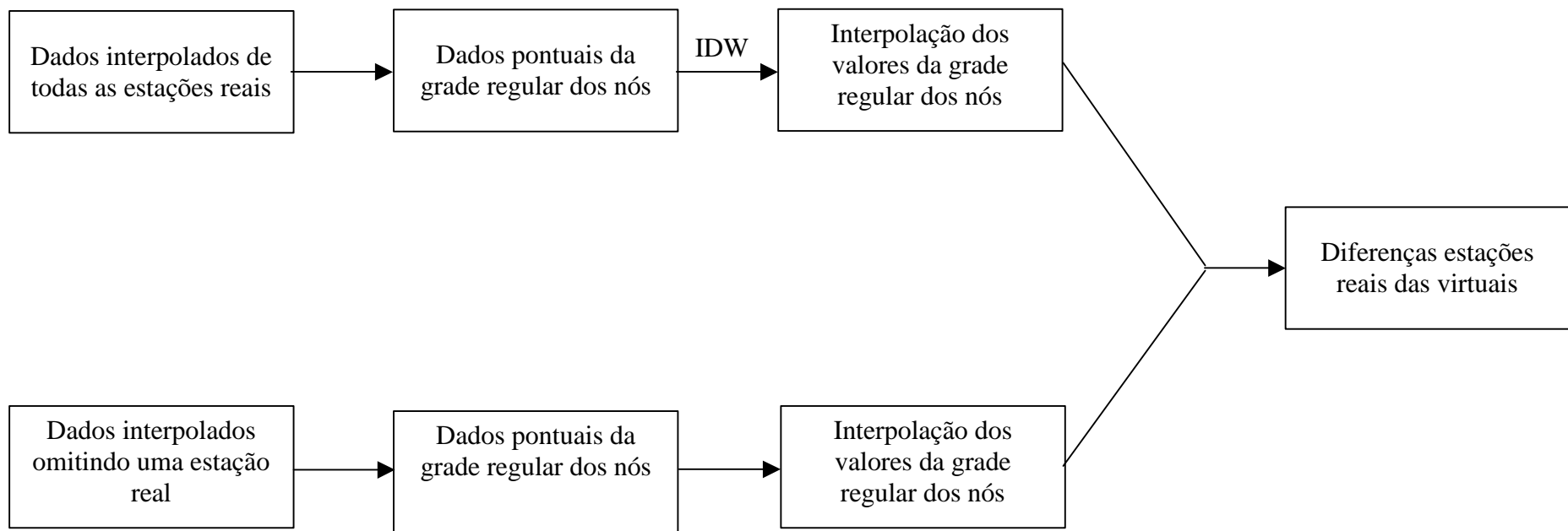


Figura 4 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento para obtenção das diferenças das estações reais e virtuais.

3.5 Análise dos resultados

A avaliação dos resultados foi realizada inicialmente de forma qualitativa, sendo assim calculadas médias mensais a partir dos dados diários das sete estações para a confecção dos mapas mensais (12 meses x 4 variáveis meteorológicas) e semestrais (2 períodos do ano x 4 variáveis) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003, tendo como base o modelo digital de elevação adotado.

Para uma análise quantitativa foi utilizado os métodos de validação cruzada e os mapas das diferenças, os quais são descritos a seguir.

3.5.1. Validação Cruzada

Para a avaliação dos resultados foi utilizado o método de validação cruzada (MVC) que consiste em retirar um número menor de estações para gerar o dado estimado, enquanto que no método tradicional é preciso separar uma boa parte de estações para fazer a validação. A vantagem deste método é que se pode trabalhar com mais estações para validar a espacialização e a desvantagem é que é um método mais trabalhoso. Foram calculados erros relativos (%) mensais e semestrais para avaliar a altimetria e a posição relativa de todas as estações meteorológicas nas diferentes localidades do período úmido de (outubro de 2002 a março de 2003 e outubro de 2003 a março de 2004) e no período seco (abril a setembro de 2002 e abril a setembro de 2003).

$$X_{e,v,m,a} = \left| \frac{X_{medido} - X_{interpolado}}{X_{medido}} \right| * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que,

e = estações meteorológicas;

v = variáveis meteorológicas;

m = mês: jan, fev,...,dez;

a = 2001; 2002; 2003 e 2004.

3.5.2. Mapas das Diferenças

Foram criados mapas mensais padrão (MMP_i) e estações virtuais constituídos pela interpolação dos dados diários do mês i das sete estações. Foram criados também os mapas mensais da estação N (MMN_i) constituídos pela interpolação dos dados do mês i , exceto a estação de número N .

Os MMN_i , para as sete estações, foram comparados com os dados de MMP_i . Estes resultados foram obtidos durante o período de 10 de outubro de 2002 a 09 de setembro de 2003, e foi feita uma análise estatística dos mesmos mediante testes de médias para os períodos secos e chuvosos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Gráficos do comportamento temporal das variáveis meteorológicas das estações no período estudado

As médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo das estações de Alfíé, Cataquinho, Cocais, Coqueiros, Fábrica, Gaspar e Lagoa Grande, no período de 06/01 a 06/04, estão apresentados nas Figuras 5 a 11, respectivamente.

Nestas figuras, pode-se observar que o comportamento sazonal das variáveis climáticas nos locais e período estudado foram comparáveis, apresentando diferenças nas magnitudes dos valores observados de local para local influenciado pelo relevo e altitude, principalmente.

As médias da temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento para a estação meteorológica Alfie foi de $19,3^{\circ}\text{C}$, $11,9\text{gkg}^{-1}$ e $4,1\text{ms}^{-1}$, respectivamente e para o total anual médio da precipitação pluvial foi 1641,8mm.

Para a estação Cataquinho as médias de temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento foram de $19,3^{\circ}\text{C}$, $11,8\text{gkg}^{-1}$ e $3,6\text{ms}^{-1}$. Para o total anual médio da precipitação pluvial foi de 1243,3mm.

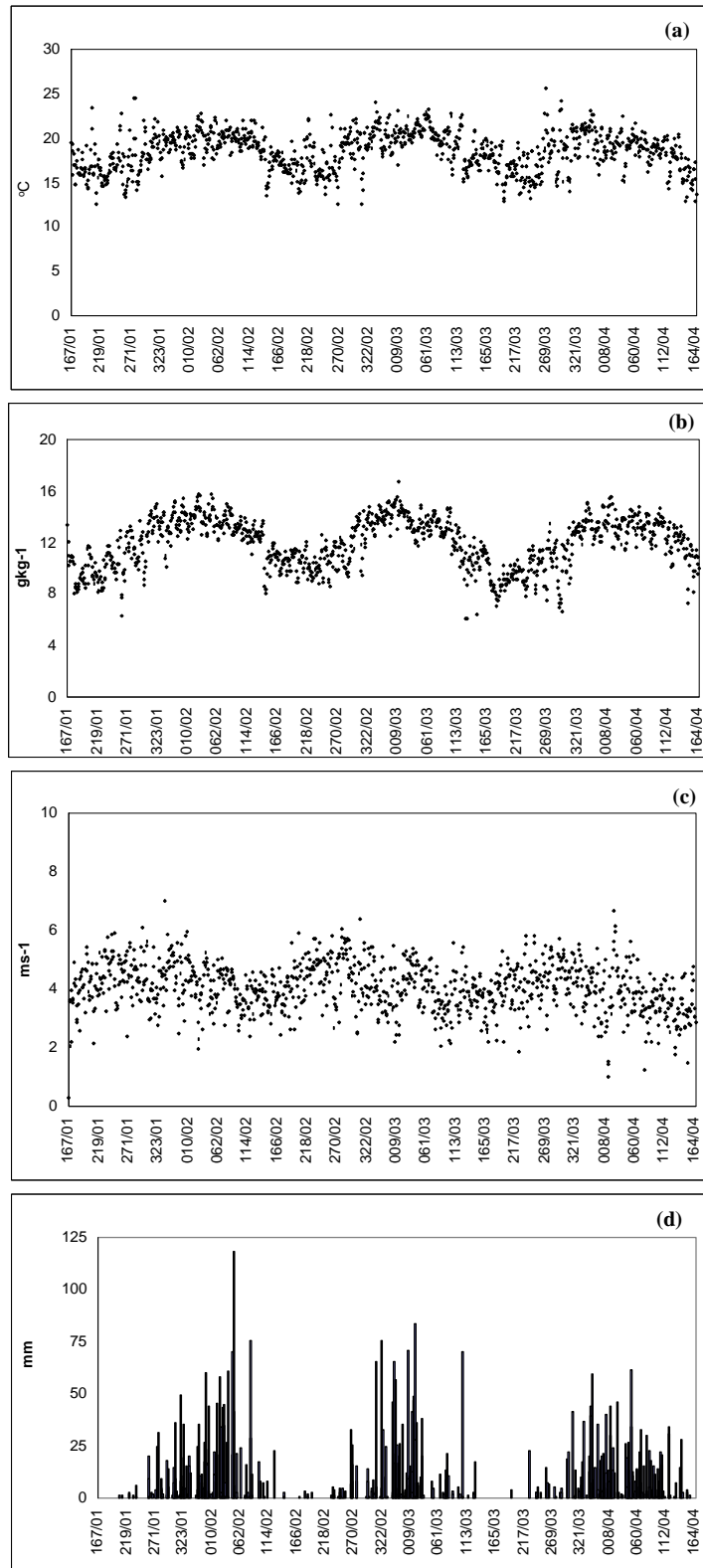
Quanto à estação Cocais as médias da temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento foram de $18,6^{\circ}\text{C}$, $11,7\text{gkg}^{-1}$ e $4,2\text{ms}^{-1}$, respectivamente e o total anual médio de precipitação pluvial foi de 1426,6mm.

A estação Coqueiros apresentou médias de temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento de $20,7^{\circ}\text{C}$, $12,6\text{gkg}^{-1}$ e $3,6\text{ms}^{-1}$ e total anual médio de precipitação pluvial de 1394,1mm, respectivamente.

As médias da temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento da estação Fábrica foram de $23,2^{\circ}\text{C}$, $14,5\text{gkg}^{-1}$ e $0,2\text{ms}^{-1}$. Enquanto que, o total anual de precipitação pluvial apresentou 1356,1mm.

A estação Gaspar apresentou médias de temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento de $20,8^{\circ}\text{C}$, 12gkg^{-1} e $2,3\text{ms}^{-1}$. O total anual médio de precipitação pluvial foi de 1638,5mm, respectivamente.

Quanto a estação Lagoa Grande as médias de temperatura potencial, umidade específica e velocidade do vento foram de $20,3^{\circ}\text{C}$, 12gkg^{-1} e $2,9\text{ms}^{-1}$, respectivamente e o total anual médio de precipitação pluvial foi de 1191,1mm.



Figuras 5 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Alfí, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

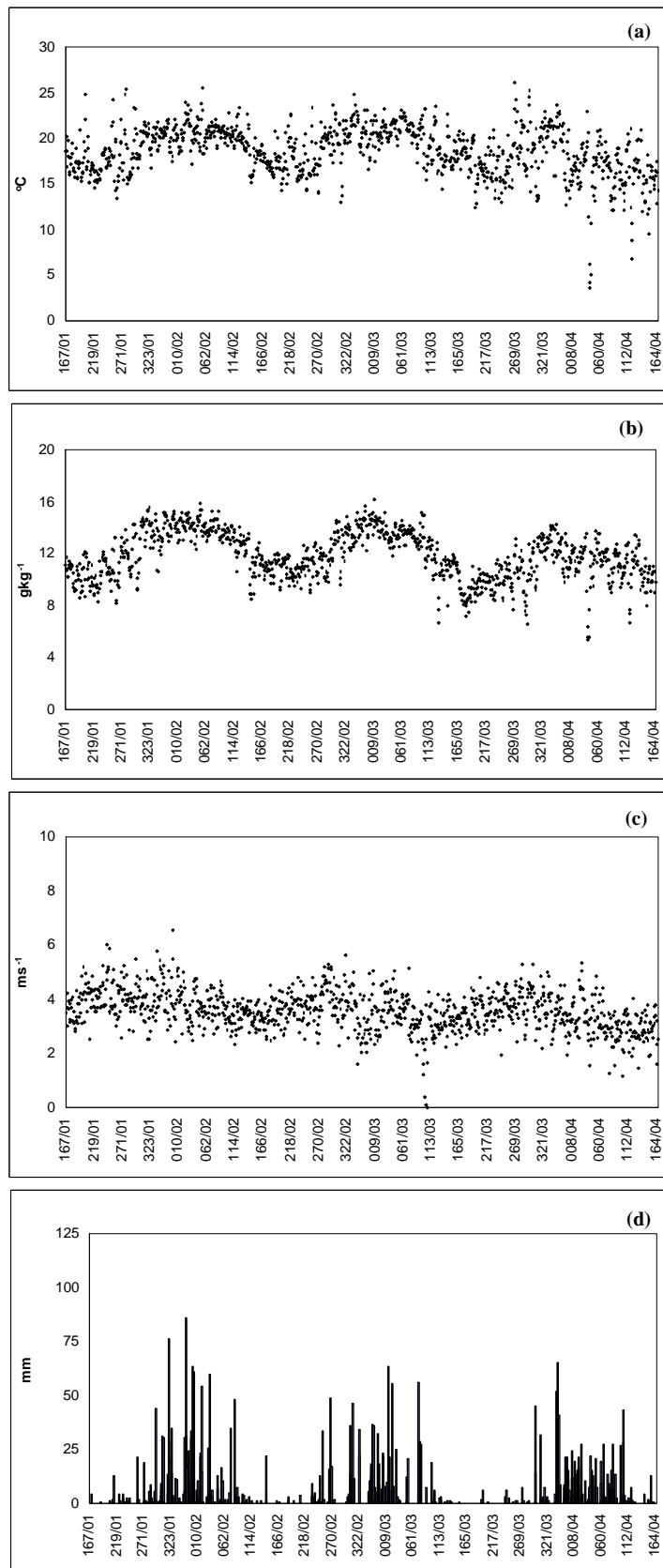


Figura 6 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Cataquinho, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

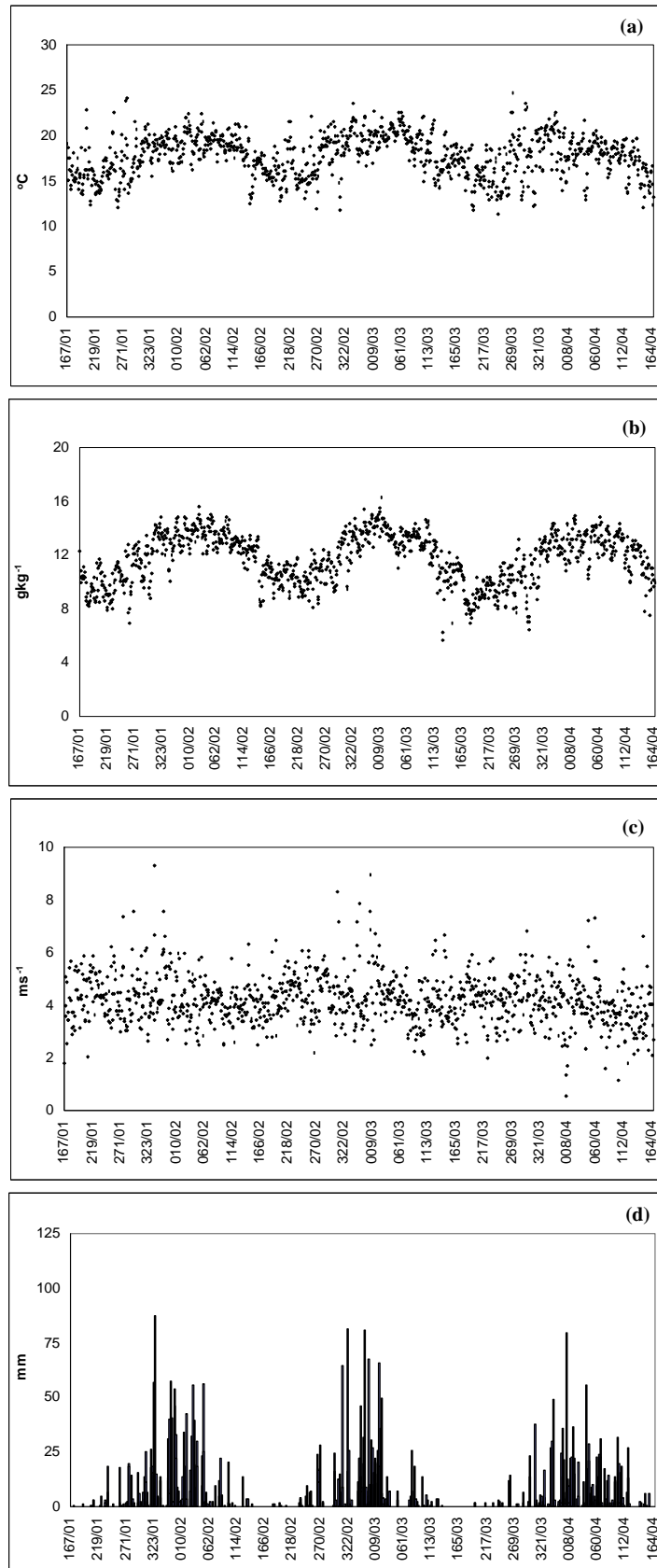


Figura 7 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Cocais, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

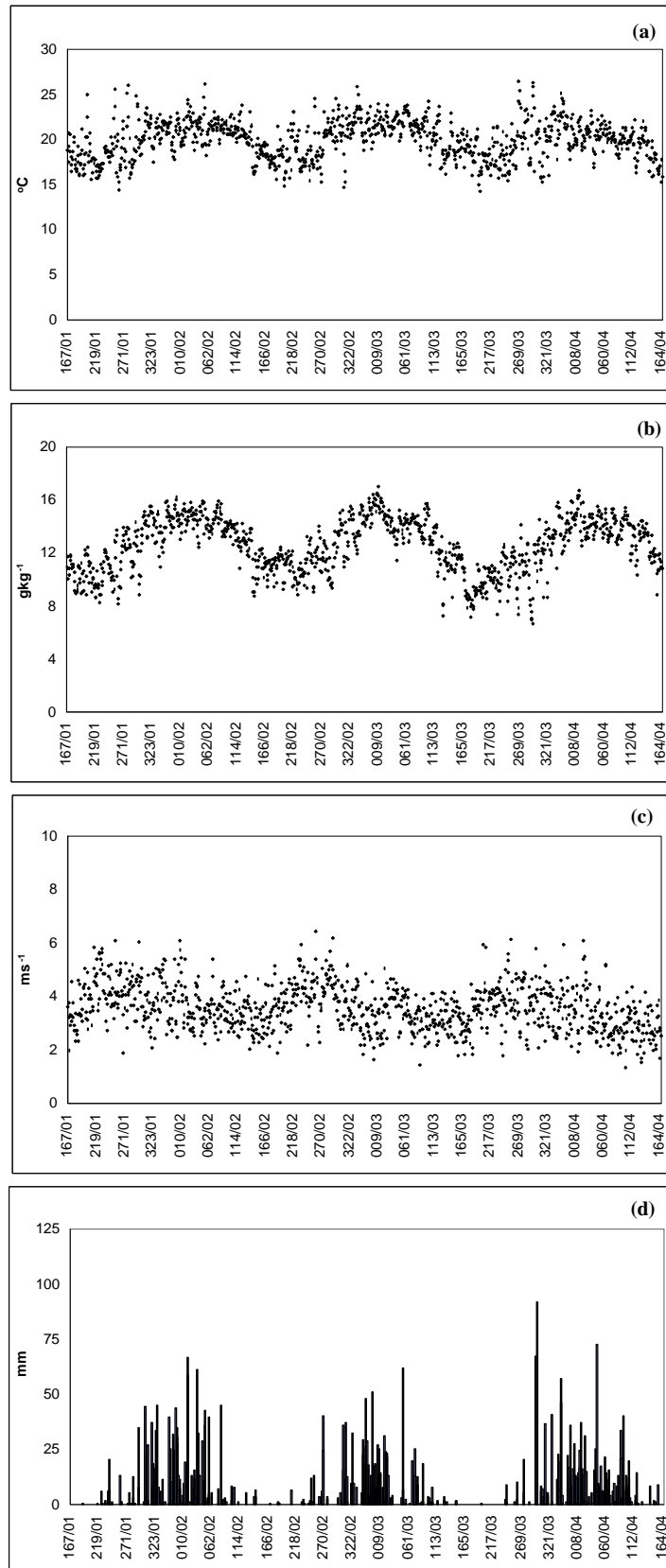


Figura 8 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Coqueiros, sendo (a) temperatura potencial (°C), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

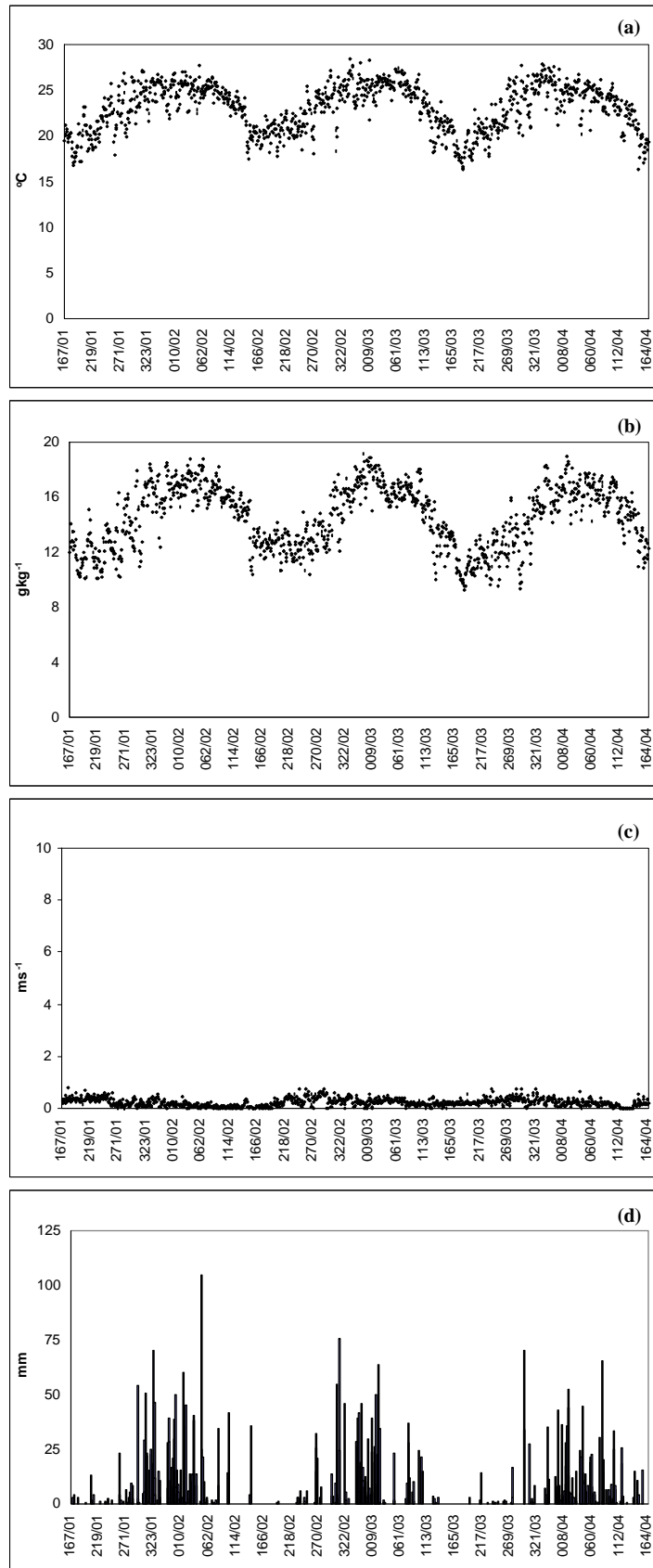


Figura 9 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Fábrica, sendo (a) temperatura potencial (°C), (b) umidade específica (gkg⁻¹), (c) velocidade do vento (ms⁻¹) e (d) precipitação pluvial (mm).

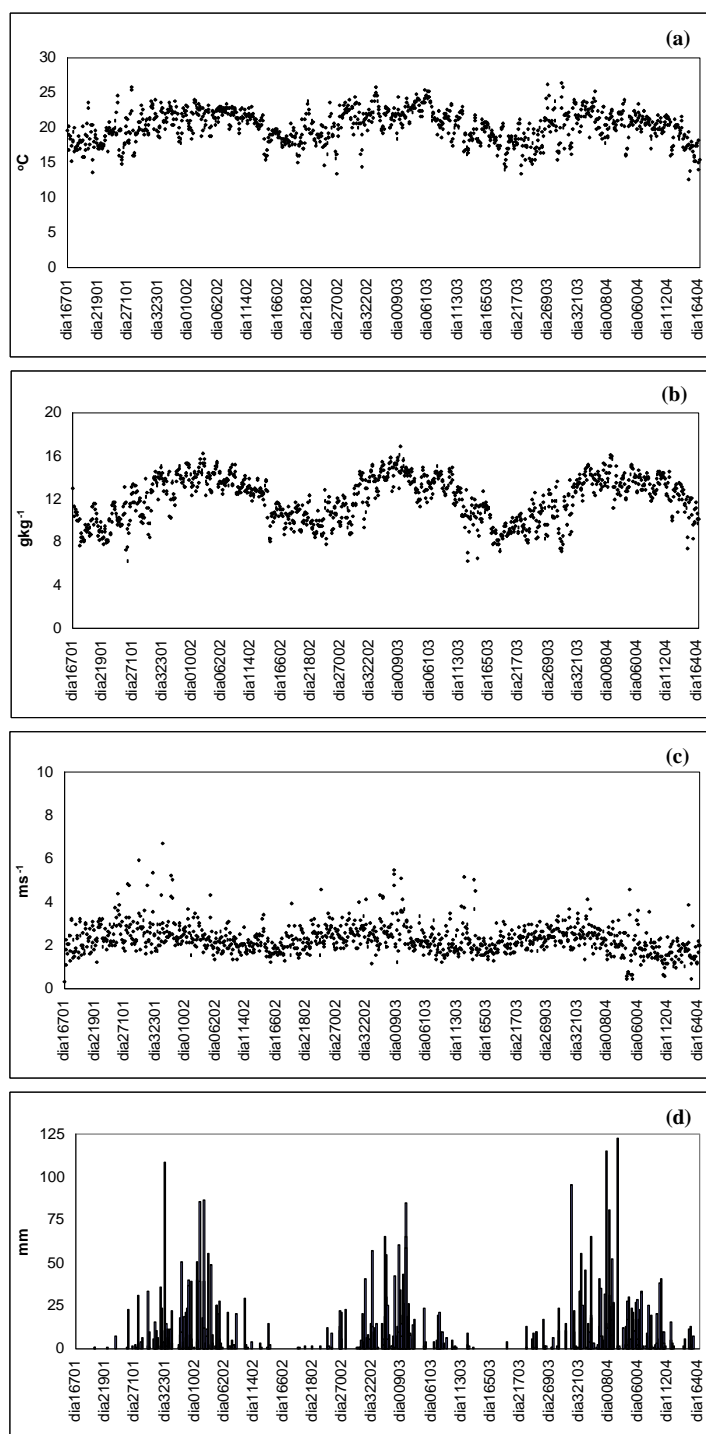


Figura 10 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Gaspar, sendo (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

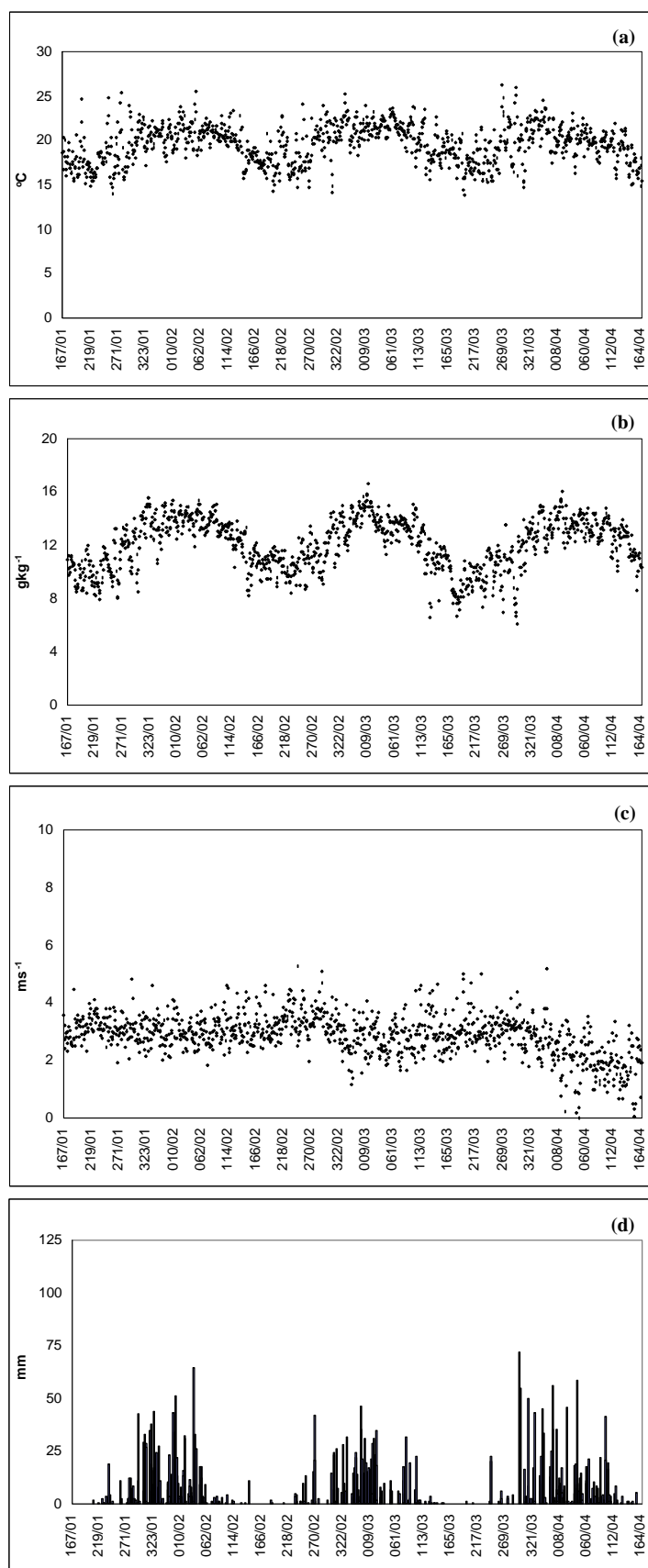


Figura 11 – Médias e totais diários das variáveis meteorológicas em estudo da estação de Lagoa Grande, sendo (a) temperatura potencial (°C), (b) umidade específica (gkg⁻¹), (c) velocidade do vento (ms⁻¹) e (d) precipitação pluvial (mm).

4.2 – Análise da variação espacial das variáveis meteorológicas

Para avaliar qualitativamente a espacialização das estações meteorológicas no período úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e período seco (abril a setembro de 2003) foram feitos mapas mensais e semestrais para cada variável, totalizando 48 mapas mensais e 8 mapas semestrais.

A figura 12 apresenta a espacialização das temperaturas potenciais médias mensais no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Neste período, os valores da temperatura potencial apresentaram menor variação espacial no período seco. No período chuvoso a região da estação Fábrica apresentou as maiores variações espaciais, destacando-se das demais estações. De um modo geral, o entorno da estação Fábrica apresenta temperatura potencial ligeiramente maior que as outras regiões devido à sua localização geográfica. As figuras 13a e 13b apresentam uma significativa variação espacial de 17 a 27°C indicando uma diminuição destes valores com a altitude, sendo as maiores e menores temperaturas potenciais nas regiões leste e nordeste/central, respectivamente.

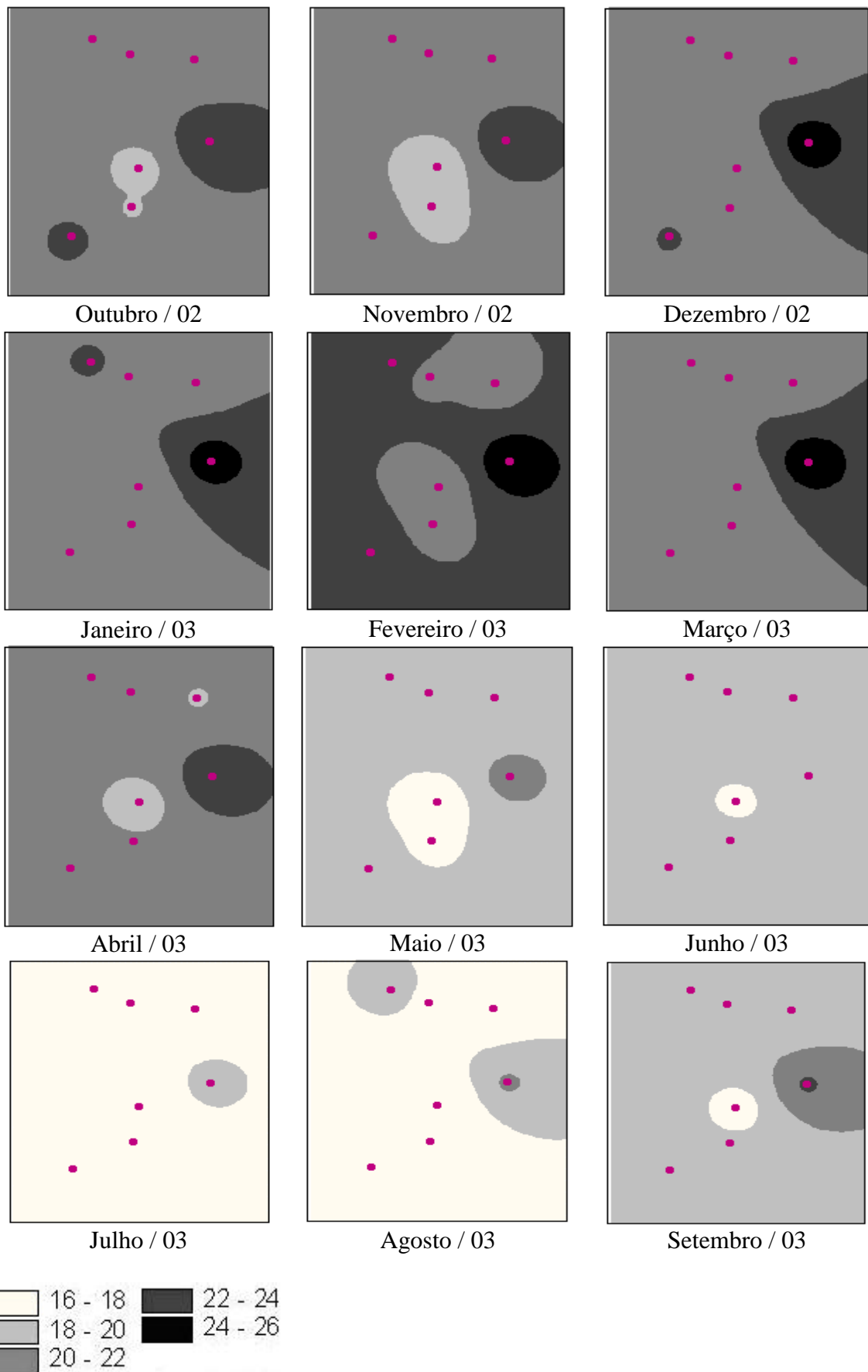


Figura 12 – Espacialização das temperaturas potenciais médias mensais ($^{\circ}\text{C}$) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam à localização das estações utilizadas.

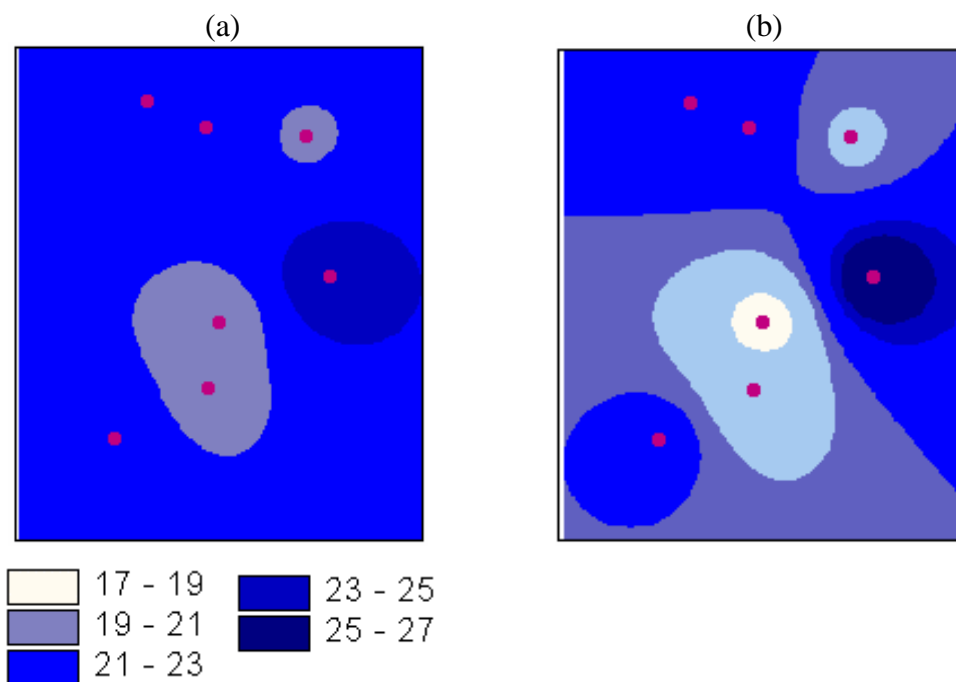


Figura 13 – Espacialização da temperatura potencial mensal ($^{\circ}\text{C}$) para os períodos: (a) úmidos (outubro de 2002 a março de 2003) e (b) seco de (abril a setembro de 2003).

A figura 14 apresenta a espacialização da umidade específica do ar médias mensais no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Pode-se observar um comportamento semelhante desta variável quando comparado com a temperatura potencial, conforme era esperado, pois são grandezas estreitamente relacionadas. Nas figuras 15a e 15b, pode-se observar que, como esperado, o período úmido (Figura 15a) apresentou os maiores valores ($12,4$ a $16,2\text{gkg}^{-1}$) de umidade, enquanto que, o período seco não ultrapassou o intervalo entre 10 e $12,4\text{gkg}^{-1}$, com exceção da estação Fábrica que variou entre $12,4$ a $13,6\text{gkg}^{-1}$, devido a sua localização geográfica e, principalmente, à sua altitude, pois é a que possui a menor elevação.

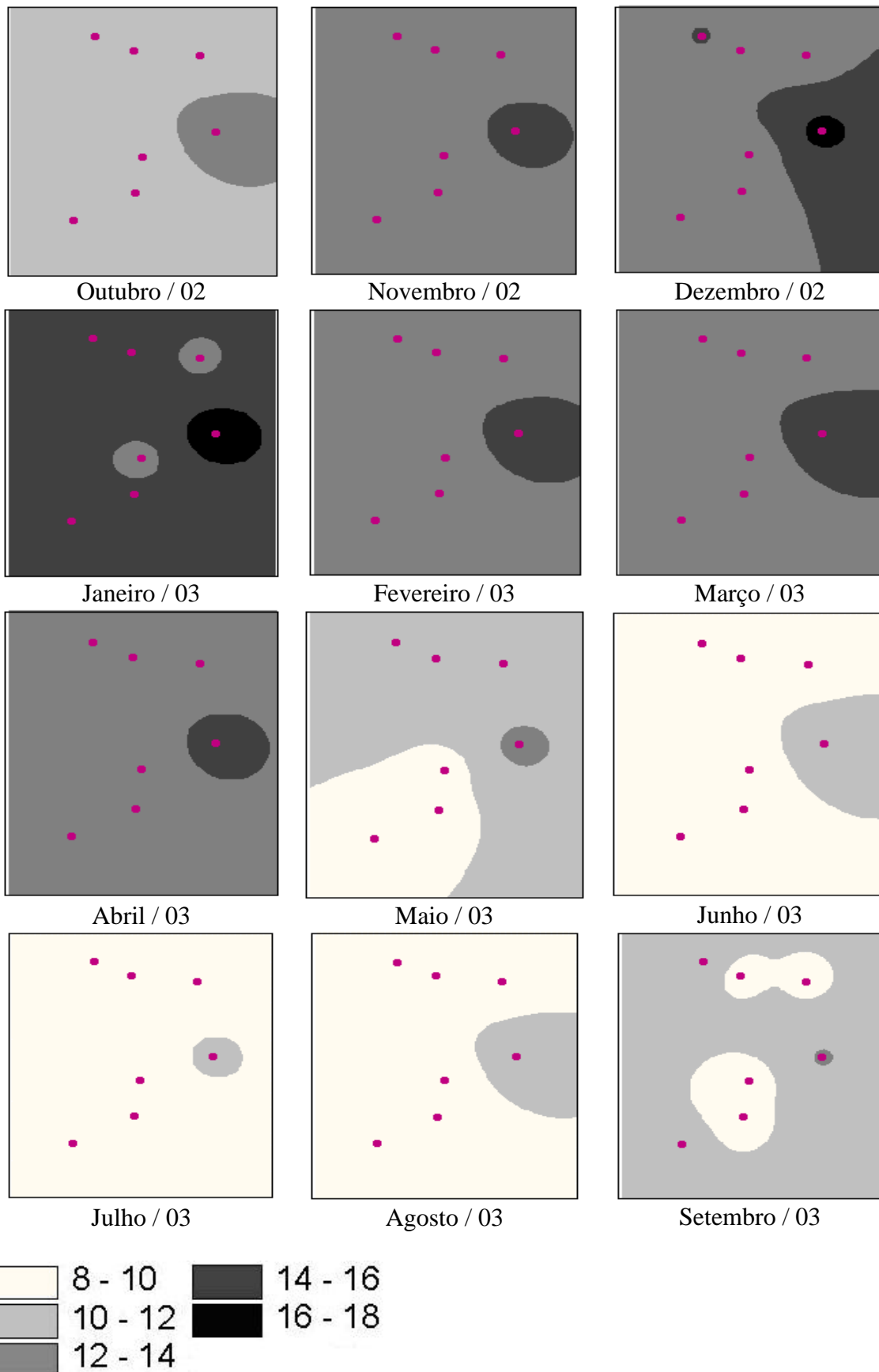


Figura 14 – Espacialização da umidade específica do ar médias mensais (gkg^{-1}) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas.

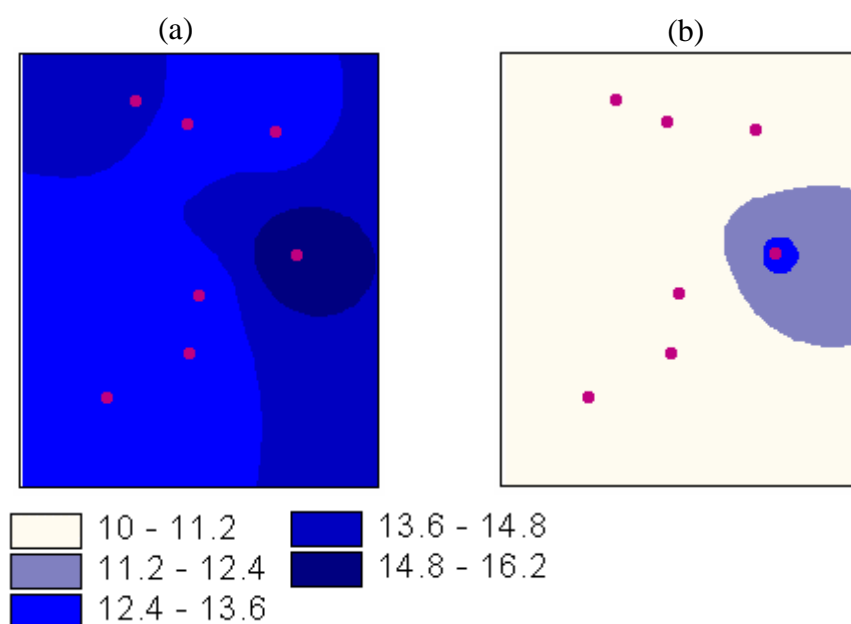


Figura 15 – Espacialização da umidade específica do ar semestral (gkg^{-1}) para os períodos: (a) úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e b) seco de (abril a setembro de 2003).

A espacialização das velocidades médias mensais do vento no período de outubro de 2002 a setembro de 2003, figura 16, apresenta grande variação espacial e temporal, conforme era esperado. No entanto, em termos gerais, a região da estação Fábrica é a que apresentou os menores valores de velocidade do vento; tal comportamento era esperado pois esta estação possui a menor altitude dentre todas estudadas. Outubro foi o mês que ventou mais na região. Com relação aos valores dos períodos úmido e seco (Figuras 17a e 17b, respectivamente), os valores da velocidade do vento foram menores na estação de menor altitude (Fábrica) e os maiores valores ocorreram na região central, onde se localiza as estações de maiores altitudes (Alfie e Cocais), sendo que, no período seco apenas a estação Cocais apresentou a maior variação. Este comportamento deve-se ao fato de que no período úmido ocorre a entrada de frentes frias vindas do sul e quando associadas à altitude da estação aumentam a variação da velocidade do vento.

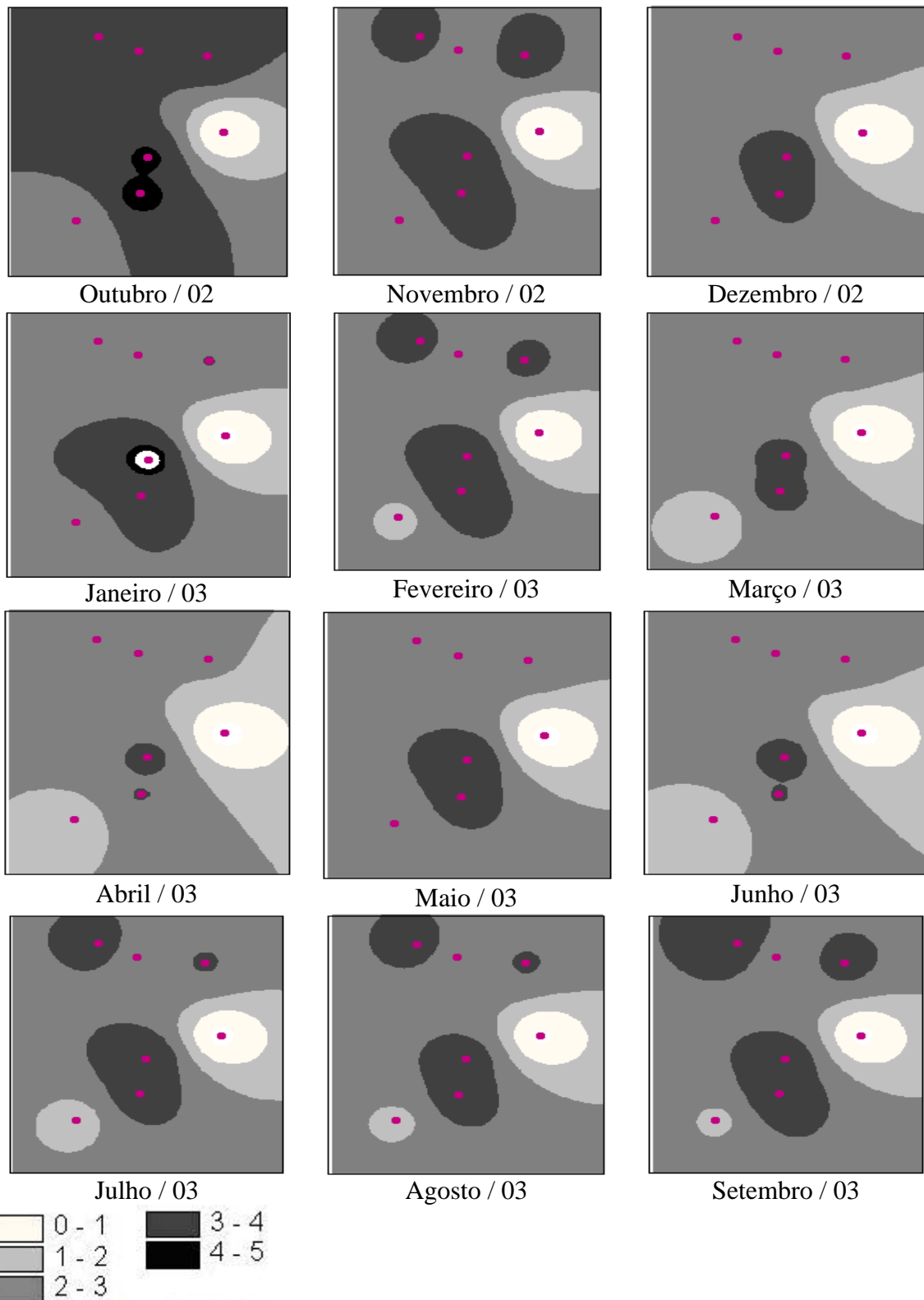


Figura 16 – Espacialização da velocidade do vento médias mensais (ms^{-1}) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas.

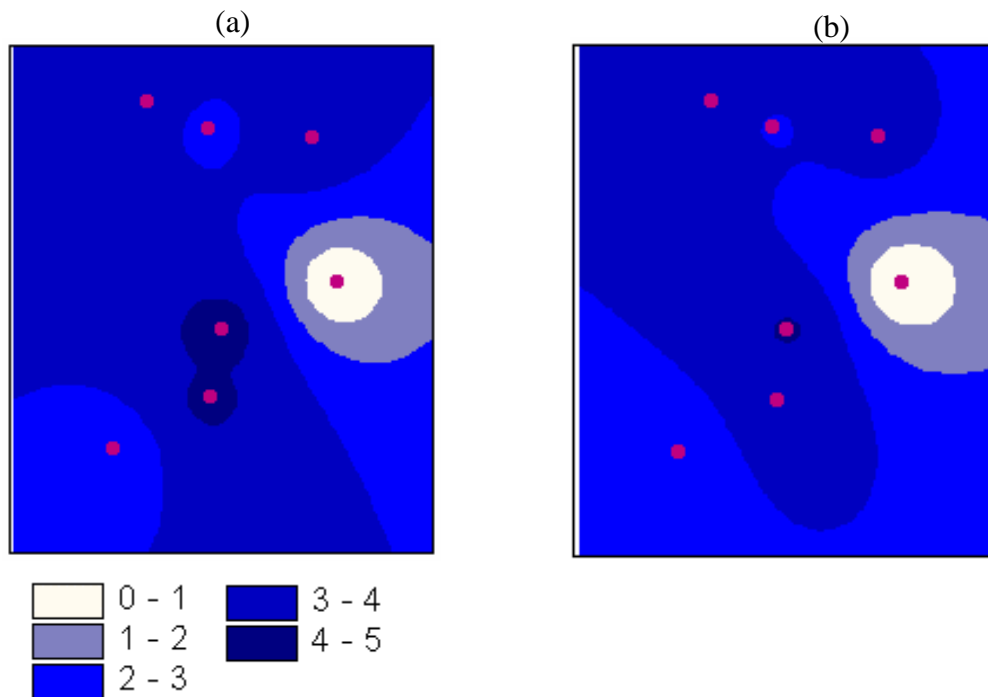


Figura 17 – Espacialização da velocidade do vento semestral (ms^{-1}) para os períodos: (a) úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e seco de (abril a setembro de 2003).

A espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial no período de outubro de 2002 a setembro de 2003 apresentadas na Figura 18, mostrou uma pequena variação regional na precipitação mensal nos meses de dezembro e janeiro, época das chuvas. Nos períodos iniciais e finais do período chuvoso a variação espacial desta variável foi apreciável. Para o mês de fevereiro teve um comportamento atípico quando comparado com janeiro e março, podendo estar associado a ocorrência de veranico na região. O total da precipitação do período úmido (outubro de 2002 a março de 2003), figura 19a, apresenta significativa variação espacial indicando uma diminuição destes valores com a latitude, sendo as maiores e menores volumes de água da chuva na região sul e norte, respectivamente. No período seco (abril a setembro de 2003), a espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial apresentou pequena variação espacial conforme esperado, figura 19b.

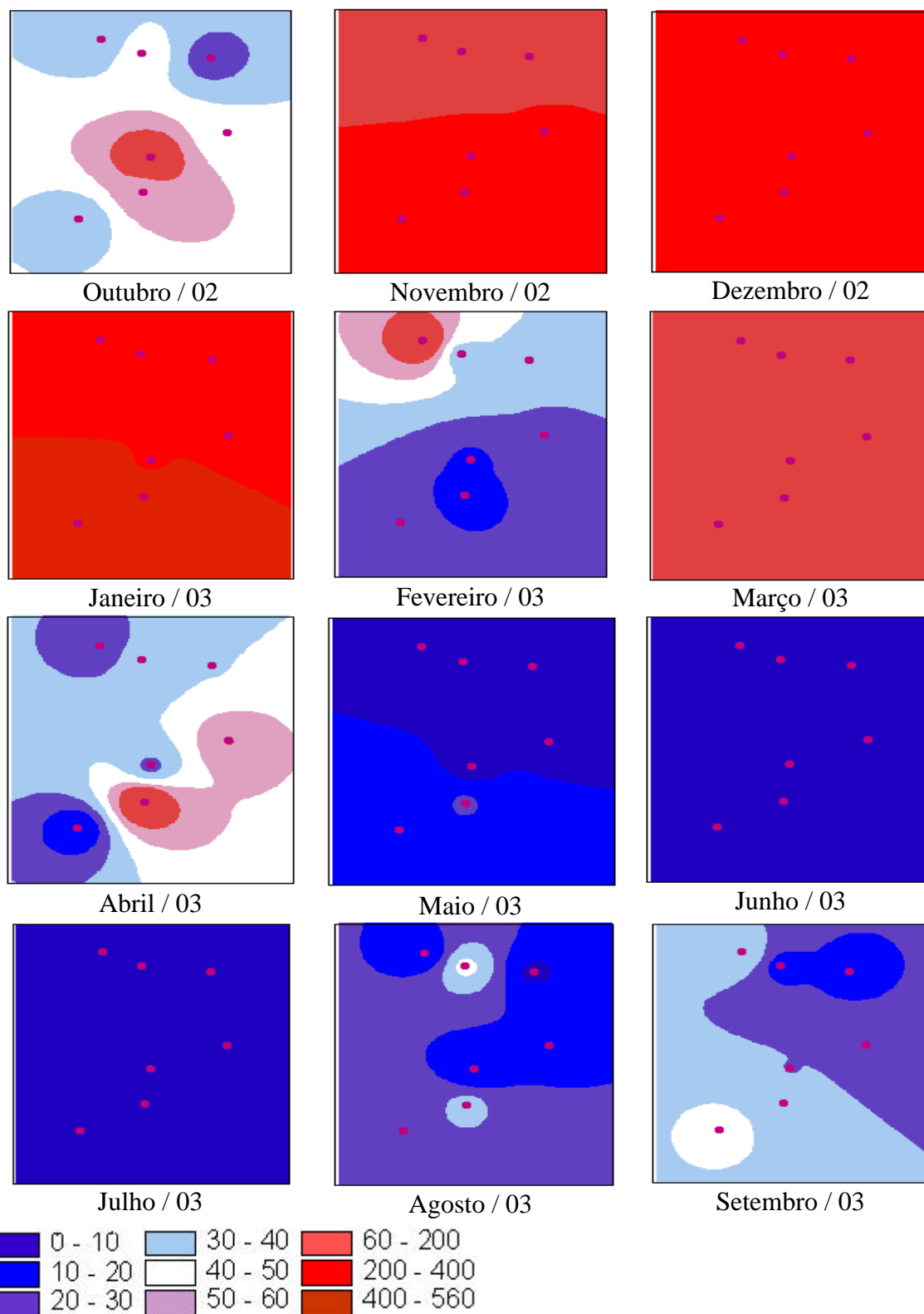


Figura 18 – Espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial (mm) no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. Os pontos representam a localização das estações utilizadas.

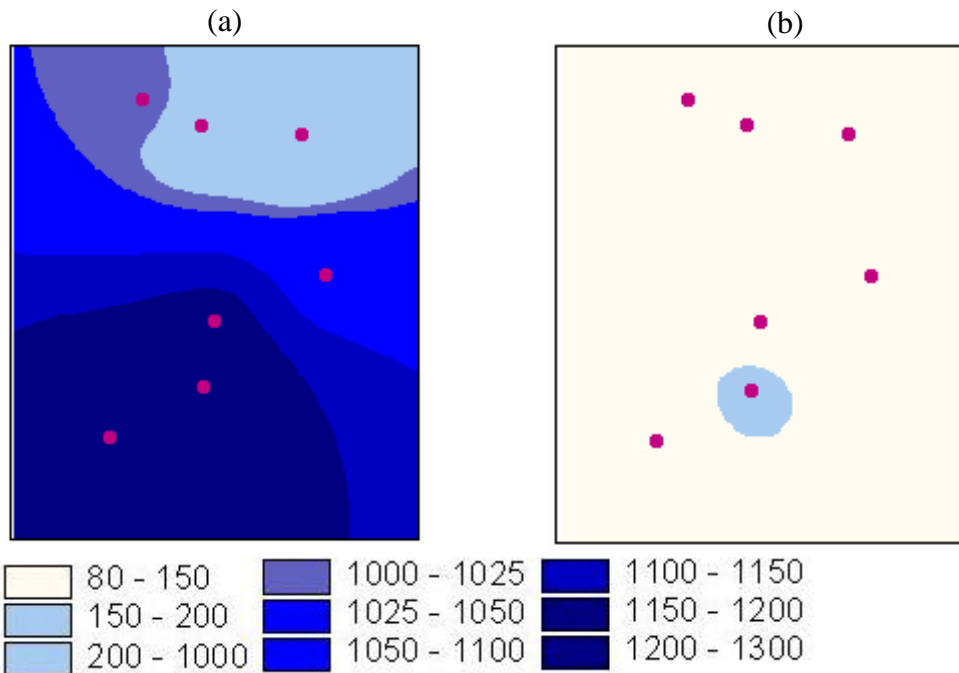


Figura 19 – Espacialização dos totais mensais da precipitação pluvial semestral (mm) nos períodos: (a) úmido (outubro de 2002 a março de 2003) e (b) seco (abril a setembro de 2003). Os pontos representam a localização das estações utilizadas.

4.3 Análise de erro relativo percentual na validação cruzada

A precisão dos sensores das estações usadas foi de 2% para o pluviômetro, 3% para o higrômetro na faixa de 90 a 100% de umidade, $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ para o termômetro a 30°C e 2% para o anemômetro (CAMPBEL, 2004; CAMPBEL, 1996a; CAMPBEL, 1996b).

Em termos percentuais o erro na temperatura corresponde a 0,8% para o valor de 30°C , para a temperatura potencial o erro corresponde a $\pm 0,26^{\circ}\text{C}$. O erro de 3% na umidade relativa corresponde a 3,1% em termos de umidade específica. Tendo em vista a magnitude destes erros, os resultados a serem discutidos para a temperatura potencial e umidade específica ser válidos para a temperatura e umidade relativa do ar.

Para estimar a temperatura potencial, umidade específica, precipitação pluvial e velocidade do vento, na posição das estações Alfié, Cataquinho, Cocais, Coqueiros, Fábrica, Gaspar e Lagoa Grande, foram utilizados os valores destas variáveis medidas nas outras estações por meio da interpolação do inverso do quadrado da distância. O erro relativo percentual destas estimativas estão apresentados nos quadros 3 a 7 para o período de 04/02 a 03/2004, sendo que o quadro 3 apresenta valores médios semestrais (período seco e úmido e os quadros 4 a 7 valores mensais).

As temperaturas potenciais mensais nas estações variaram de 16 a 26°C no período de 10/02 a 09/03, (figura 12). O erro relativo percentual (ERP) mensal na temperatura potencial devido à validação cruzada variou de 0,02 a 40,8%, com 11,1% em média, sendo os maiores valores observados em sua maioria nos meses de maio, tanto em 2002 quanto em 2003 e janeiro de 2004, respectivamente. Os menores valores ocorreram nos meses de fevereiro tanto em 2003 quanto em 2004 e junho de 2002 quanto em 2003, indicando que as demais estações podem estimar os valores de temperatura potencial com um erro médio de 11,1%. Os erros instrumentais na medição da temperatura do ar são de 1,6 e 1,1% nas temperaturas potencial mínima e máxima mensais, respectivamente. Em termos semestrais, período seco e úmido, estes mesmos erros foram semelhantes do que a média mensal, quadro 3. Uma vez que o erro nos dois períodos de estudo foram de valores bastante próximos e reduzidos, verificando boa estimativa desta variável acompanhando adequadamente as variações sazonais. O bom desempenho da espacialização desta variável está também relacionada a incorporações da correção da altitude por ponto de grade (virtual) incorporado no sistema.

As umidades específicas mensais nas estações variaram de 8 a 18 gkg^{-1} no período de 10/02 a 10/03 (Figura 14). O ERP mensal na umidade específica devido a validação

cruzada variou de 0,01 a 45,8%, com 6,6% em média. Os maiores valores foram observados nos meses de maio de 2003 e janeiro de 2004, respectivamente e os menores valores ocorreram nos meses de março de 2003 e junho de 2002 quanto em 2003. Estes valores indicam que as demais estações podem estimar os valores de umidade específica medidos com um erro médio de 6,6%, ou seja, um erro de 0,5 e 1,2 gkg⁻¹ para as umidades específicas mínima e máxima no período, respectivamente. Em termos semestrais, esses erros, no período seco, foram ligeiramente menor que a média mensal, quadro 3. Este erro tendeu a ser dependente do período considerado. A semelhança da temperatura, e sendo esta altamente dependente desta variável, a espacialização da umidade específica, de maneira geral, foi bem estimada. Verifica-se entretanto uma melhor estimativa da variação espacial da umidade específica para o período seco.

As velocidades do vento mensais nas estações variaram de 0 a 5 ms⁻¹ no período de 10/02 a 10/03 (Figura 16). O ERP mensal na velocidade do vento devido a validação cruzada variaram de 0,08 a 9402,2%, com 311% em média. Os maiores ocorreram nos meses de janeiro de 2003 quanto em 2004 e fevereiro de 2003 quanto em 2004. Enquanto que, os menores valores foram nos meses de março de 2003 quanto em 2004 e no mês de abril de 2002 quanto em 2003. Estes valores indicam que as demais estações podem estimar os valores de velocidade do vento medidos com um erro médio de 311%, ou seja, um erro de 0 e 15,6ms⁻¹ para as velocidades do vento mínima e máxima no período, respectivamente. Em termos semestrais este erro no período úmido mostrou-se abaixo da média mensal quadro 3, com tendência de ser independente do período considerado. Tais erros se devem a grande variabilidade da velocidade do vento e também ao fato que não houve correção desta variável em função da altitude. As estações meteorológicas estão situadas em altitude que variam de 233 m a 1273 m, com relevos desde plano a montanhoso, assim estes fatores combinados afetam grandemente a velocidade do vento e sua distribuição espacial. O método do inverso do quadrado da distância foi capaz de quantificar tal variabilidade espacial. A magnitude destes erros inviabiliza o uso da interpolação para a espacialização da velocidade do vento no local e período estudado.

Os totais mensais da precipitação pluvial nas estações variaram de 0 a 560 mm no período de 10/02 a 10/03 (Figura 18). Ao retirar esta estação, o ERP mensal na precipitação devido a validação cruzada variou de 0 a 1043,8%, com 66,6% em média. Os maiores valores foram observados nos meses de abril de 2003 quanto em 2003 e agosto de 2002 quanto em 2003, respectivamente. Os menores valores ocorreram nos meses de junho de 2003 e fevereiro de 2004. Estes valores indicam que as demais estações podem estimar

os valores de precipitação pluvial medidos com um erro médio de 66,6%, ou seja, um erro de 0 e 372,4 mm para as precipitações mínima e máxima do período, respectivamente. O erro instrumental na medição da precipitação pluvial corresponde 0 a 0,4% nas precipitações pluviais mínima e máxima, respectivamente no período estudado. Em termos semestrais estes erros foram tanto menores quanto maiores que a média mensal no período seco e úmido, respectivamente (Quadro 3). Este erro tendeu a ser dependente da estação seca ou úmida no período considerado. Tais erros se devem a grande variabilidade da precipitação pluvial e também ao fato que não houve correção desta variável em função da altitude e entradas de massas de ar. As estações meteorológicas estão situadas em altitude que variam de 233 m a 1273 m, com relevos desde plano a montanhoso, assim estes fatores combinados afetam grandemente a precipitação pluvial e sua distribuição espacial. O método do inverso do quadrado da distância foi capaz de quantificar tal variabilidade espacial. A magnitude destes erros inviabiliza o uso da interpolação para a espacialização da precipitação pluvial no local e período estudado.

Quadro 3 – Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações em estudo, nos períodos secos (04-09/02 e 04-09/03) e úmidos (10/02-03/03 e 10/03-03/04), para a temperatura potencial (θ), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv).

Estação	Variável	04-09/02	10/02-03/03	04-09/03	10/03-03/04
Alfie	θ (°C)	18,18	10,96	12,78	12,46
	q (gkg ⁻¹)	4,09	3,10	4,20	1,52
	PP (mm)	26,18	49,19	31,95	36,03
	vv (ms ⁻¹)	27,06	24,96	24,66	28,73
Cataquinho	θ (°C)	15,29	12,61	11,36	25,73
	q (gkg ⁻¹)	4,21	2,30	2,15	13,30
	PP (mm)	64,48	42,83	112,70	122,01
	vv (ms ⁻¹)	34,53	27,30	37,92	28,79
Cocais	θ (°C)	18,32	13,84	15,90	19,24
	q (gkg ⁻¹)	8,32	8,36	9,00	12,90
	PP (mm)	21,41	33,21	49,54	27,73
	vv (ms ⁻¹)	42,99	38,12	41,11	39,90
Coqueiros	θ (°C)	7,24	4,70	7,45	8,60
	q (gkg ⁻¹)	2,23	1,55	2,46	2,57
	PP (mm)	73,07	43,44	100,95	25,52
	vv (ms ⁻¹)	14,83	13,92	14,38	13,38
Fábrica	θ (°C)	5,40	10,38	9,72	12,97
	q (gkg ⁻¹)	16,61	17,70	18,08	23,34
	PP (mm)	41,90	12,09	40,07	75,28
	vv (ms ⁻¹)	3.968,45	1.180,60	1.495,68	1.308,80
Gaspar	θ (°C)	8,34	4,88	8,57	6,10
	q (gkg ⁻¹)	4,95	2,06	2,25	10,84
	PP (mm)	270,05	28,59	95,51	38,69
	vv (ms ⁻¹)	49,98	53,12	50,71	48,94
Lagoa Grande	θ (°C)	9,20	5,03	7,81	6,43
	q (gkg ⁻¹)	1,45	1,62	1,29	2,02
	PP (mm)	249,38	34,10	79,33	37,09
	vv (ms ⁻¹)	7,22	36,93	10,74	45,39

Quadro 4 – Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Alfie e Cataquinho, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (θ), a umidade específica (q), a precipitação pluvial (PP) e a velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período estudado.

Mês	Alfie				Cataquinho			
	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)
04/02	10,22	4,19	48,83	10,54	11,74	2,89	114,54	26,34
05/02	28,18	2,72	20,15	23,01	23,35	0,63	13,38	44,31
06/02	16,58	3,29	74,17	19,3	8,95	4,81	80,86	28,33
07/02	11,23	4,79	0,43	34,52	12,83	5,85	70,44	56,45
08/02	15,14	3,68	0,59	36,8	14,48	6,19	77,72	26,73
09/02	27,74	5,88	12,92	38,21	20,37	4,89	29,95	25,01
10/02	17,02	2,76	22,49	22,08	17,2	2,76	41,74	31,18
11/02	6,4	2,72	26,29	39,43	2,57	1,58	42,69	50,43
12/02	11,12	2,61	15,28	15,49	19,57	3,34	27,97	18,22
01/03	11,7	3,17	39,94	41,18	7,88	3,1	94,3	13,35
02/03	2,9	3,58	161,76	21,78	10,37	1,75	27,1	23,9
03/03	16,6	3,74	29,38	9,76	18,08	1,24	23,2	26,7
04/03	11,72	4,44	53,66	24,13	13,1	0,88	61,2	38,29
05/03	29,2	7,4	62,69	29,75	25,32	3,95	153,04	29,03
06/03	3,33	2,28	0	17,09	2,11	0,44	0	38,82
07/03	2,03	3,84	5,74	11,15	2,59	3,88	60,72	46,38
08/03	18,47	4,35	28,79	27,16	13,45	1,73	222,85	36,12
09/03	11,9	2,87	40,84	38,66	11,57	2	178,4	38,85
10/03	2,44	3,33	103,03	37,3	2,66	0,56	9,24	33,8
11/03	17,58	2,39	24,46	34,87	17,65	4,68	444,71	33,86
12/03	11,58	1,82	17,32	24,4	16,16	9,89	20,51	27,87
01/04	19,08	0,95	20,37	41,54	40,83	20,09	165,25	22,53
02/04	8,71	0,15	21,17	24,35	38,85	27,03	60,92	26,96
03/04	15,35	0,47	29,82	9,93	38,26	17,55	31,45	27,73
mínimo	2,03	0,15	0	9,76	2,11	0,44	0	13,35
m	13,59	3,23	35,84	26,35	16,25	5,49	85,51	32,13
máximo	29,2	7,4	161,76	41,54	40,83	27,03	444,71	56,45
d	7,67	1,6	36,29	10,71	10,95	6,73	96,32	10,14

Quadro 5 – Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Cocais e Coqueiros, no período de 04/02 a 03/2004, para as temperatura potencial (θ), umidade específica (q), precipitação pluvial (pp) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.

Mês	Cocais				Coqueiros			
	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)
04/02	17,08	9,22	31,15	31,21	4,09	2,74	90,47	1,23
05/02	32,99	7,82	16,29	44,15	16,41	0,02	39,46	8,67
06/02	21,06	7,90	46,17	40,00	6,90	1,03	138,19	10,84
07/02	12,90	8,28	15,04	47,59	2,29	4,15	52,24	23,51
08/02	11,07	8,14	7,41	45,80	4,76	0,46	115,95	15,79
09/02	14,80	8,55	12,40	49,19	9,00	4,95	2,14	28,95
10/02	11,58	7,44	45,53	30,40	5,80	0,31	64,60	6,76
11/02	11,88	7,80	14,27	55,04	3,78	1,79	23,47	37,52
12/02	10,60	8,04	17,07	31,63	5,55	0,76	4,84	12,82
01/03	15,76	8,93	3,07	59,13	2,32	2,46	73,23	10,21
02/03	9,93	9,50	71,46	29,87	0,08	1,70	70,50	3,05
03/03	23,32	8,45	47,85	22,65	10,67	2,25	23,99	13,15
04/03	19,09	9,41	74,35	43,03	5,47	3,50	126,03	13,85
05/03	34,08	10,65	54,95	50,09	17,01	4,45	41,19	13,94
06/03	2,18	7,65	0,00	37,28	7,34	0,99	100,00	4,70
07/03	11,04	8,28	12,70	38,94	11,57	1,35	225,42	19,89
08/03	15,21	8,93	145,78	35,25	2,77	3,90	97,24	8,54
09/03	13,80	9,10	9,46	42,05	0,53	0,60	15,84	25,38
10/03	14,83	9,71	95,21	39,88	9,50	0,38	59,29	13,51
11/03	14,60	9,06	43,71	37,81	11,06	2,45	17,53	13,01
12/03	20,56	33,75	5,76	37,99	11,01	0,01	9,87	3,80
01/04	27,90	10,17	8,93	47,03	10,22	5,07	39,20	31,46
02/04	15,82	7,80	5,50	39,35	1,60	4,17	3,48	1,09
03/04	21,72	6,90	7,26	37,32	8,18	3,32	23,74	17,40
mínimo	2,18	6,90	0,00	22,65	0,08	0,01	2,14	1,09
m	16,83	9,64	32,97	40,53	7,00	2,20	60,74	14,13
máximo	34,08	33,75	145,78	59,13	17,01	5,07	225,42	37,52
d	7,36	5,21	35,45	8,43	4,61	1,65	53,67	9,62

Quadro 6 – Erro relativo percentual obtido com a validação cruzada das estações Fábrica e Gaspar, no período de 04/02 a 03/2004, para a temperatura potencial (θ), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.

Mês	Fábrica				Gaspar			
	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP (mm)	vv (ms ⁻¹)
04/02	7,07	17,59	48,03	9402,17	2,03	3,45	50,41	106,49
05/02	6,99	17,14	44,41	3224,7	19,38	1,1	16,35	36,71
06/02	0,02	15,71	17,69	7010,82	10,93	5,44	852,2	57,83
07/02	9,59	16,07	135,43	2206,39	0,63	6,76	245,82	45,73
08/02	2,52	17,49	0,07	1093,31	2,81	7,19	413,93	53,02
09/02	6,19	15,68	5,76	873,33	14,27	5,76	41,58	0,08
10/02	5,27	17,71	25,14	961,47	2,46	3,4	17,51	74,03
11/02	16,61	16,56	1,97	847,05	4,00	0,93	28,41	24,06
12/02	7,76	17,37	11,96	1267,53	0,92	2,64	18,34	47,64
01/03	10,89	17,78	12,54	1269,38	4,96	2,24	48,42	17,4
02/03	15,09	19,07	4,84	1238,12	10,38	2,54	32,49	56,91
03/03	6,67	17,74	16,11	1500,06	6,55	0,62	26,36	98,67
04/03	7,49	19,13	38,31	1848,74	4,01	0,01	252,3	54,78
05/03	9,16	20,89	27,33	1660,74	20,94	4,84	56,46	20,04
06/03	7,1	16,26	94,24	1738,85	10,13	0,05	0	81,71
07/03	15,45	17,54	8,62	1538,1	7,67	4,64	137,32	57,4
08/03	8,73	16,98	21,77	1149,47	7,43	2,56	64,01	48,43
09/03	10,37	17,67	50,18	1038,2	1,25	1,39	62,98	41,88
10/03	21,86	19,19	32,99	887,02	12,88	0,05	2,46	48,97
11/03	11,77	16,91	295,75	929,36	4,6	3,97	81,32	33,89
12/03	13,9	45,75	94,44	1134,57	1,86	14,48	25,23	36,79
01/04	6,67	19,84	17,31	1289	4,63	14,69	63,34	25,4
02/04	14,93	19,35	4,18	1483,85	10,16	18,97	35,56	83,2
03/04	8,72	19,01	7,02	2129,02	2,45	12,9	24,22	65,37
mínimo	0,02	15,68	0,07	847,05	0,63	0,01	0	0,08
m	9,62	18,93	42,34	1988,39	6,97	5,03	108,21	50,68
máximo	21,86	45,75	295,75	9402,17	20,94	18,97	852,2	106,49
d	4,83	5,87	63,65	2019,8	5,66	5,19	185,8	25,62

Quadro 7 – Erro relativo percentual obtido com o validação cruzada das estações Lagoa Grande, no período de 04/02 a 03/2004, para as temperatura potencial (θ), umidade específica (q), precipitação pluvial (PP) e velocidade do vento (vv), e os valores mínimos, máximos, médio (μ) e desvio-padrão (δ) do período.

Mês	Lagoa Grande			
	θ (°C)	q (gkg ⁻¹)	PP(mm)	vv (ms ⁻¹)
04/02	5,47	0,78	292,54	17,76
05/02	18,67	2,65	114,79	0,16
06/02	8,78	0,96	1043,76	0,95
07/02	3,88	0,92	28,50	3,41
08/02	8,05	0,95	14,81	12,22
09/02	10,34	2,41	1,90	8,80
10/02	7,93	2,63	4,96	27,39
11/02	2,66	1,64	54,23	22,15
12/02	6,74	2,32	13,26	54,56
01/03	2,49	0,97	74,43	8,26
02/03	0,27	0,94	42,22	65,85
03/03	10,12	1,23	15,50	43,36
04/03	6,06	0,06	52,39	0,76
05/03	18,46	1,63	89,45	7,06
06/03	6,53	2,79	100,00	18,15
07/03	10,15	1,05	77,42	2,16
08/03	3,89	0,66	37,24	30,14
09/03	1,78	1,55	119,47	6,19
10/03	8,65	2,42	53,56	17,36
11/03	6,01	0,29	3,55	25,23
12/03	1,57	7,62	2,53	33,27
01/04	11,83	1,01	95,51	23,32
02/04	1,52	0,51	21,63	96,59
03/04	9,00	0,29	45,75	76,55
mínimo	0,27	0,06	1,90	0,16
m	7,12	1,60	99,98	25,07
máximo	18,67	7,62	1043,76	96,59
d	4,79	1,52	210,28	25,61

4.4 Análise das diferenças de matrizes

As diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo uma dela para as diferentes variáveis meteorológicas são apresentada no apêndice 6. Para auxiliar na análise dessas informações de forma sucinta preferiu-se apresentar no corpo do texto as médias e desvio padrão dessas que são apresentadas nas figuras 20 a 26.

Diferenças muito próxima ao erro instrumental (1,53%) verificadas para a variável temperatura potencial (Figuras 20 a 26a) indicam que na espacialização pode-se retirar qualquer das estações que não seria alterado o resultado, portanto a topografia é suficiente para, por si só, provar a variação espacial dessa variável. Em outras palavras, a correção feita apenas pelo gradiente adiabático seco dT/dZ foi suficiente para representar as variações de temperatura para a escala espacial e temporal utilizada no estudo, tendo o método IDW apresentando erros médios máximos anuais menores que os instrumentais quanto para o período seco como para o período úmido.

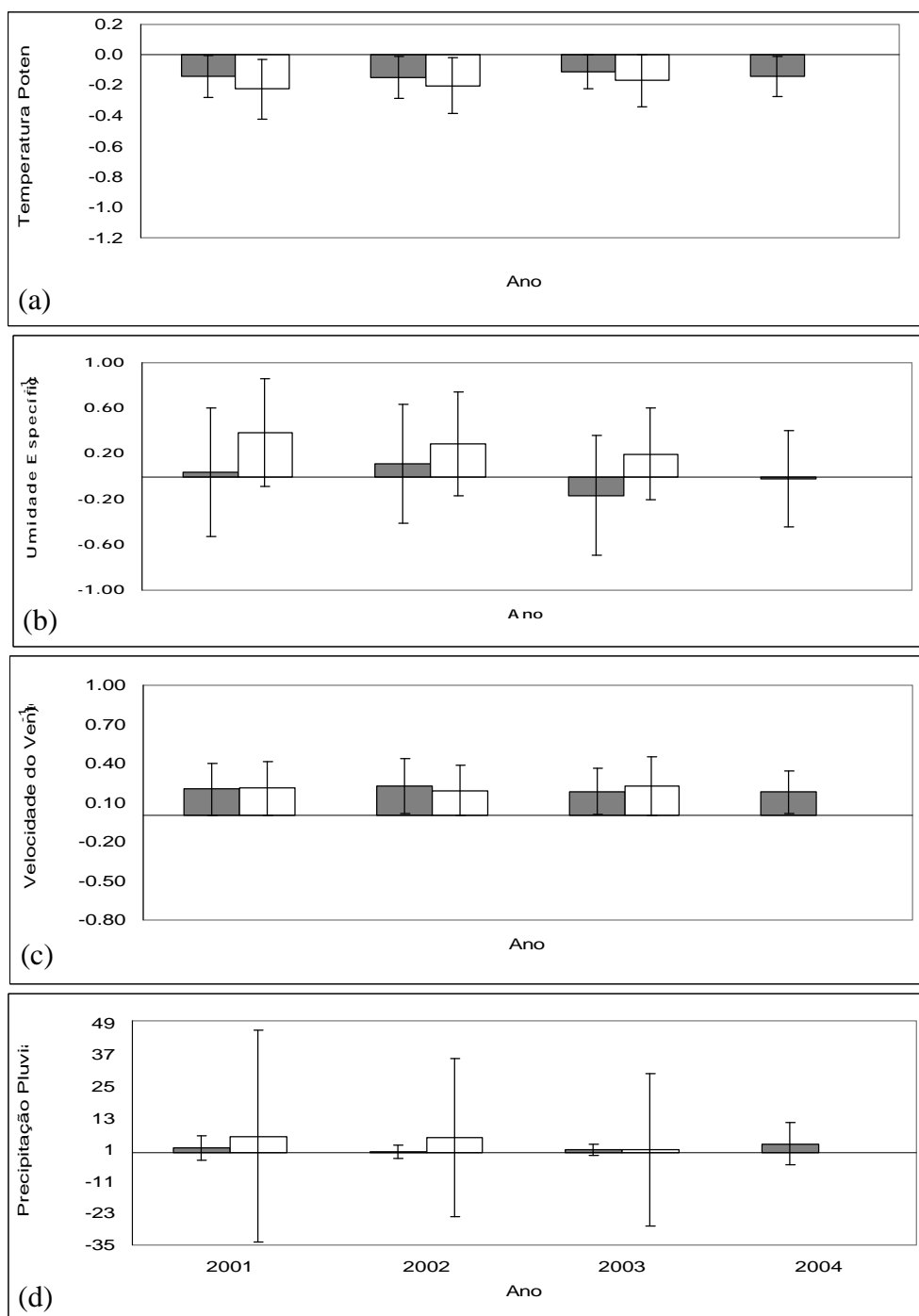
As diferenças dos valores de umidade específicas (Figuras 20 a 26b) oscilam entre valores negativos e positivos, apresentando uma variação aleatória. Os erros nas diferenças encontradas são menores que o erro instrumental. A transformação dos valores de umidade relativa foi suficiente para corrigir os efeitos da altitude nesta variável e, combinado com o método do inverso do quadrado da distância, apresentou desempenho excelente na espacialização de umidade com erros máximos (2,5%) menor do que o instrumental (3%).

As diferenças médias máximas da velocidade do vento de 0,05 a $0,38 \text{ ms}^{-1}$, (Figuras 20 a 20c). O método IDW foi eficiente para espacialização da velocidade do vento quando avaliado pelas diferenças de matrizes de espacialização. No entanto, quando analisado pela validação cruzada utilizando o erro relativo percentual, o resultado da análise indica o contrário, pois o mesmo apresenta valores grandes para este erro. Vale ressaltar que o erro relativo é sensível a pequenos valores nos denominadores (equação 4), o que é observado para a velocidade do vento, principalmente para os dados da estação Fábrica.

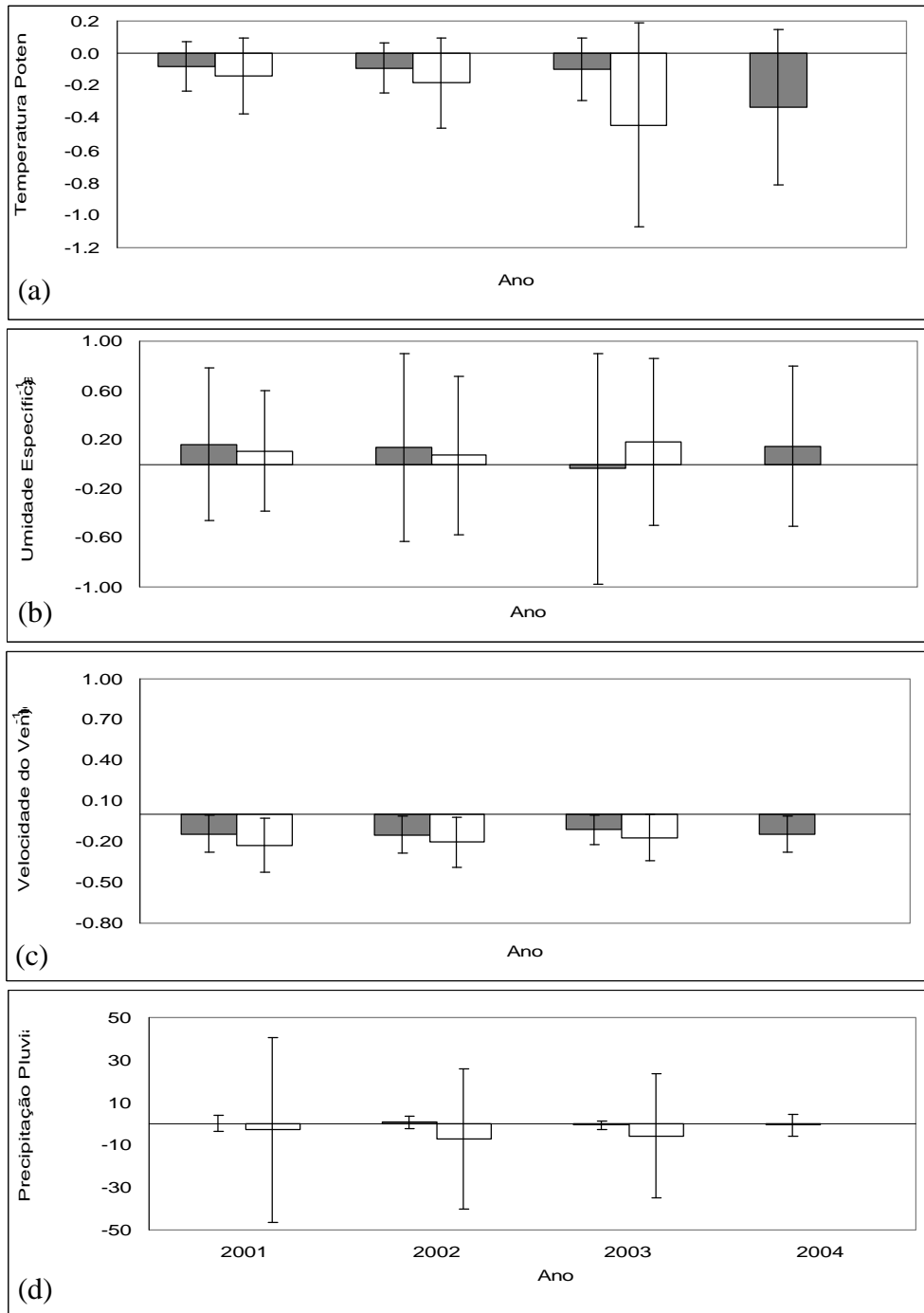
As figuras 5 a 11c verificaram-se que, os dados da velocidade do vento da estação Fábrica são pequenos, de ordem de $0,25 \text{ ms}^{-1}$, com pequena amplitude. As demais estações por outro lado, apresentam maiores valores para a velocidade do vento, da ordem de $4,2 \text{ ms}^{-1}$. Desconsiderando os dados da estação Fábrica o erro relativo percentual médio mensal da velocidade do vento foi menor que 51% enquanto que o erro relativo percentual

mensal da estação Fábrica foi de 1984% devido a valores pequenos da velocidade do vento. Sendo assim, pode-se considerar a análise utilizando as diferenças entre as matrizes, pois a mesma apresenta o erro espacializado num número de mais postos e não é sensível a pequenos valores da variável em questão.

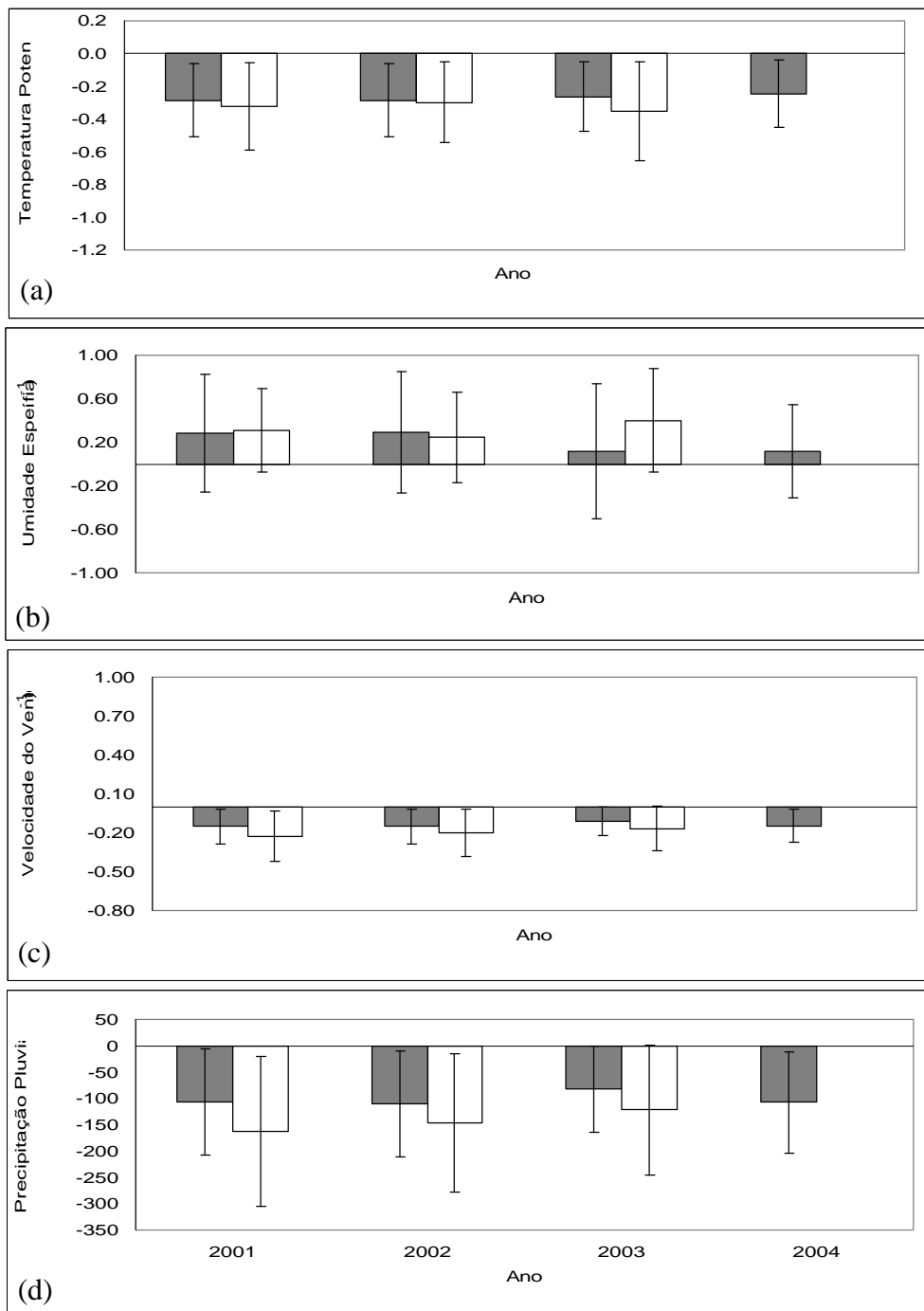
As diferenças médias dos totais mensais de precipitação pluvial variaram de 0,71 a 276,04 mm, (Figuras 20 a 26d). As estações que apresentaram menores valores destas diferenças foram Alfié, Cataquinho, Gaspar e Lagoa Grande com até 7,03mm. Enquanto Cocais, Coqueiros e Fábrica apresentaram diferenças superiores a 110mm. Em geral, o método do IDW não foi suficiente para a espacialização da precipitação pluvial.



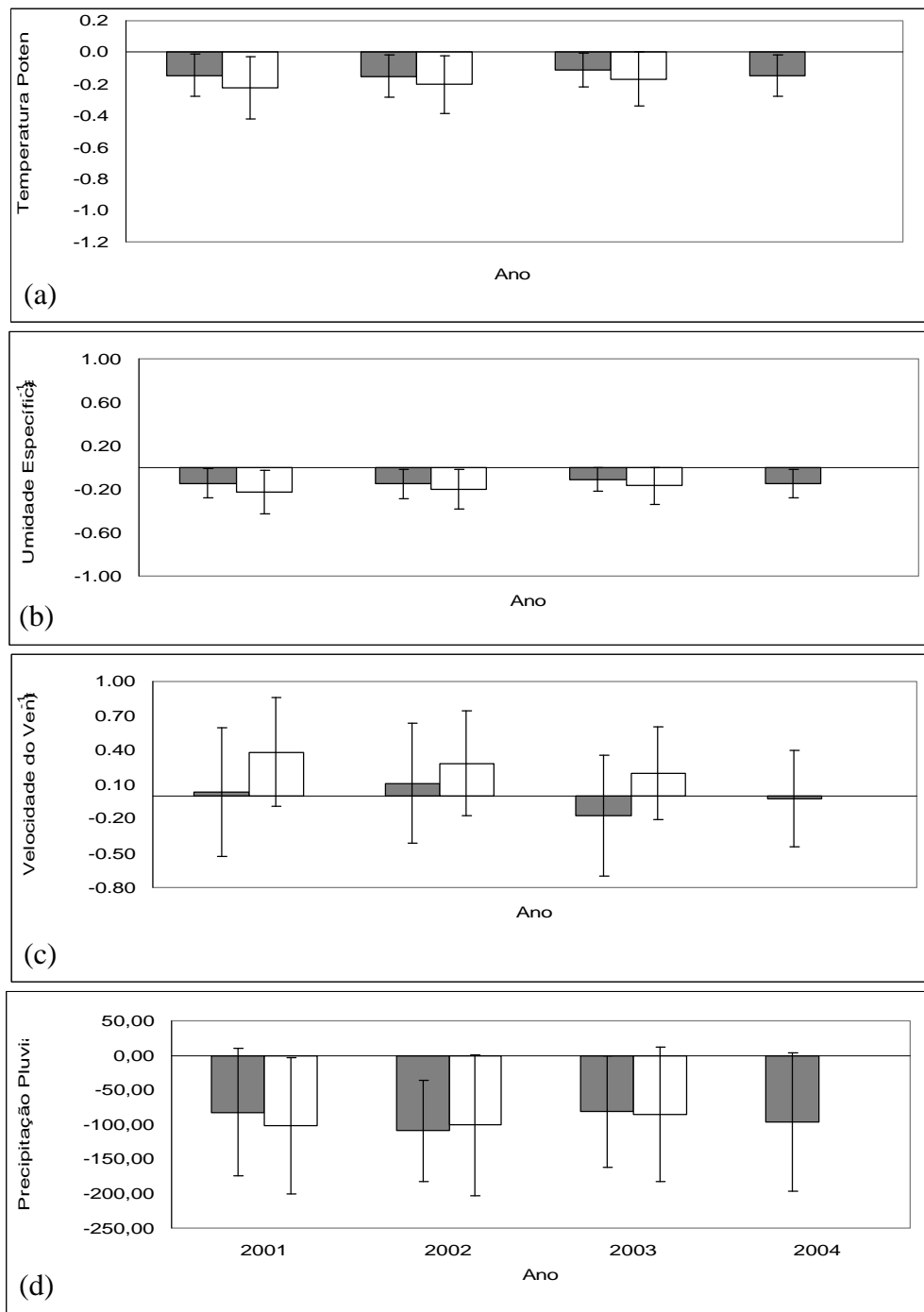
Figuras 20 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfíe no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



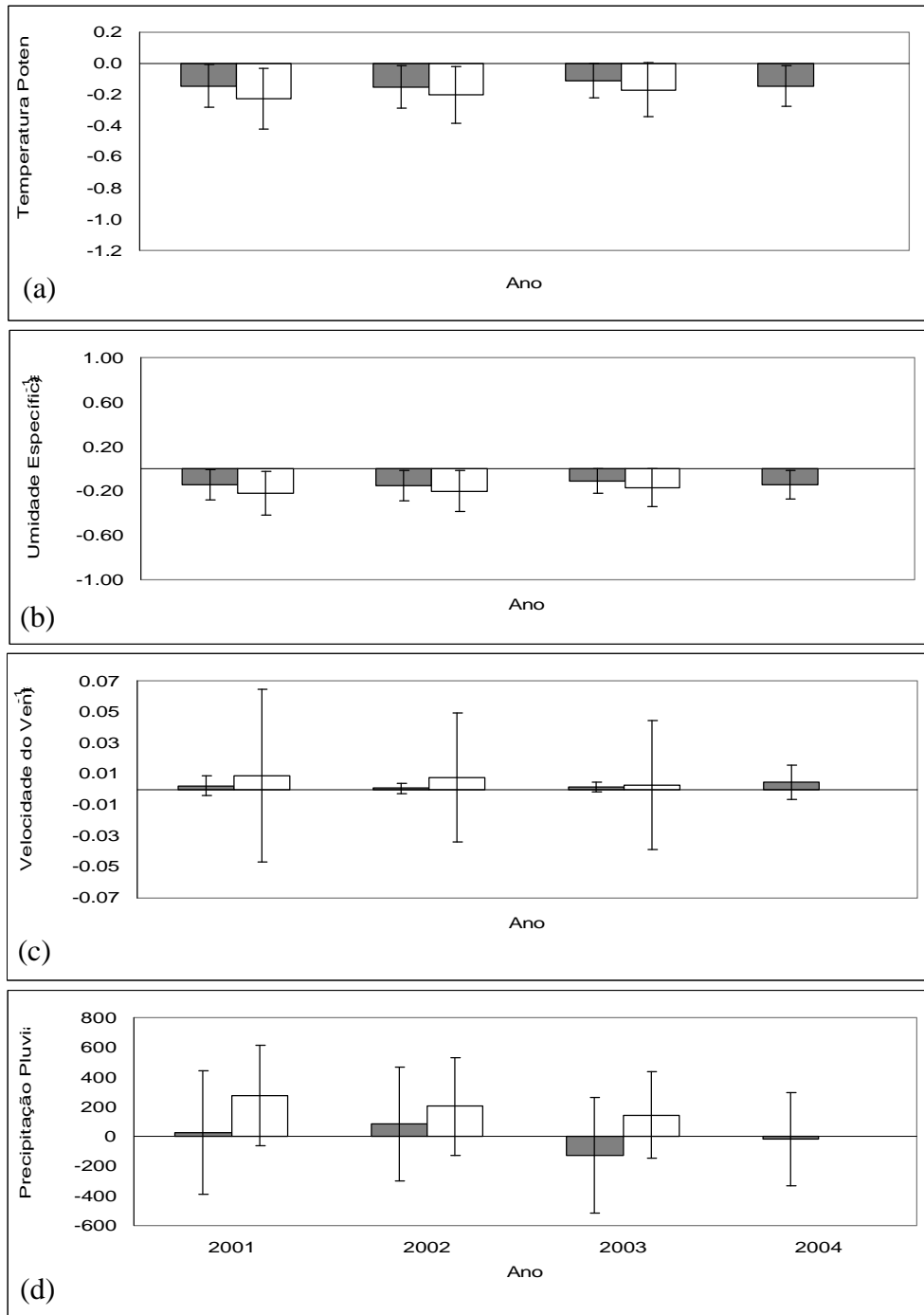
Figuras 21 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



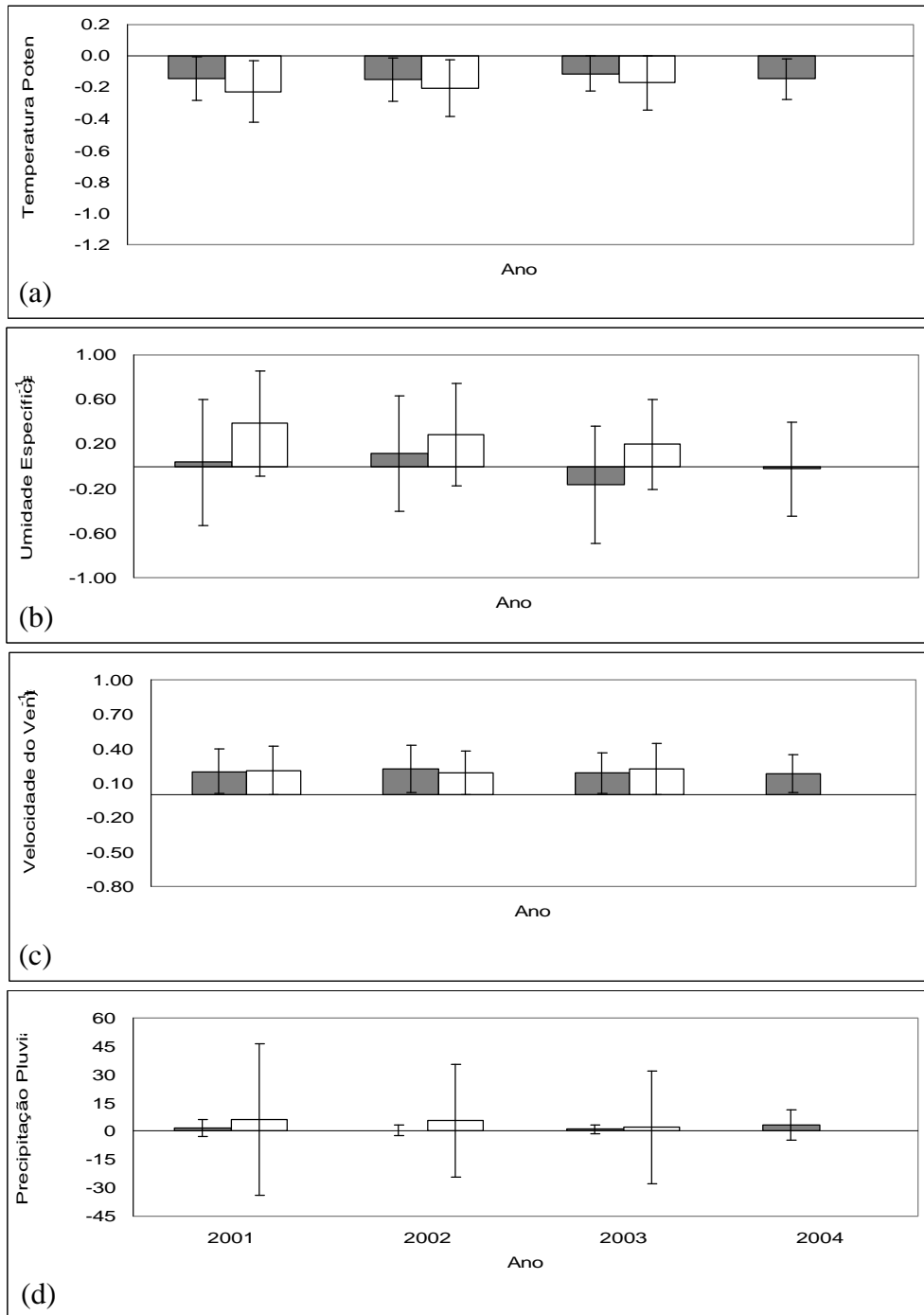
Figuras 22 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



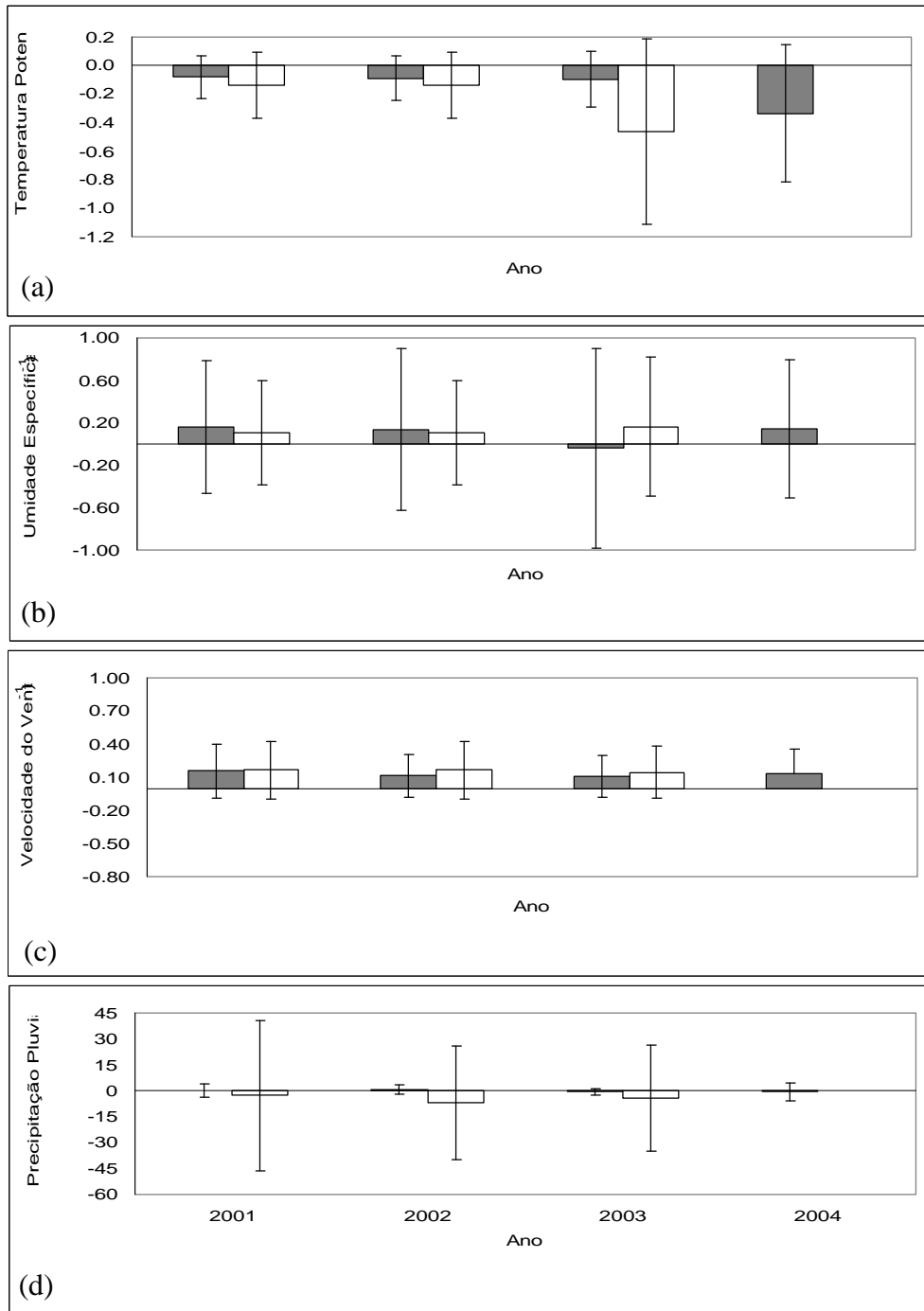
Figuras 23 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



Figuras 24 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



Figuras 25 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).



Figuras 26 – Médias e desvio padrão das diferenças entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande no período úmido (novembro a fevereiro de 2001 a 2004, representado na barra branca) e seco (maio a agosto de 2001 a 2004, representado na barra cinza) das variáveis meteorológicas de (a) temperatura potencial ($^{\circ}\text{C}$), (b) umidade específica do ar (gkg^{-1}), (c) velocidade do vento (ms^{-1}) e (d) precipitação pluvial (mm).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Comprovou-se a eficiência do método de espacialização das variáveis temperatura e umidade relativa desenvolvido em relevo ondulado, envolvendo as etapas 1) de criação de uma grade de dados regulares a partir de dados pontuais irregulares, que amplia a disponibilidade de informações meteorológicas; 2) de correção do gradiente adiabático seca nos pontos de grade com base o modelo digital de elevação e 3) de interpolação destas informações utilizando o método de IDW.

A espacialização da temperatura e umidade relativa foi independente da influência na sazonalidade, efeitos latitude e continentalidade nas escalas espaciais e temporais consideradas.

A espacialização da velocidade do vento foi satisfatória nas escalas espacial e temporal, exceto para a estação Fábrica.

A espacialização da precipitação pluvial não foi satisfatória, pois o mesmo foi ineficiente para representar as variações espaciais dos mecanismos de formação dos eventos de chuva.

Para uma regionalização mais detalhada, seria necessário um maior número de estações meteorológicas, uma série de dados mais densa e uma melhor alocação das estações meteorológicas na área estudada, bem como utilizar outros métodos de interpolação como krigagem ordinária, krigagem por indicação entre outros e comparar os resultados entre os métodos e determinar qual deles avalia melhor as amostras de dados.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

ASPIAZU, C. RIBEIRO, G. A.; VIANELLO, R. L. **Análise dos componentes principais aplicada na classificação climática no Estado de Minas Gerais. Teste metodológico.** Revista Arvore v. 14, n. 1, p. 1-15, 1990.

BOOTH, B. **Using ArcGis 3D Analyst.** New York Street, Redlands, ESRI Press, 220 p., 2001.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** News York: Oxford University Press, 333p, 1998.

CAMARA, G. **Anatomia de sistemas de informações geográficas, visão atual e perspectivas de evolução.** In: Sistemas de informações geográficas e suas aplicações na agricultura, p: 37-59. Brasília – DF, 1993.

CAMPBELL. **Instruction manual-CSI Model CS700-L rain gage.** Campbell Scientific. Inc. Rev 12/96, Utah, 1996, 3p.

CAMPBELL. **Instruction manual-03001 wind sentry.** Campbell Scientific. Inc. Rev 12/96, Utah, 1996, 6p.

CAMPBELL. **Instruction manual-HMP45C-Temperature and relative humidity probe.** Campbell Scientific. Inc. Rev 4/04, Utah, 2004, 14p.

CAMPOS, S P.; CARDOSO, LINCOLN G.; CATÂNEO, A. **Obtenção de Modelo Digital de Elevação utilizando o Surfer-5.0 com dados importados do SIG Idrisi-4.11.** Revista Energia na Agricultura. Vol 12, nº 3. p 26-32. 1997.

DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D. & HARRIS, D. **Highresolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: Interpolation of rainfall data.** J. Hydrol., 208:187-193, 1998.

GARBRECHT, J., STARKS, P. Note on the Use of USGS Level 17.5. **Minute DEM Coverages for Landscape Drainage Analyses.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61 (5): pp. 519-522, 1995.

GOODCHILD, M. **"The Technological Setting of GIS"**. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.; RHIND, D.W. (eds.) Geographical Information Systems: Principles and Applications. Longman, London, vol 1, pp.45-54., 1991.

ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JENSON, S.K., DOMINGUE, J.O. **Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographical Information System Analysis.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54 (11), p.p 1593-1600, 1988.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos, Rima, 2000. 531p.

LEITE, F. P.; **Controle de Plantas Infestantes em áreas da CENIBRA.** Comunicação Pessoal, 2001.

MARK, D.M. **Automatic Detection of Drainage Networks from Digital Elevation Models.** Cartographica, v.2192/3), pp.168-178, 1984.

MARTZ, L.W. & GARBRECHT, J. **Numerical Definition of Drainage Network and Subcatchment Areas from Digital Elevation Models.** Computers & Geoscience, Vol 18, Num 6, pp 747-761, 1992.

MOORE I. D., GRAYSON, R.B. AND LADSON A . R. **Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications.** Hydrological Processes 5:3-30, 1991.

MYERS, J. C. **Geostatistical error management. Qualifying uncertainty for enviromental sampling and mapping.** New York, Van Nostrand Reinhold, 1997. 571p.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 205p. (2003).

OSTMAN, A. **Accuracy estimation of digital elevation data banks.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 53 (4): 425 – 430, 1987.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS. P. C. **Agrometeorologia – fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

PETERSEN,G.W., NIELSEN,G.A., WILDING,L.P. **Geographic information systems and remote sensing in land resources analysis and management.** Suelo y Planta, v.1, p.531-43, 1991.

RAUPACH, M. R.; FINNIGAN, J.J. **The influence of topography on meteorological variables and surface-atmosphere interactions.** Journal of Hydrology, 190, p. 182-213. 1997.

STOCKHOLM, A. D. **Hydrological regionalization in Mall.** Braunschweig 1984, Vol. 11, 259-271.

TOPOGRAPHIC SCIENCE WORKING GROUP - **Report to the land process branch, earth science and aplication division.** NASA Headquarters, Lunar and Planetary Institute, Houston, TX, pp. 64, 1988.

VIANELLO, R.L. & A. R. ALVES. **Meteorologia Básica e Aplicações.** Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449 pp.

WEI, E.C. & MCGUINNESS, J.L. **Reciprocal distance squared method. A computer technique for estimating areal precipitation.** Agricultural Research Service. U.S. Department of Agriculture. Repport ARS-NC-8. , 1973. 30p.

WOLOCK, D. M., PRICE, C. V. **Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography based watershed model.** Water Resources Research, vol. 30 (11), pp. 3041-3052, 1994.

WOTLING, G., BOUVIER, CH., DANLOUX, J., FRITSCH, J.M. **Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment.** Journal of Hydrology 233 (2000) 86 - 101

ZHANG,W., MONTGOMERY, D.R. **Digital elevation model grid size, Landscape representation, and hydrologic simulations.** Water Resources Research, v. 30(4): 1019-1028, 1994.

APÊNDICE

Apêndice 1

Estações Meteorológicas

Os dados das estações meteorológicas que foram utilizados no sistema estão apresentados abaixo:

Nome da estação;
Código da estação;
Latitude em graus e décimos de graus;
Longitude em graus e décimos de graus;
Altitude em metros;
Tipo de estação: CENIBRA.

Apêndice 2

Dados das Estações Meteorológicas

Os dados climatológicos de cada estação são:

Data – data no formato dd/mm/aaaa;
Hora – hora no formato hh:mm;
P - pressão atmosférica (hPa);
T – temperatura do ar (°C);
UR– umidade relativa do ar (%);
vv– velocidade do vento (ms^{-1});
PP – precipitação pluvial (mm).

Apêndice 3

3.7 Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica foi corrigida em função da altitude para que se ajustasse a um dado nível de referência, (VIANELLO & ALVES, 1991). A equação 5 utilizada para calcular a pressão atmosférica é dada por:

$$P_z = P_{est} \left(1 - \frac{0.0065 Z_i}{288} \right)^{5.2568} \quad \text{Equação 4}$$

em que,

- P_z = pressão atmosférica corrigida (hPa);
- P_{est} = Pressão medida na estação (hPa);
- Z_i = Altitude da estação na célula i (m).

Apêndice 4

Temperatura Potencial

O conceito de temperatura potencial é de extrema utilidade em meteorologia, como por exemplo, quando se necessita comparar as temperaturas do ar a diferentes alturas, (VIANELLO & ALVES, 1991). Neste estudo foi utilizado a equação 5 para converter as temperaturas reais em potenciais.

$$q_o = T_z \left(\frac{P_o}{P_z} \right)^{\frac{R}{C_p}} \quad \text{Equação 5}$$

em que:

- T_Z = Temperatura absoluta na altitude Z (°C)
- P_Z = Pressão atmosférica na altitude Z (hPa)
- P_o = Pressão atmosférica na altitude de referência (hPa)
- q_o = Temperatura potencial na altitude referência (K)
- R = Constante específica do ar seco (287,05J.kg⁻¹.K⁻¹)
- C_p = Calor específico do ar seco a pressão constante (1005J.kg⁻¹.K⁻¹)

Apêndice 5

Umidade Específica do Ar

Visando a quantificação do vapor d'água contido na atmosfera, foi realizada a espacialização da umidade específica do ar. Através dos dados de umidade relativa e temperatura do ar, foi calculada a pressão de vapor utilizando as equações 7 e 8, (VIANELLO & ALVES, 1991). Em seguida foi utilizada a equação abaixo (6) para estimar a umidade específica do ar.

$$q = 0,622 \frac{e}{P - 0,378e} \quad \text{Equação 6}$$

P = Pressão atmosférica corrigida para o nível médio do mar.

A pressão parcial de vapor (e) é dada por:

$$e = \frac{e_{w(t)}}{100} UR \quad \text{Equação 7}$$

UR = Umidade Relativa (%)

$e_{w(t)}$ = Pressão de Vapor de Saturação

Sendo $e_{w(t)}$ a equação de Tetens dada por:

$$e_{w_t} = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{aT}{b+T}\right)} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

T = Temperatura do ar (°C)

a = 7,5

b = 237,3

Apêndice 6

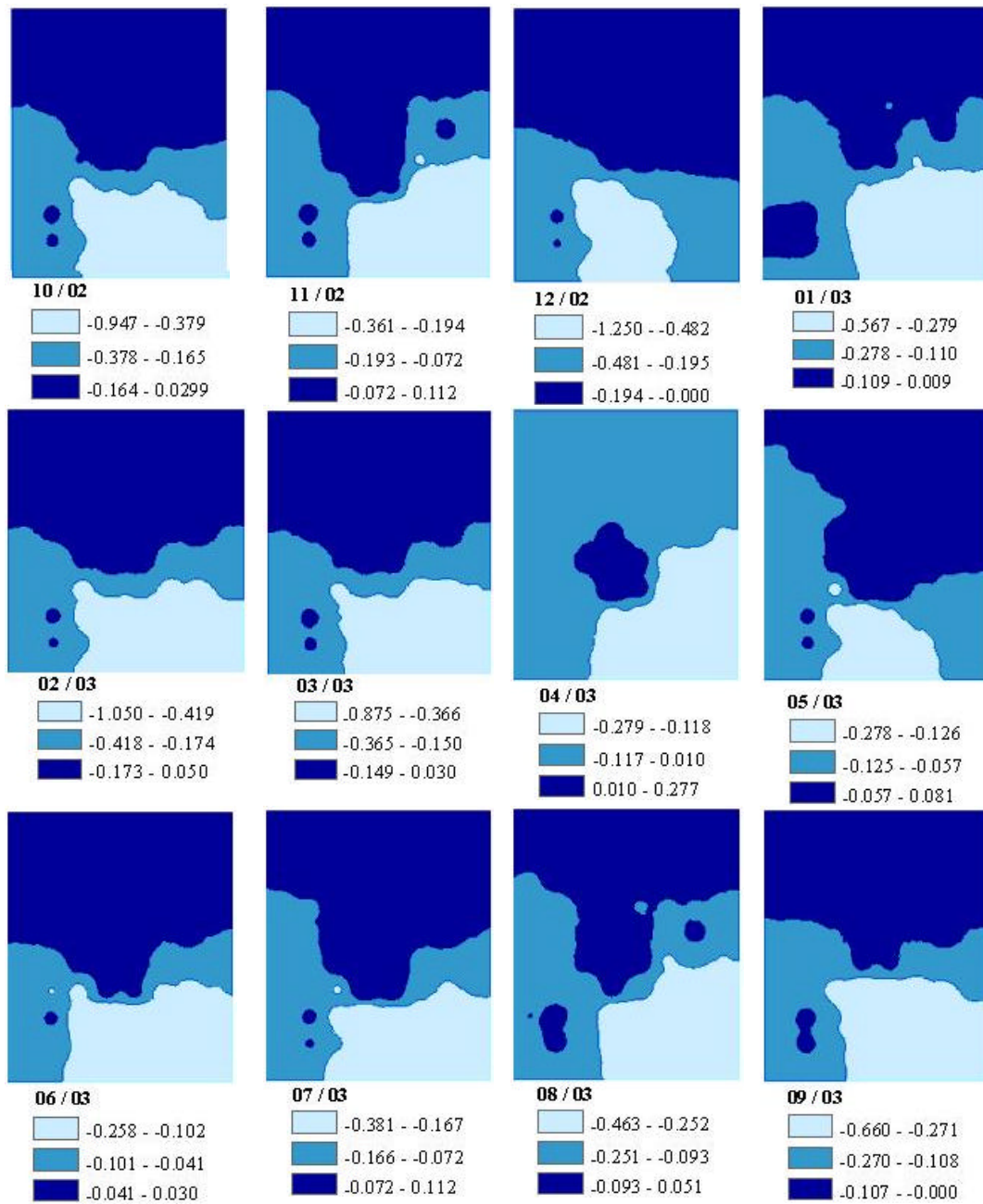


Figura A.1.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfie para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

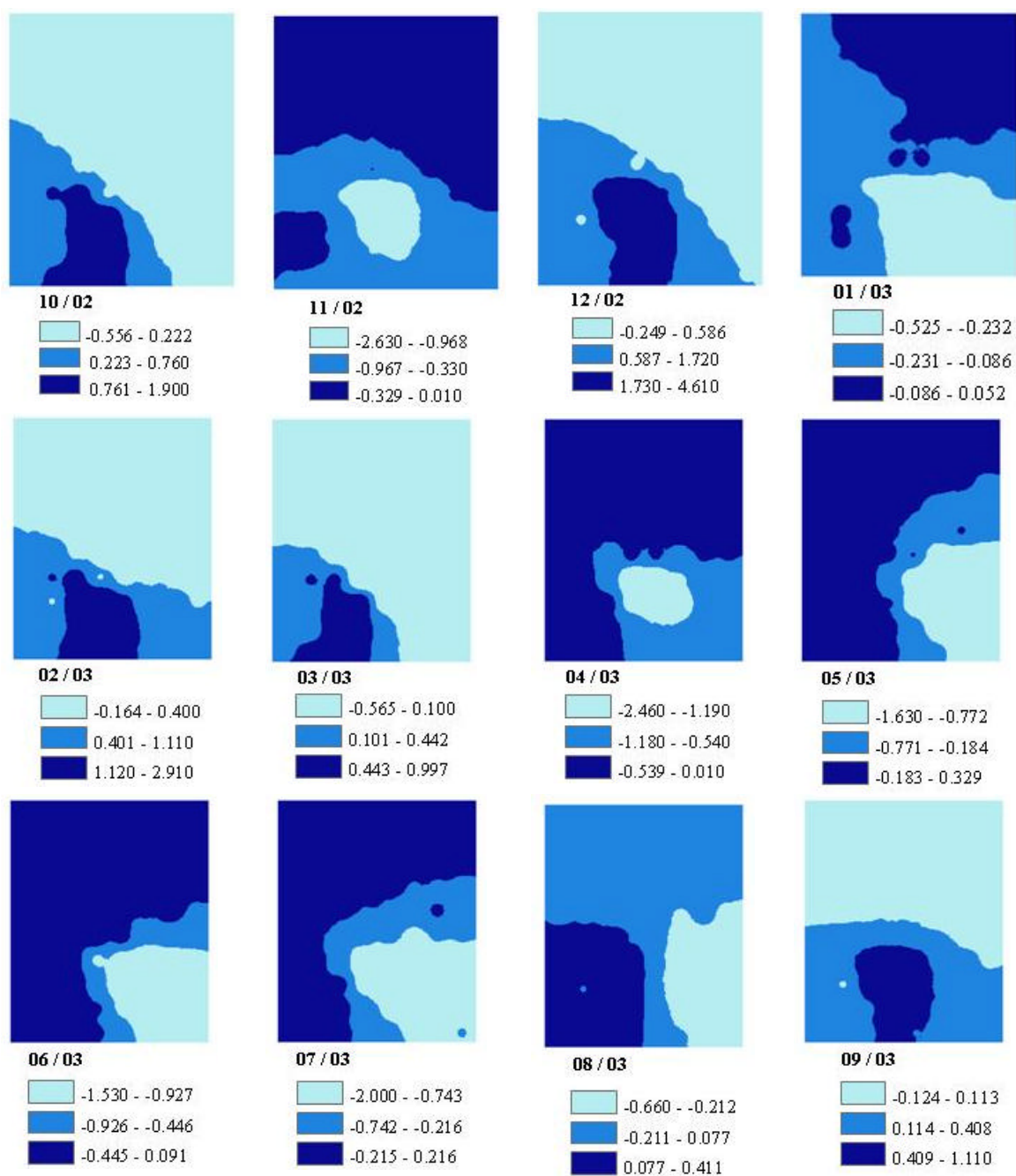


Figura A.1.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

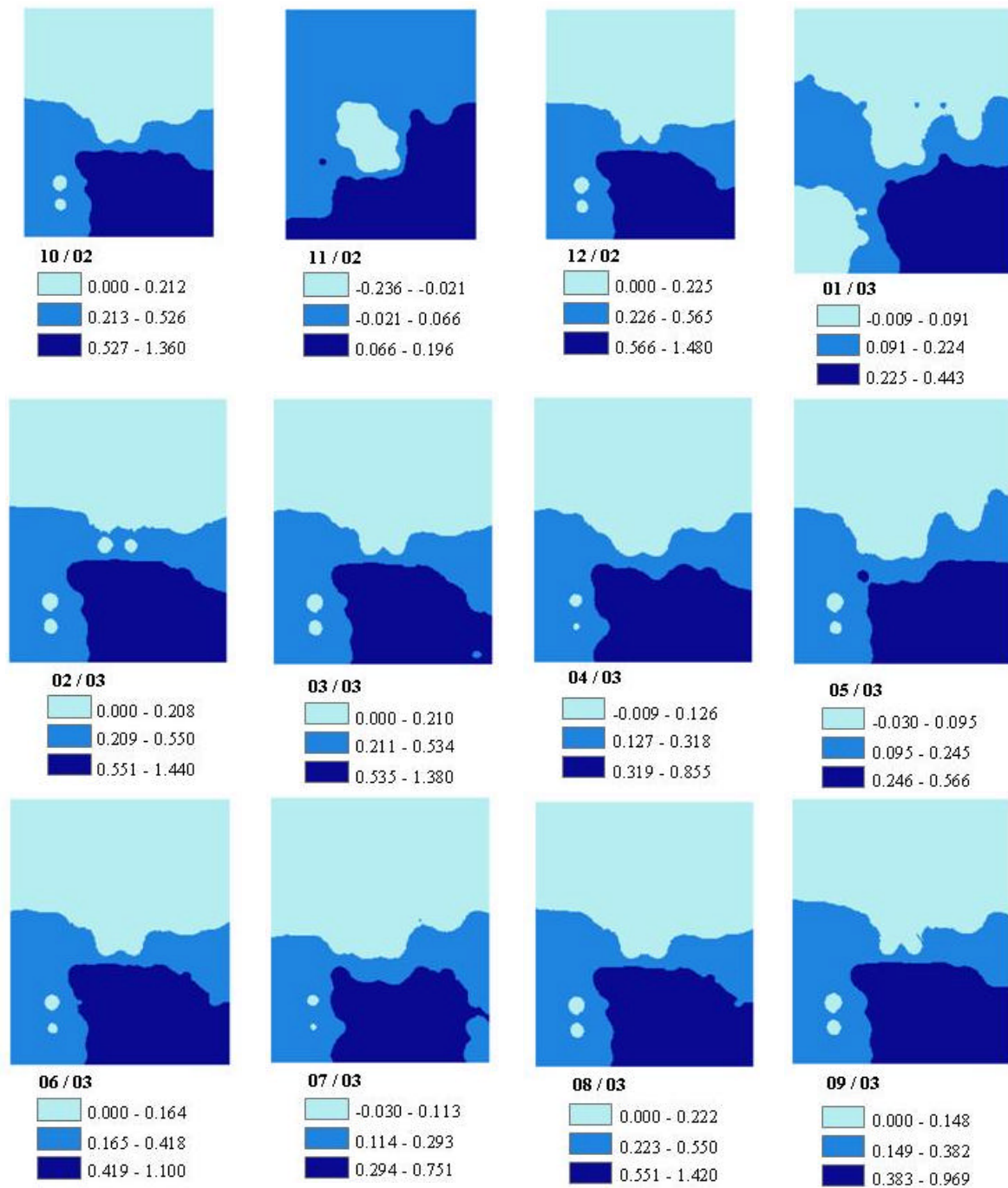


Figura A.1.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

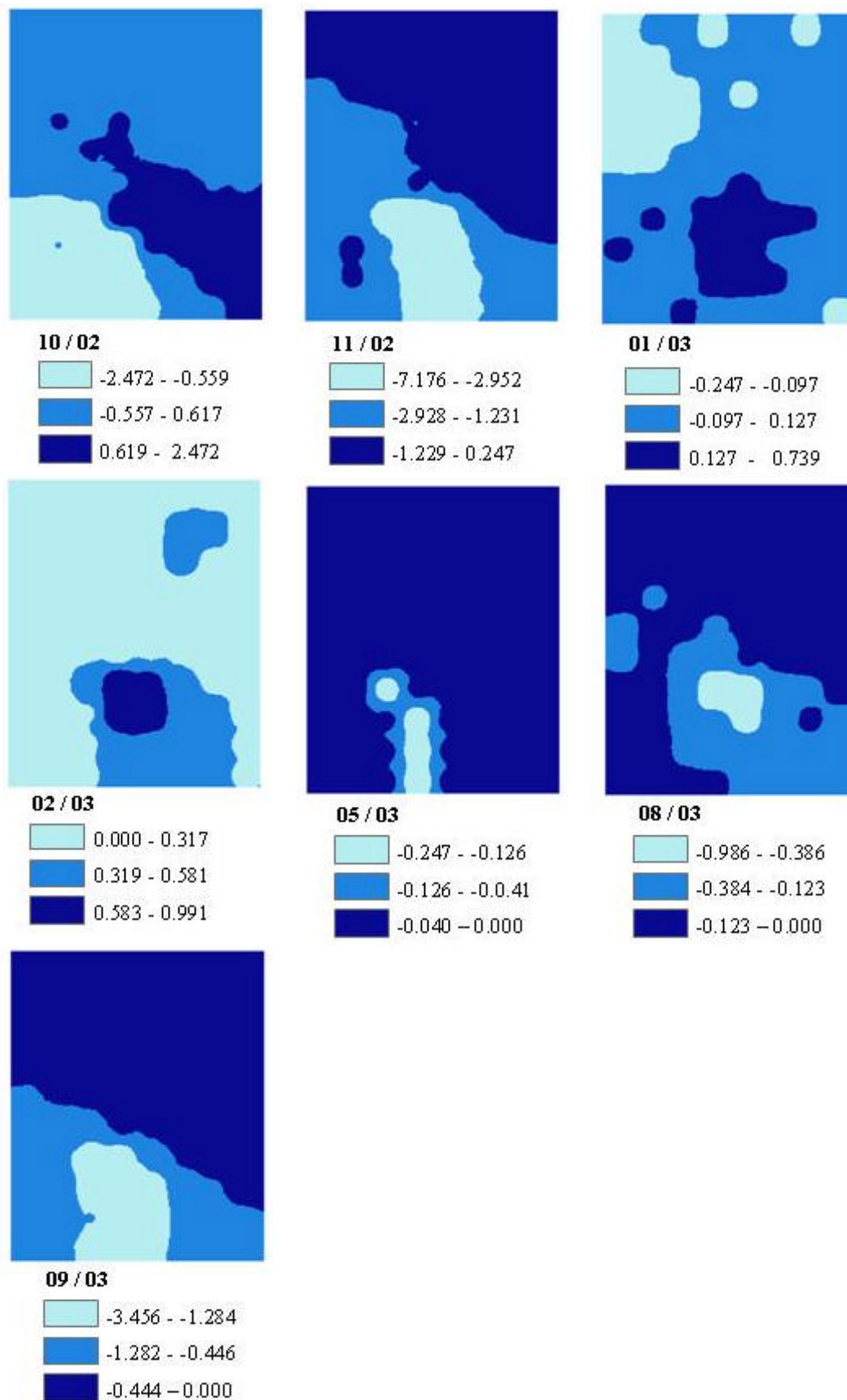


Figura A.1.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Alfié para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

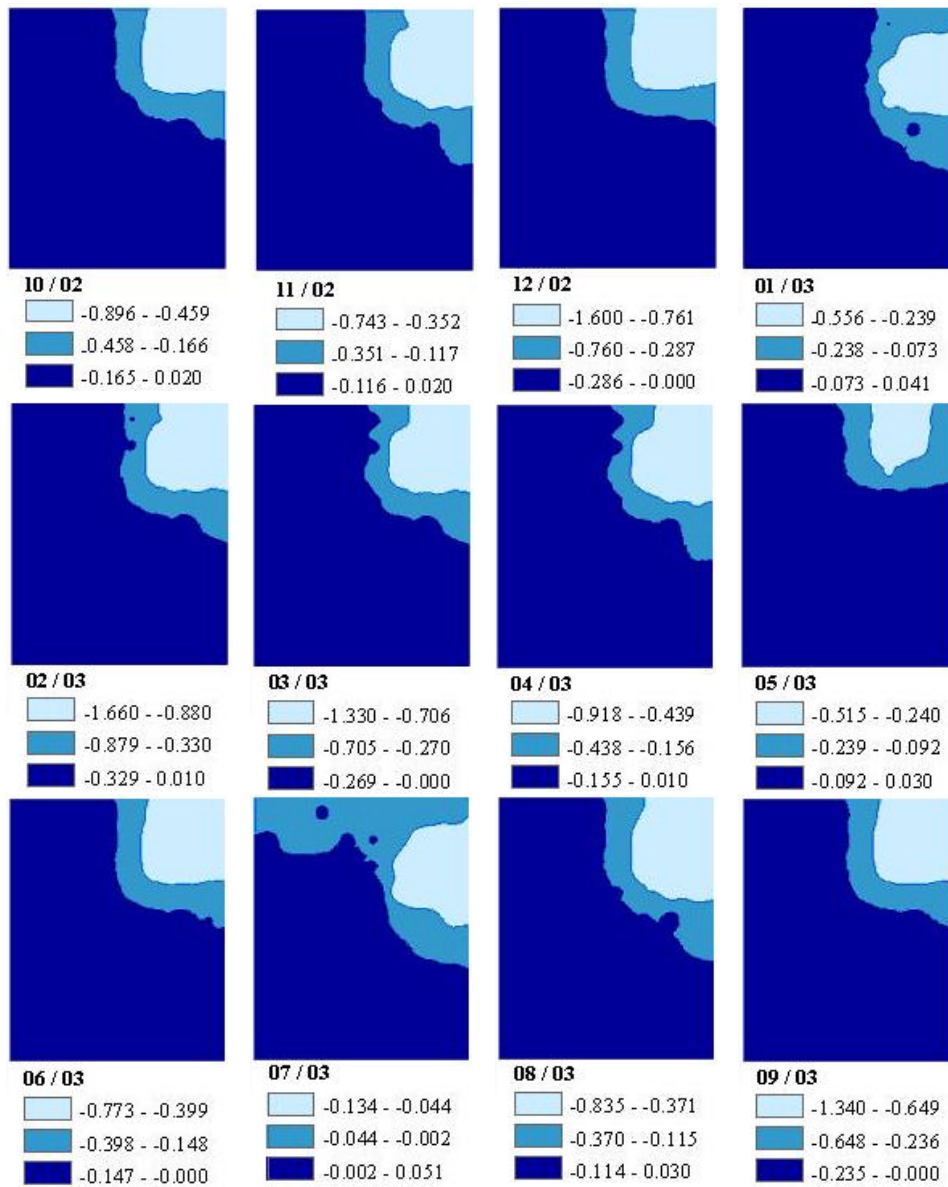


Figura A.2.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquino para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

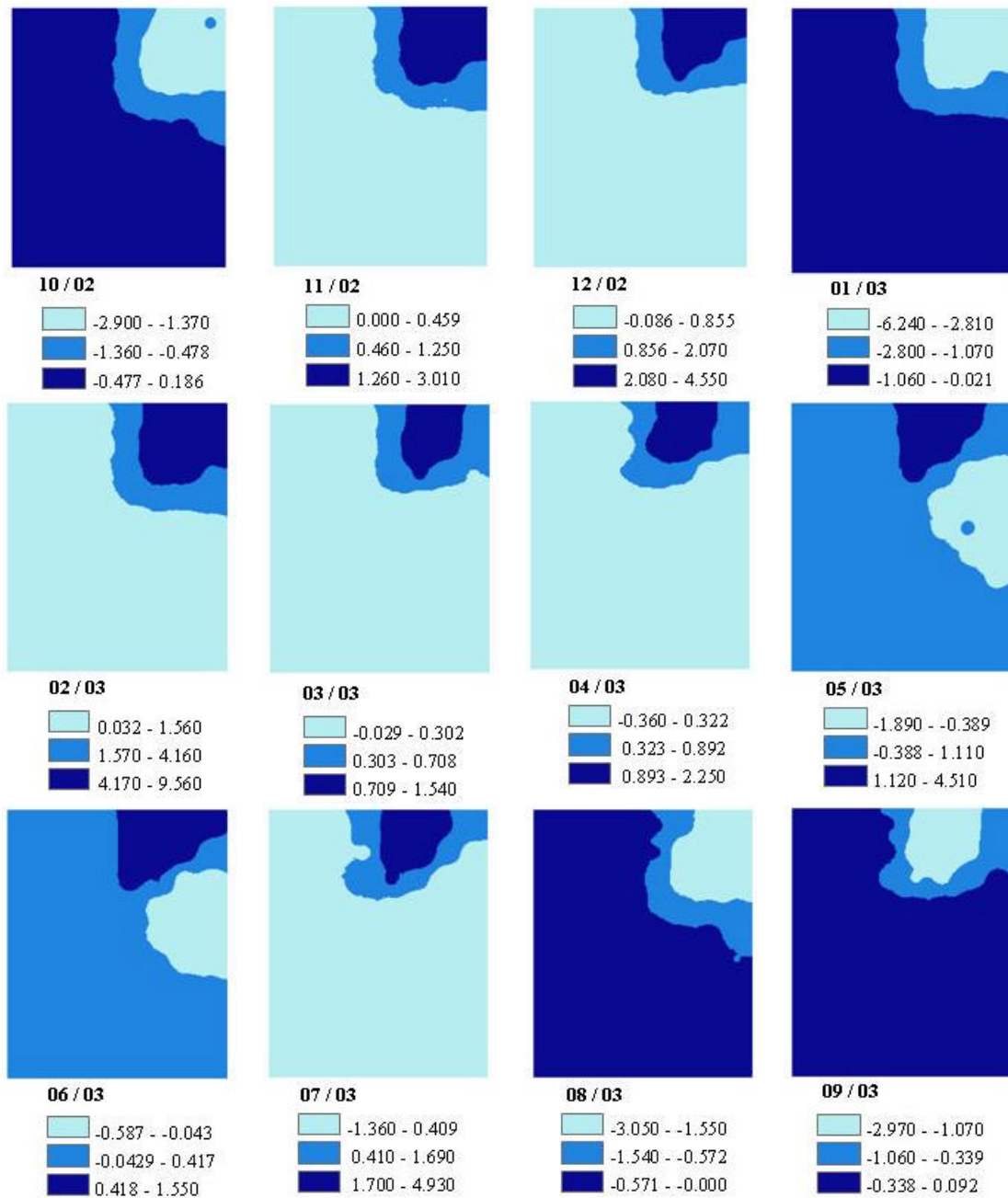


Figura A.2.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

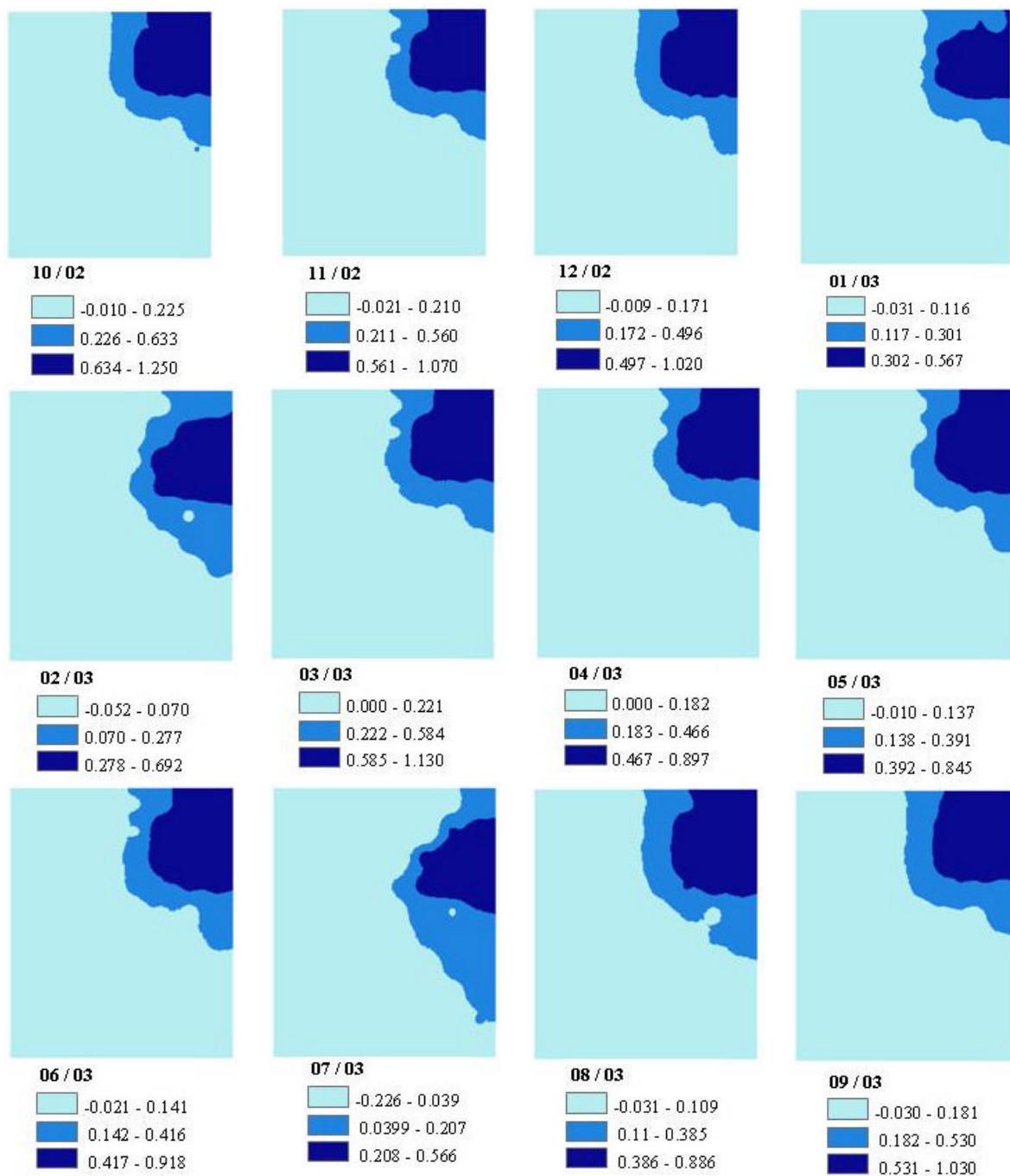


Figura A.2.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

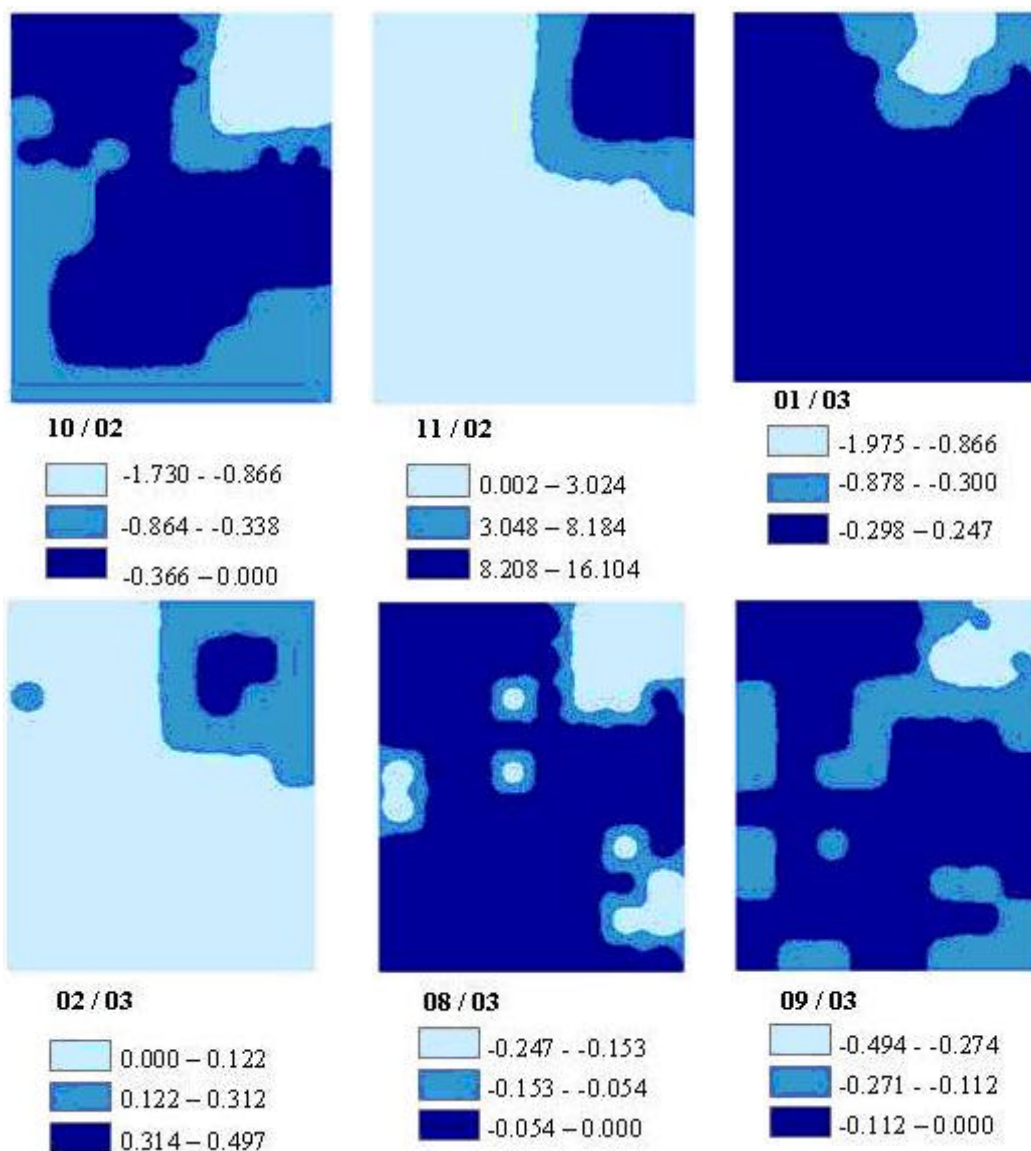


Figura A.2.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cataquinho para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

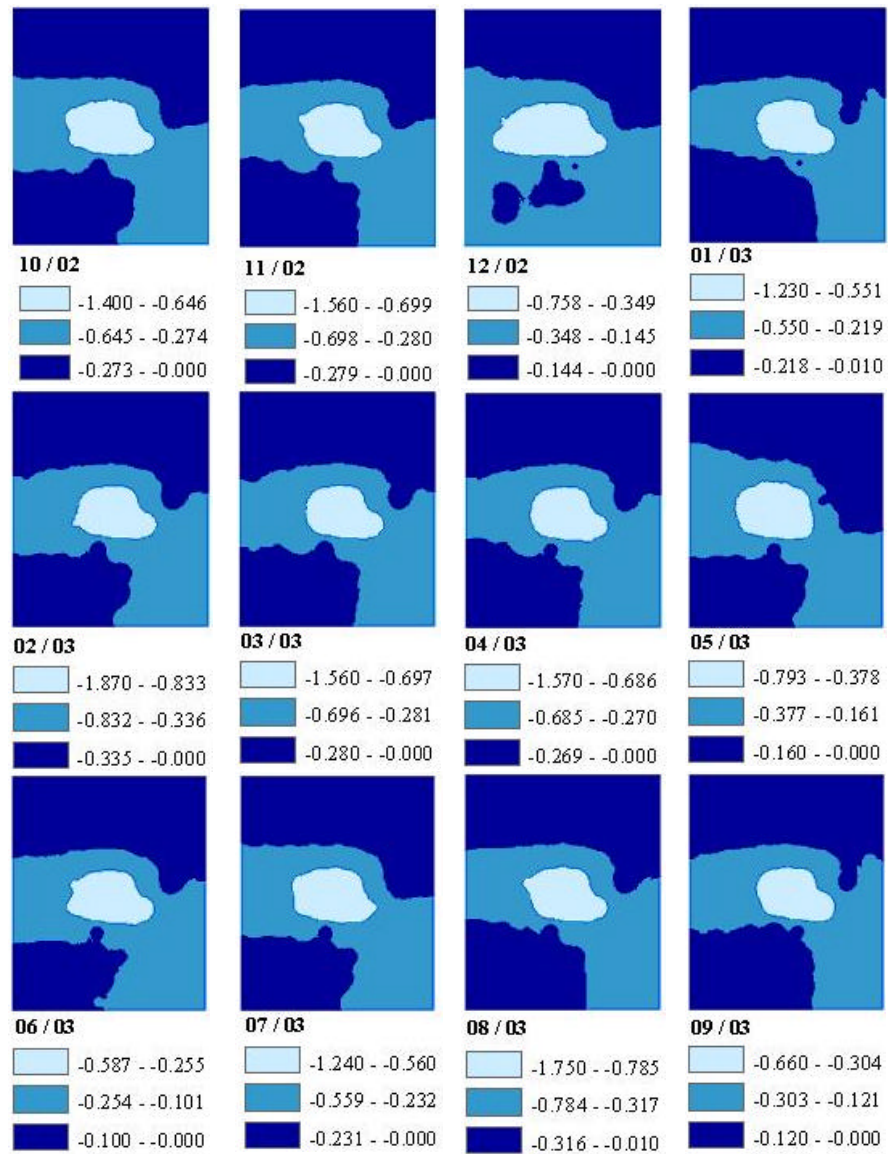


Figura A.3.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

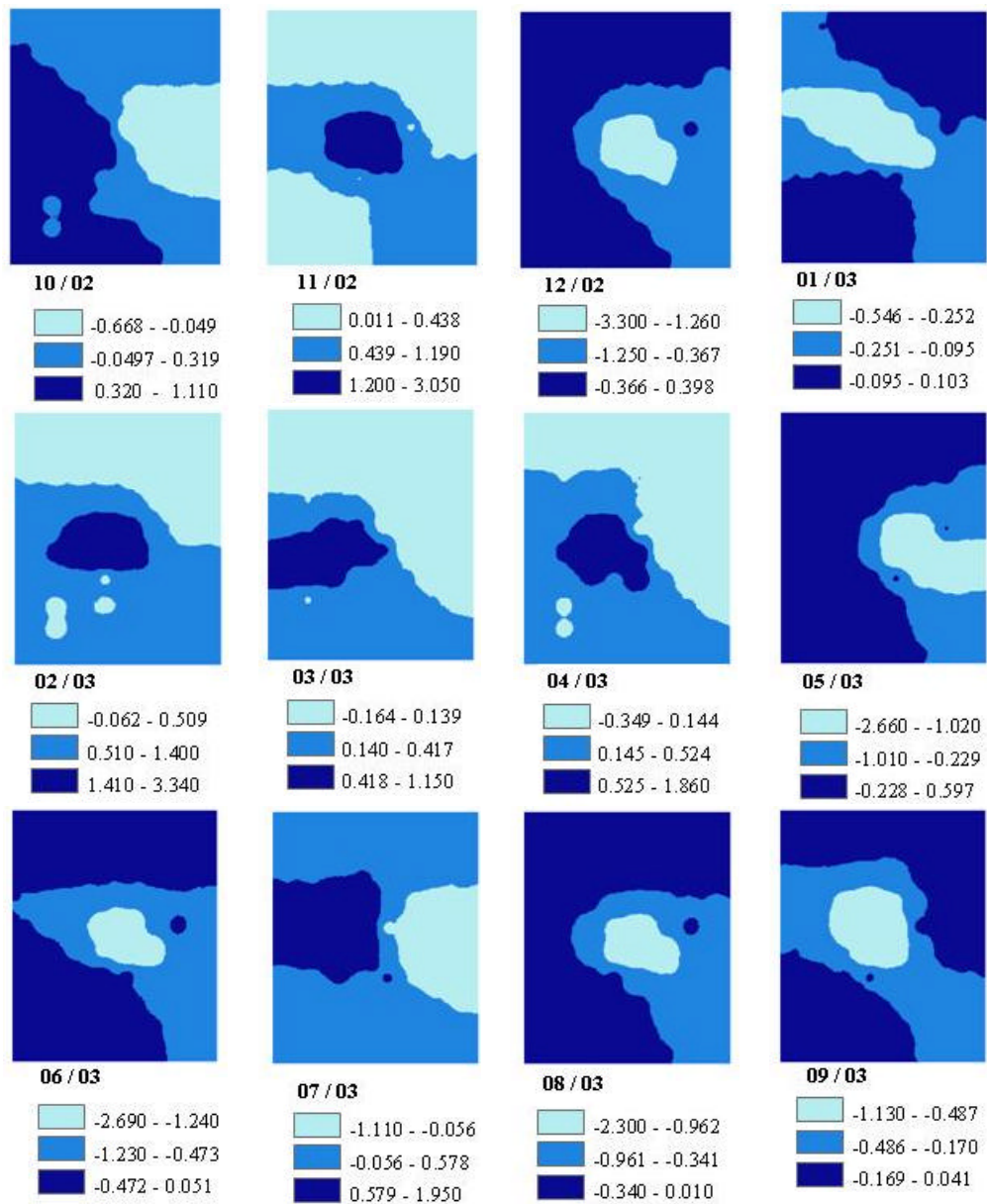


Figura A.3.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

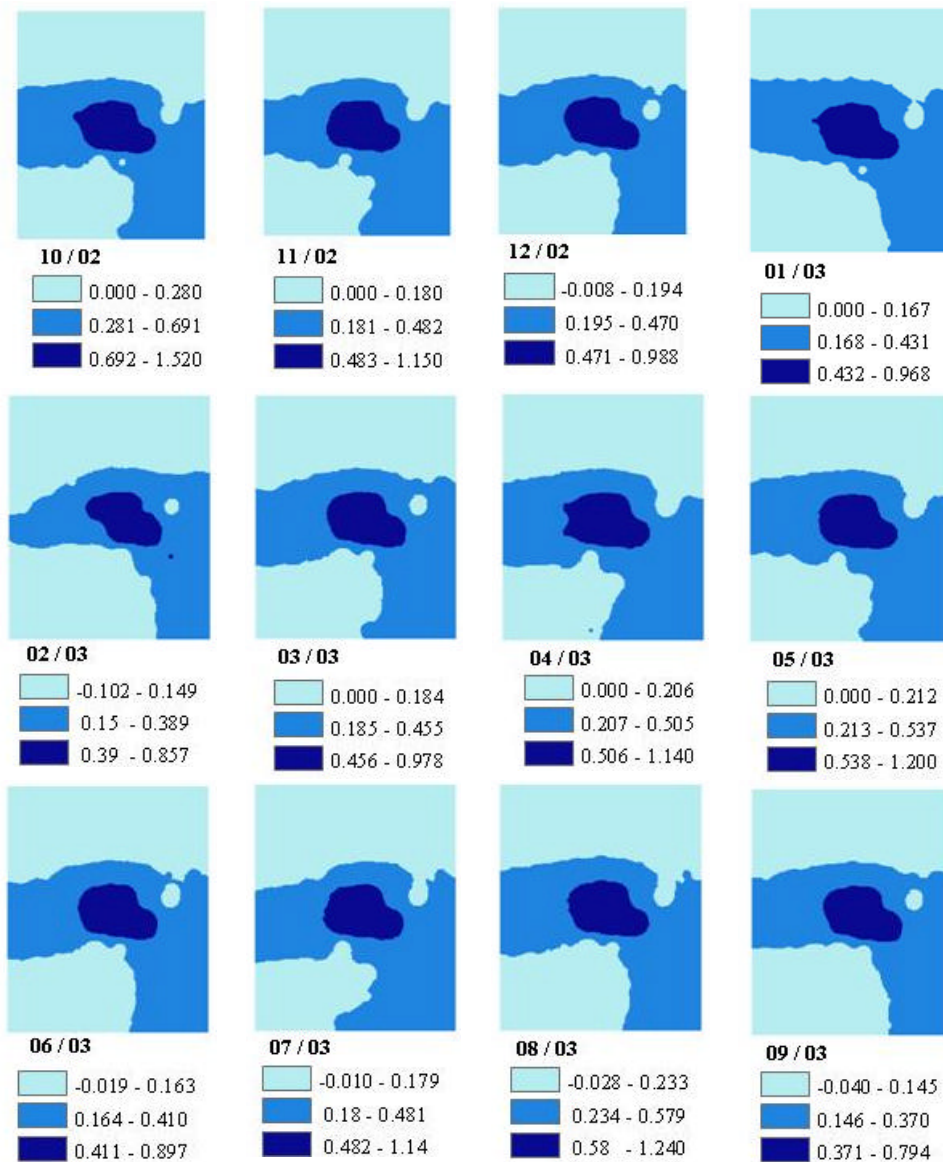


Figura A.3.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

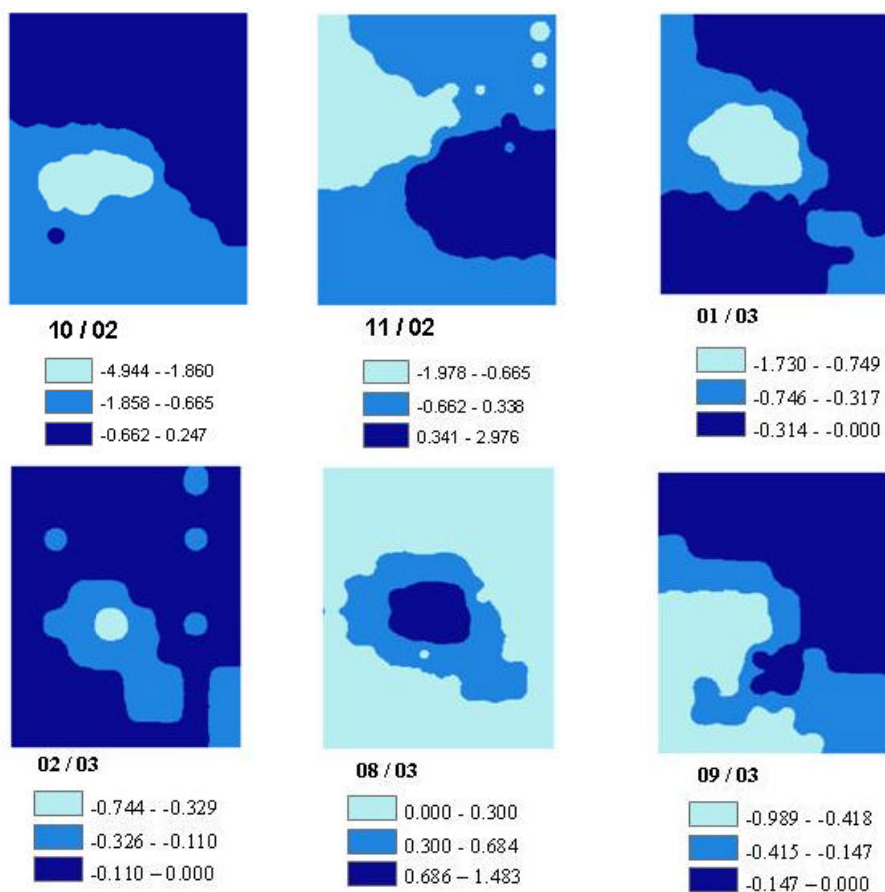


Figura A.3.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Cocais para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

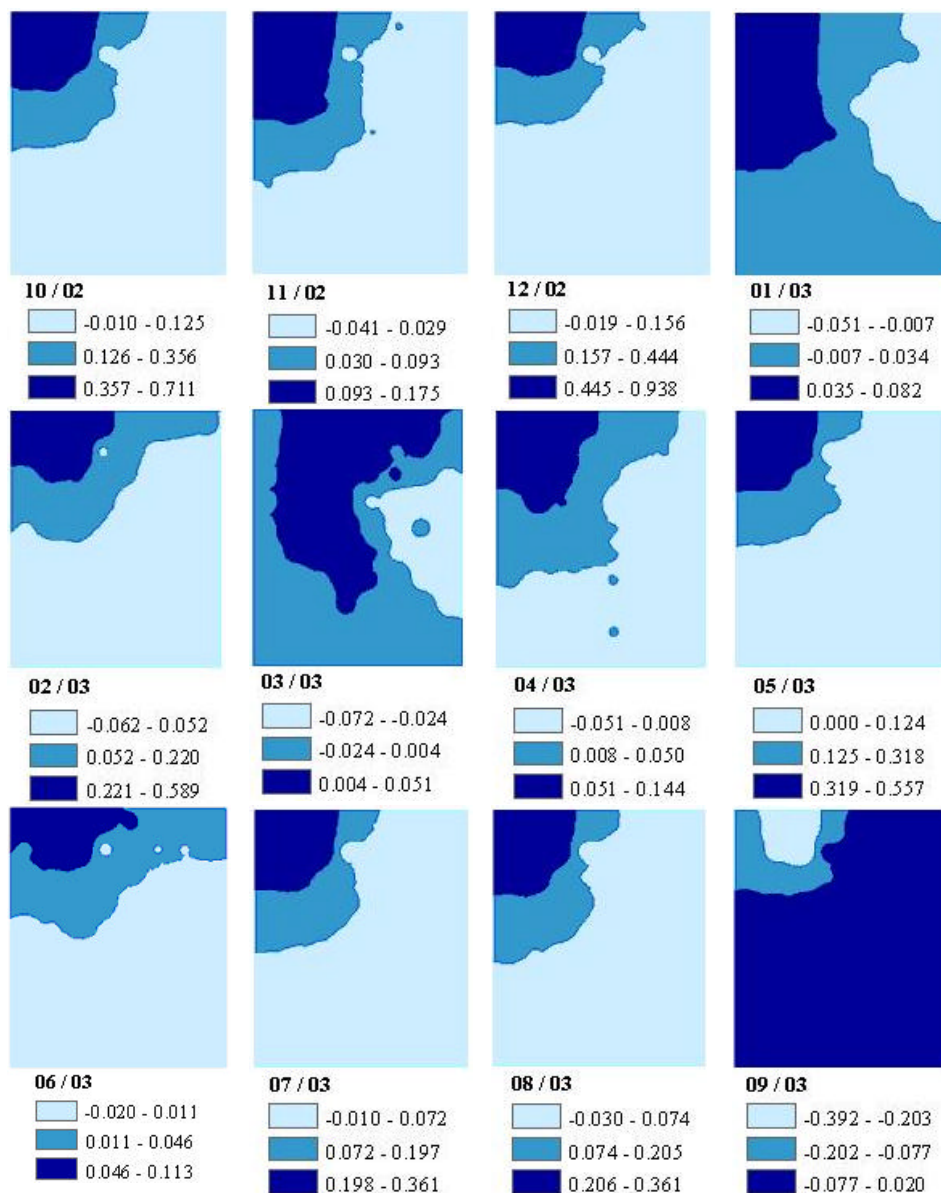


Figura A.4.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

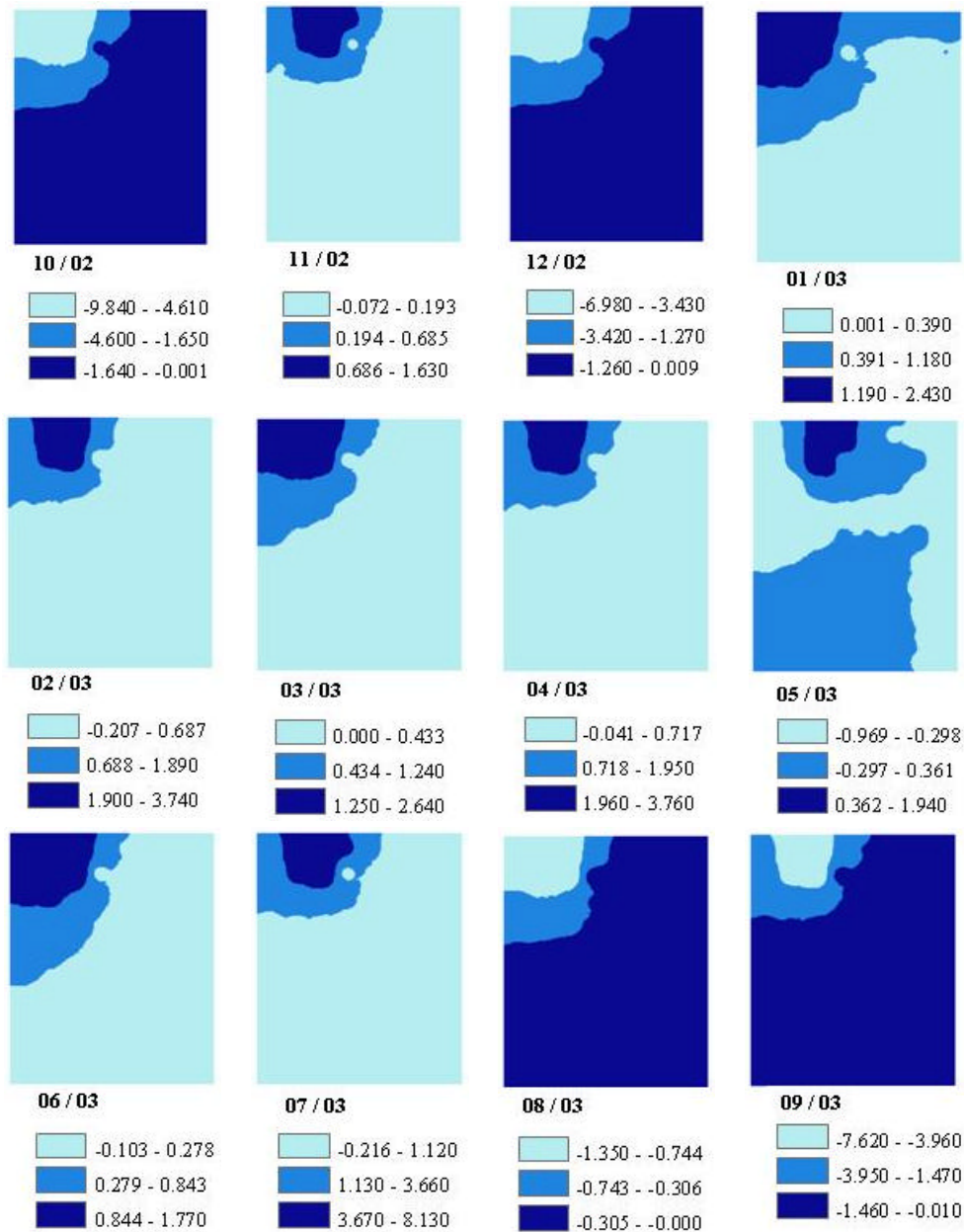


Figura A.4.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

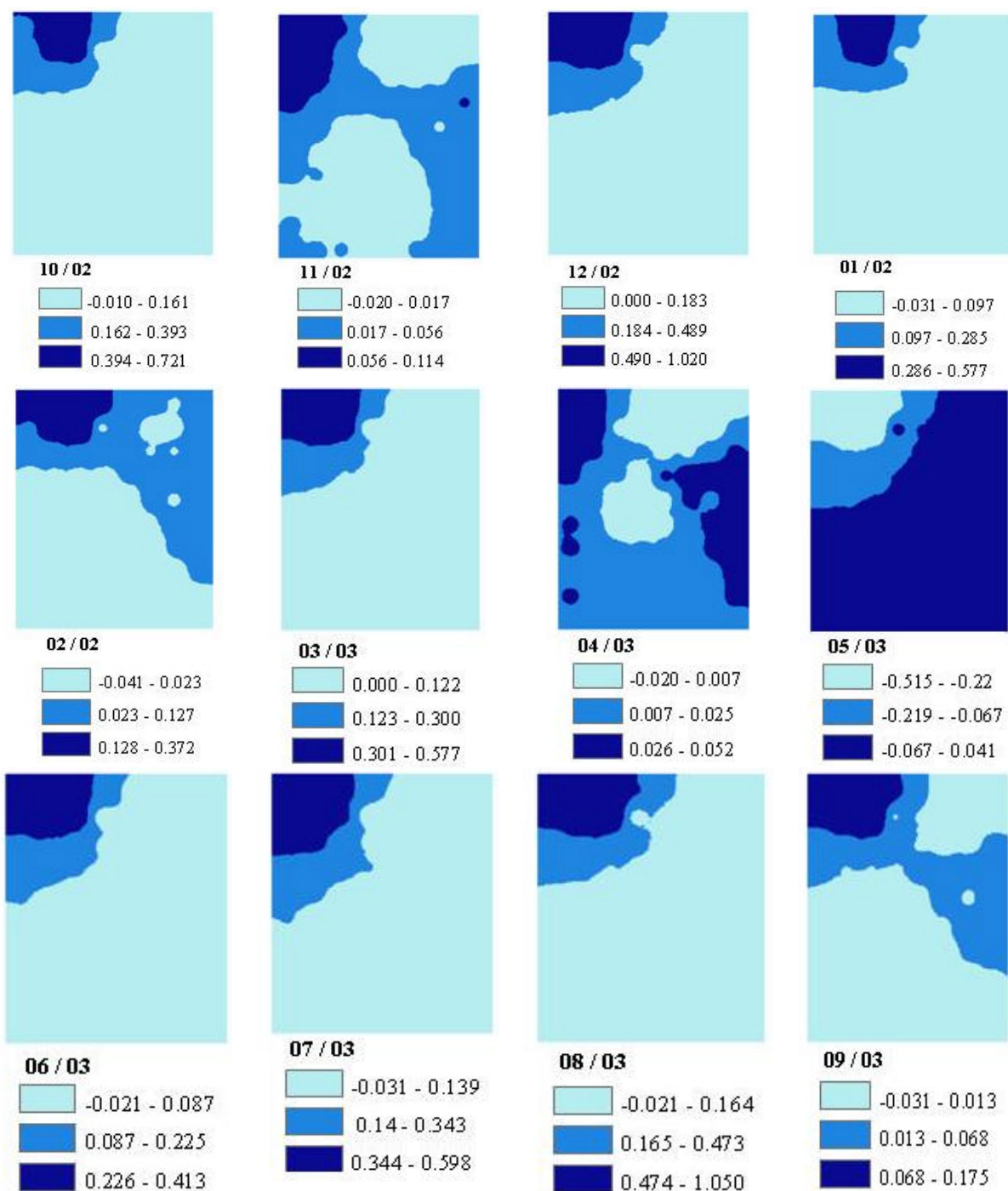


Figura A.4.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

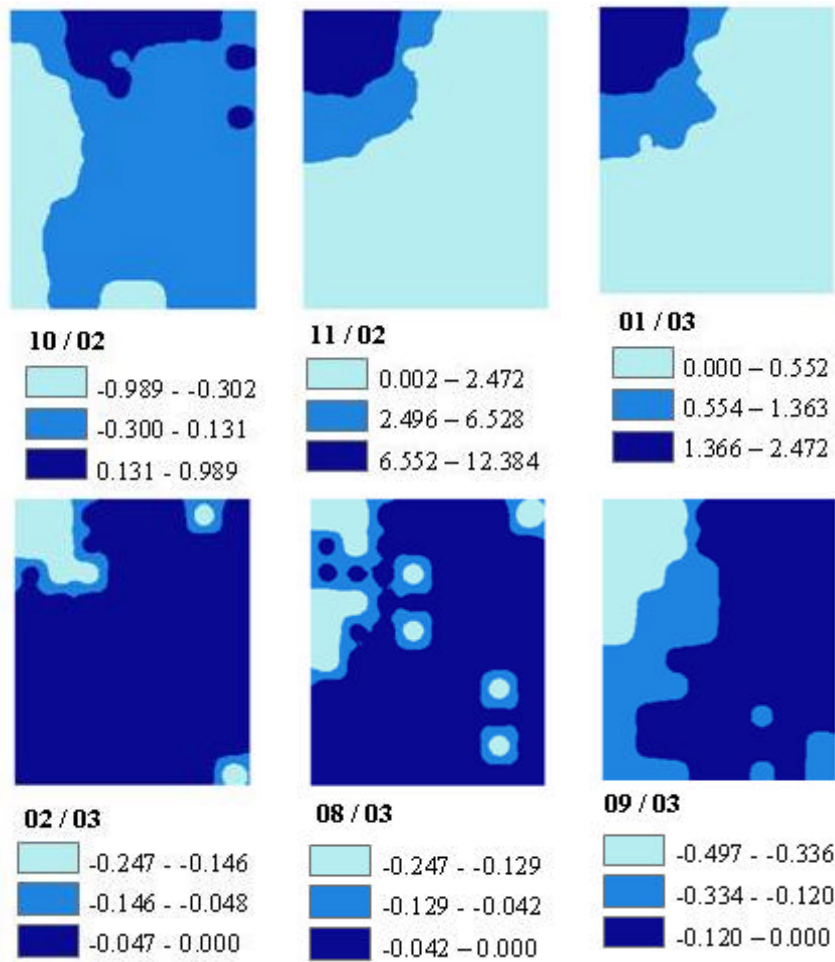


Figura A.4.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Coqueiros para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

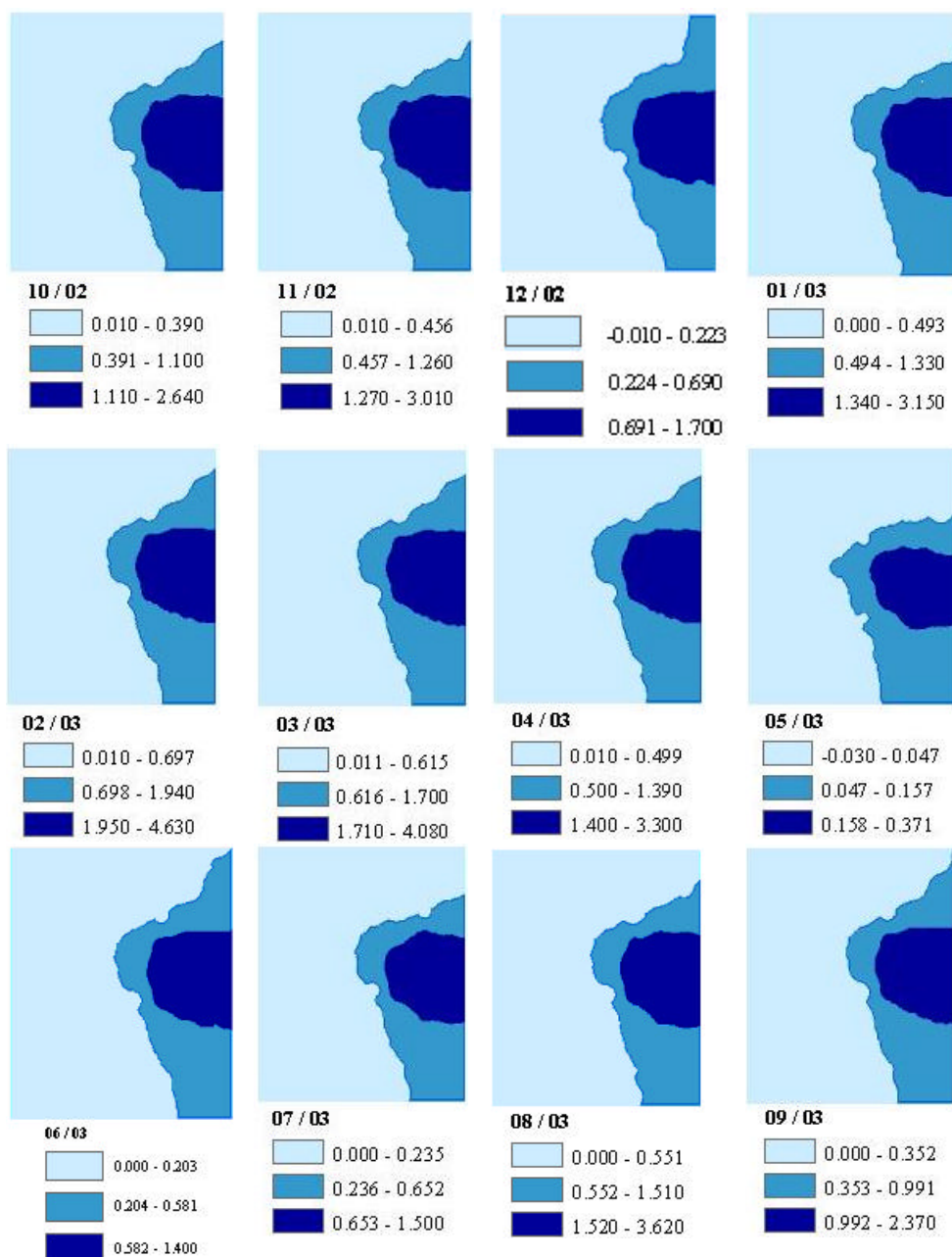


Figura A.5.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

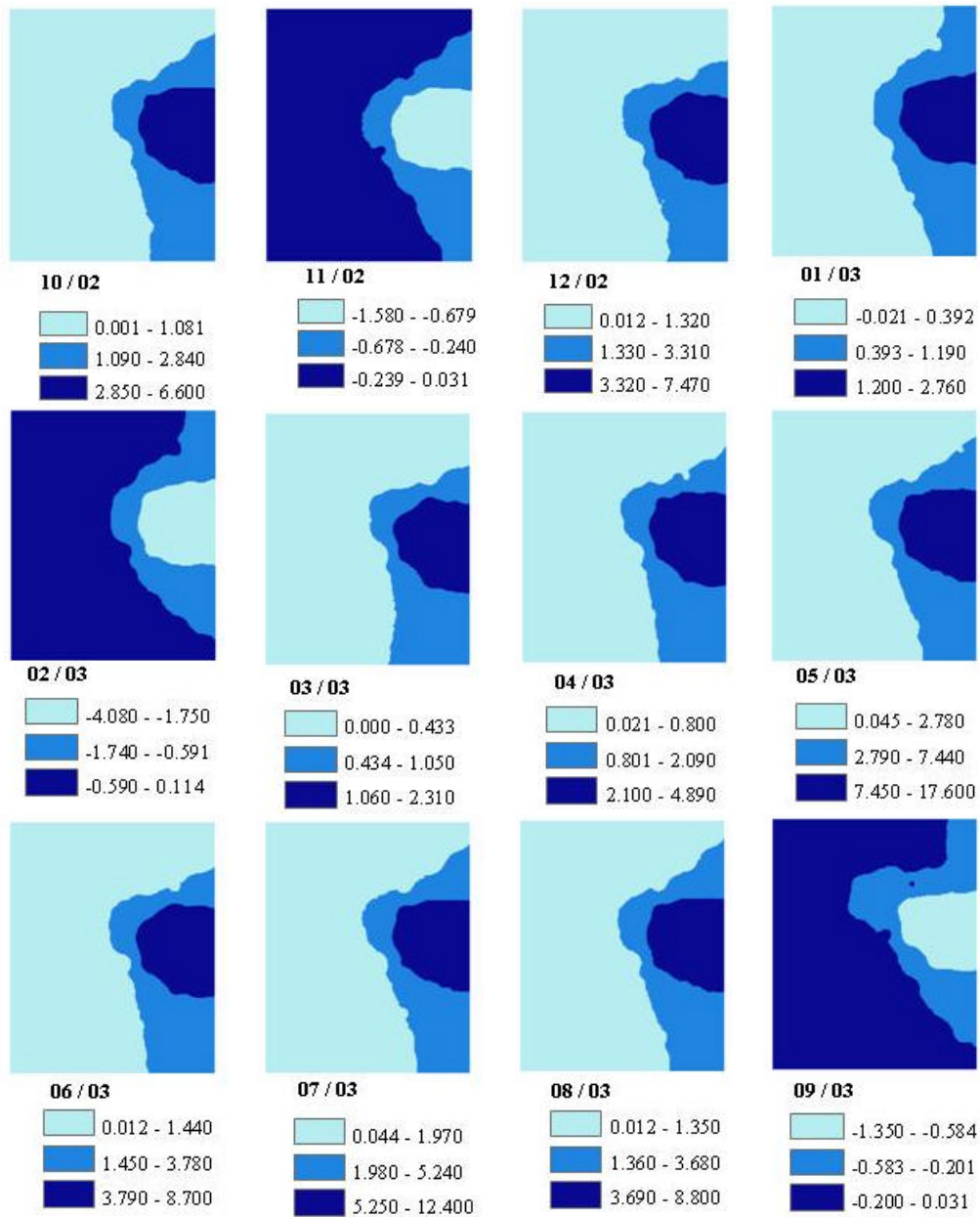


Figura A.5.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

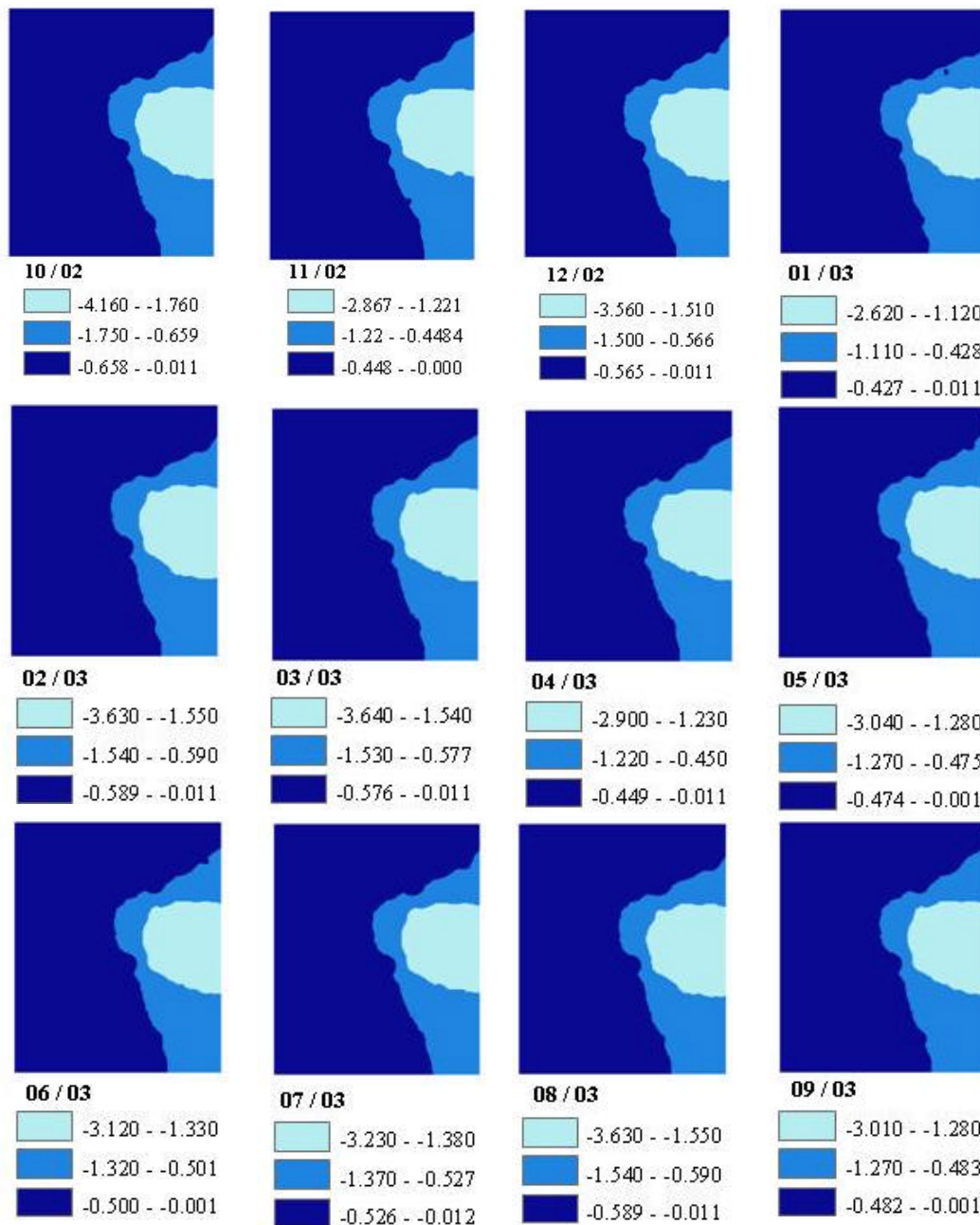


Figura A.5.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

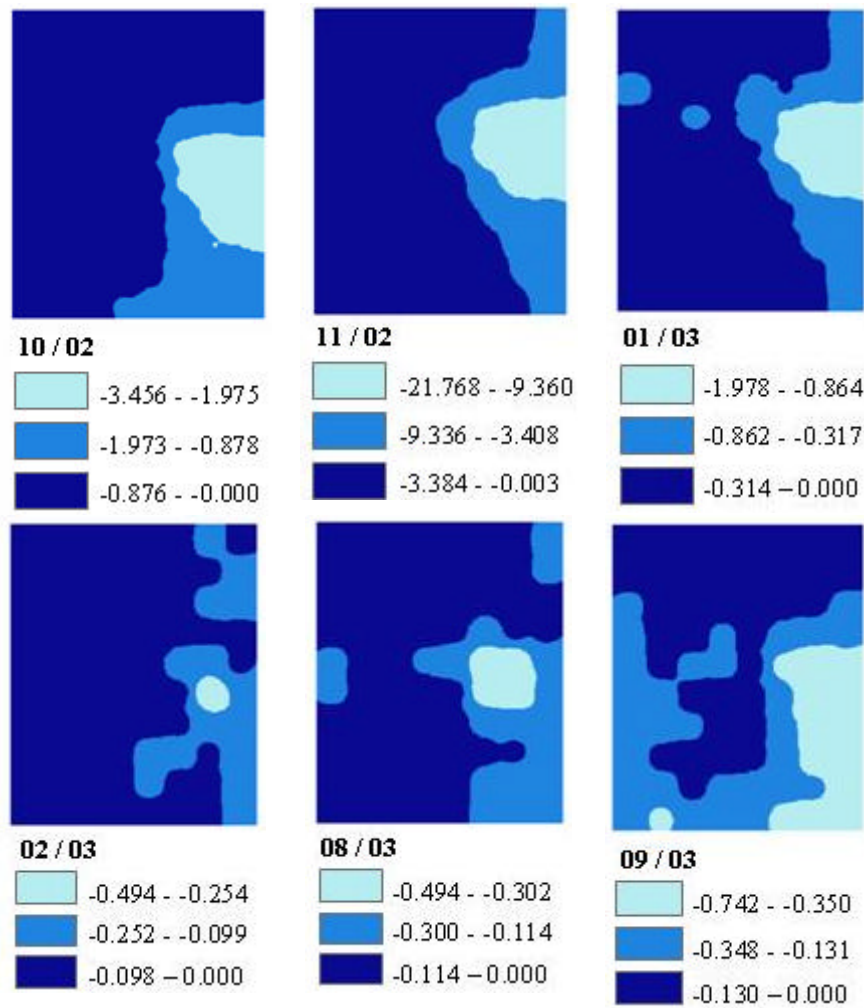


Figura A.5.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Fábrica para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

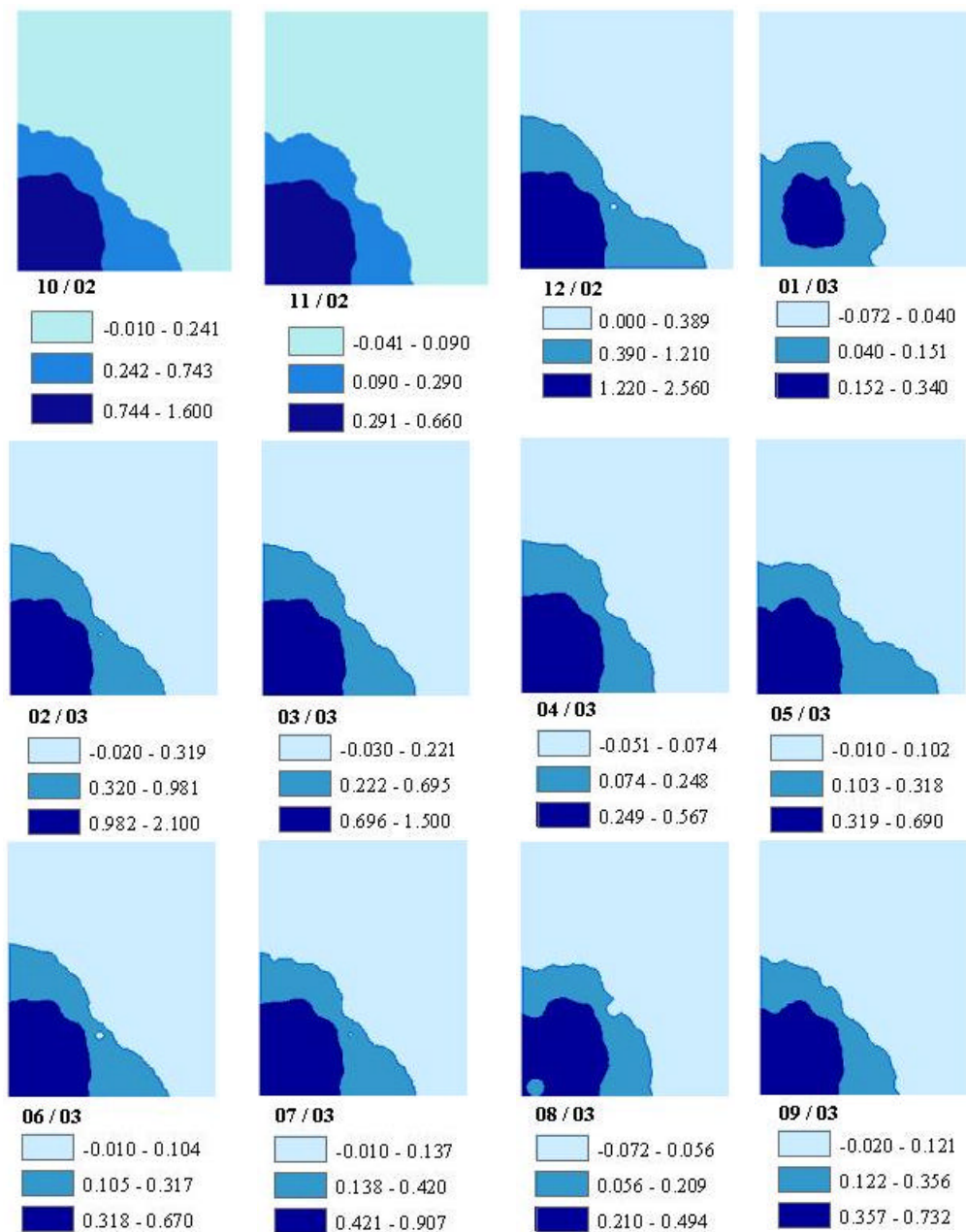


Figura A.6.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

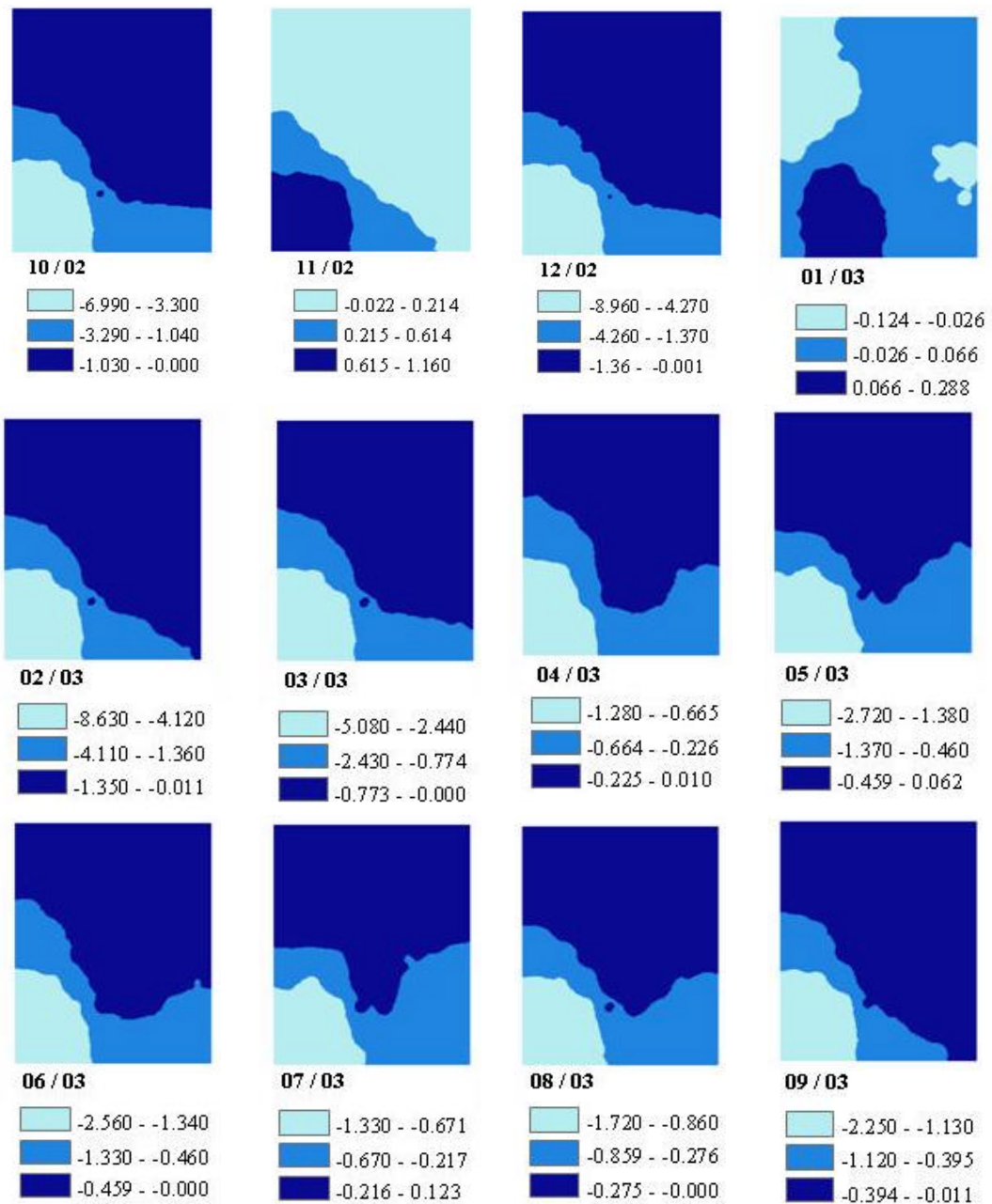


Figura A.6.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

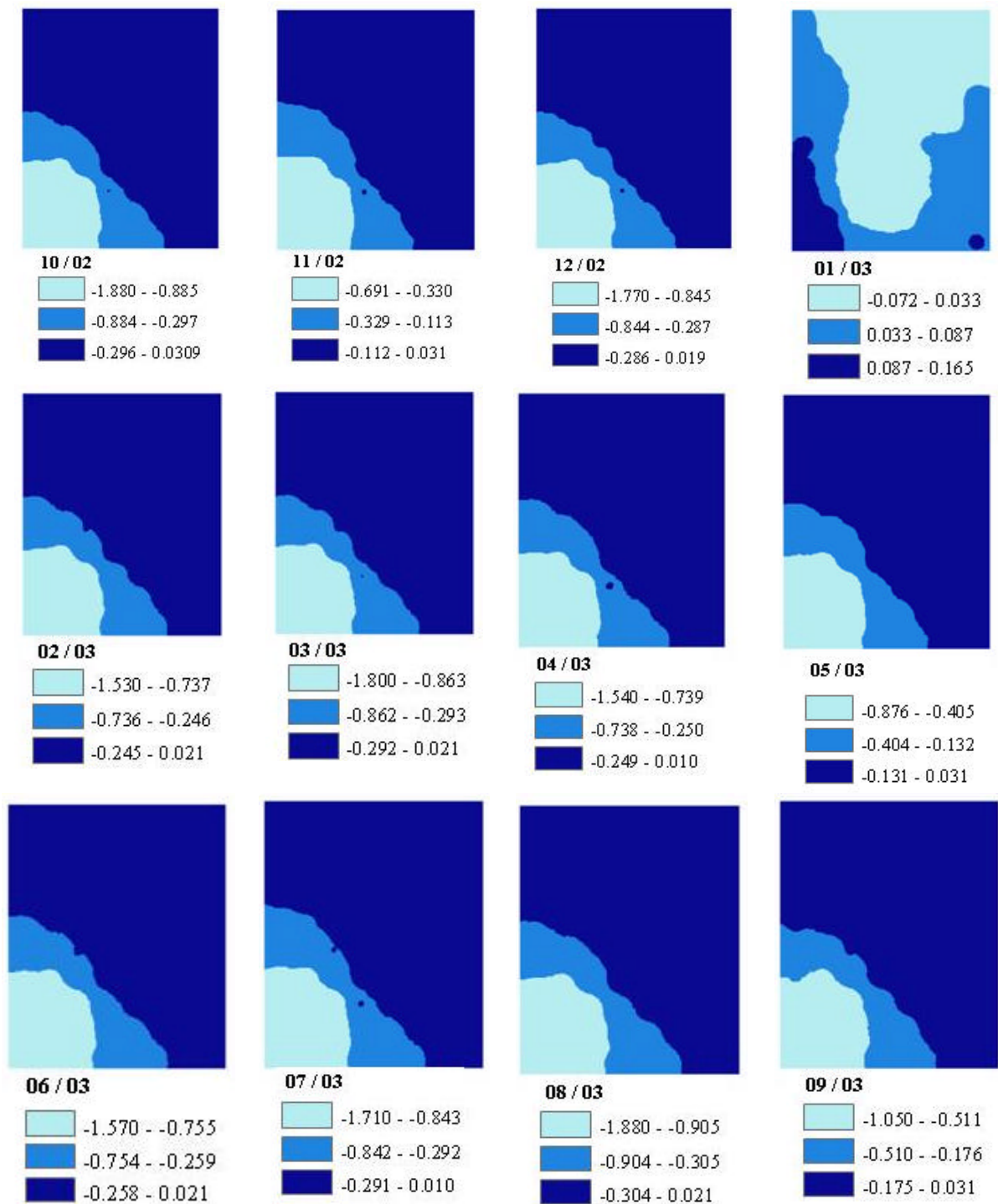


Figura A.6.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

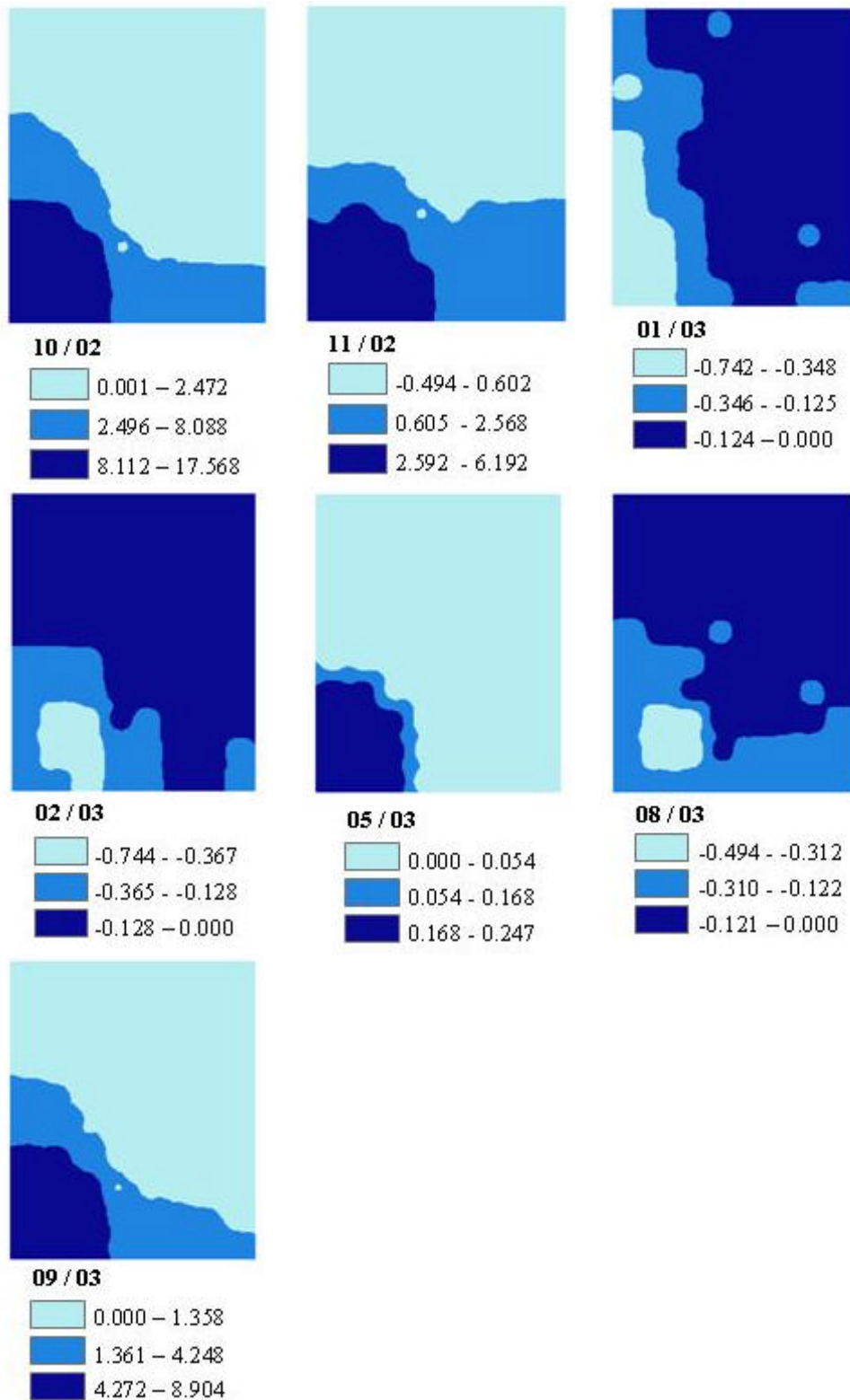


Figura A.6.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Gaspar para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).

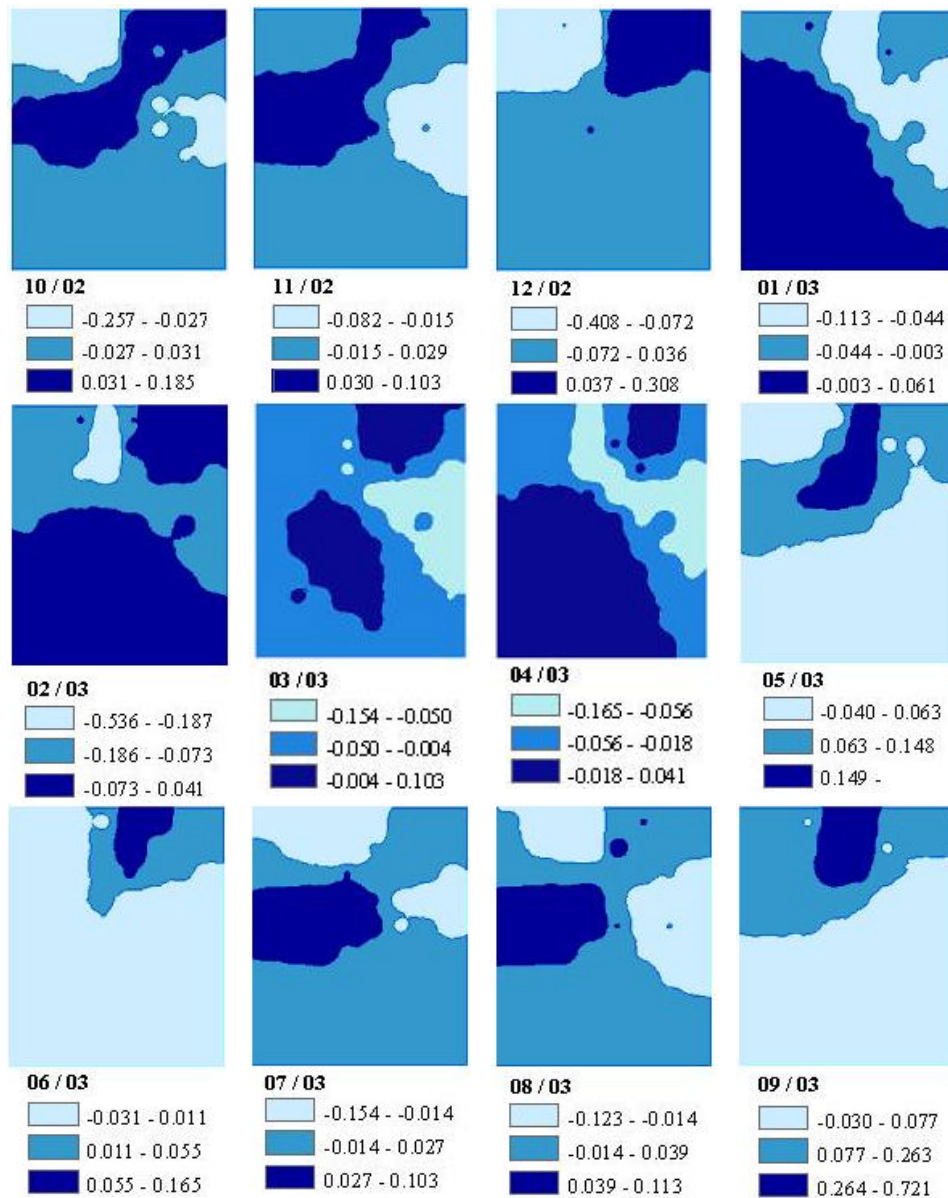


Figura A.7.1 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica temperatura potencial (°C).

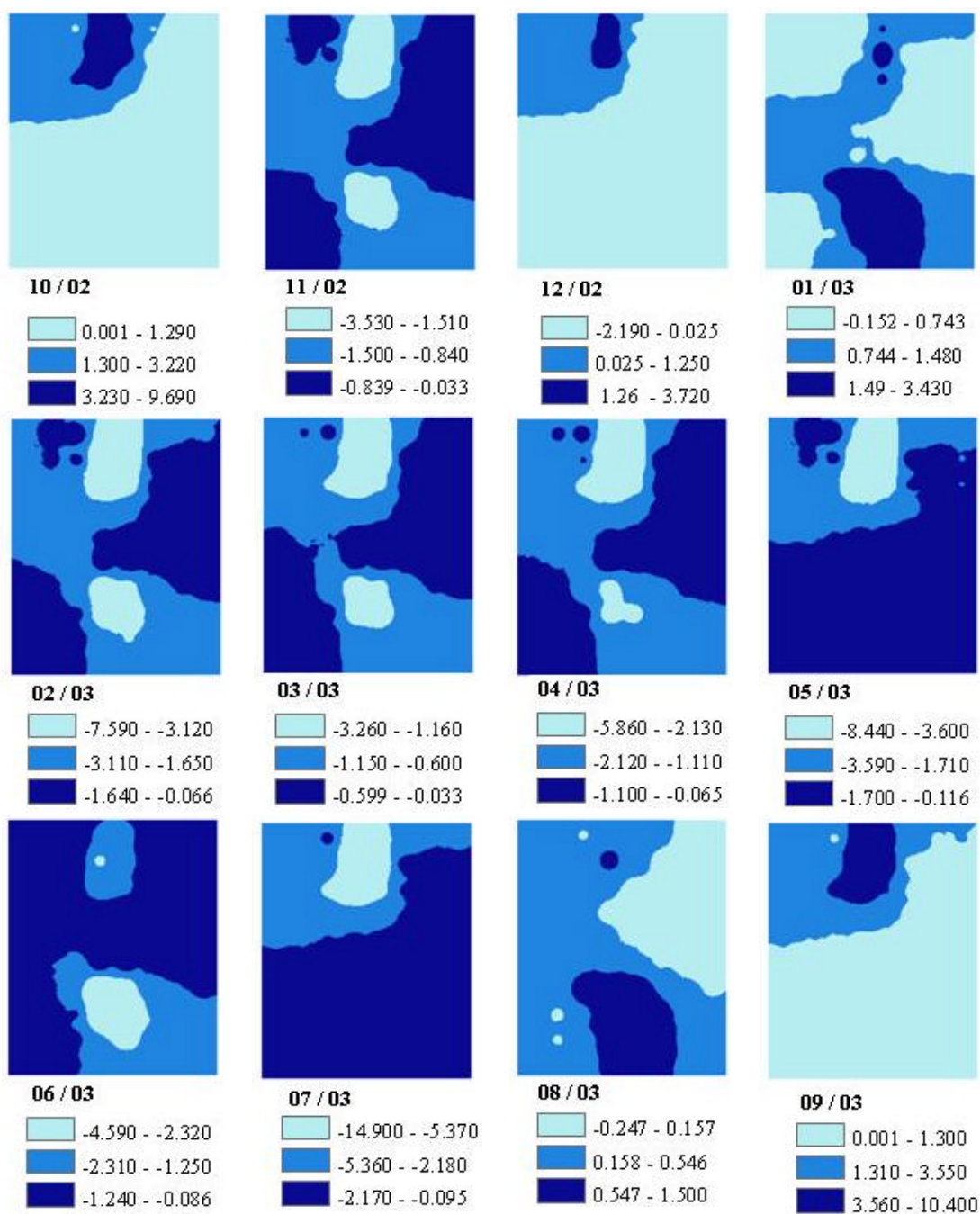


Figura A.7.2 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica umidade específica do ar (gkg^{-1}).

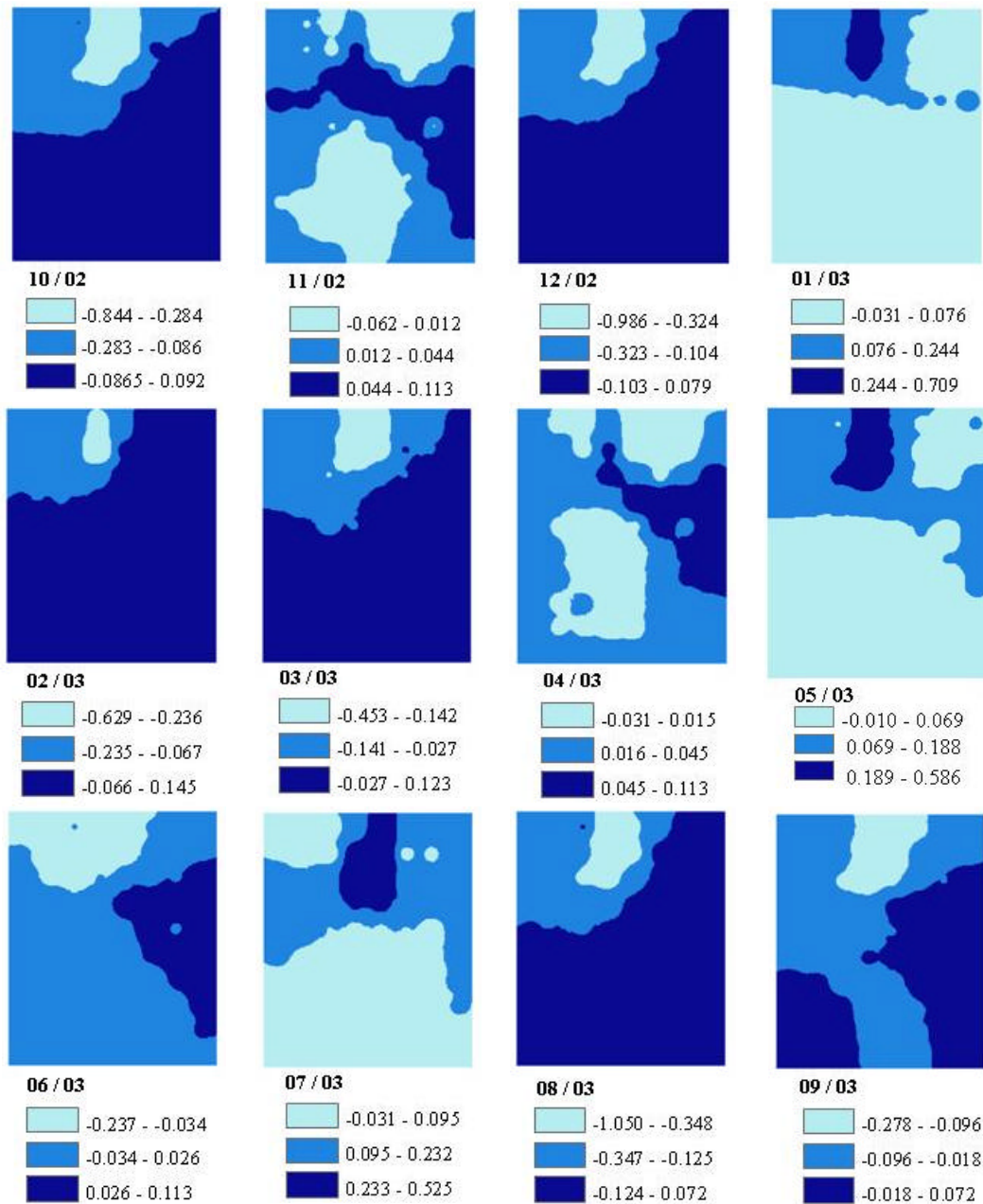


Figura A.7.3 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica velocidade do vento (ms^{-1}).

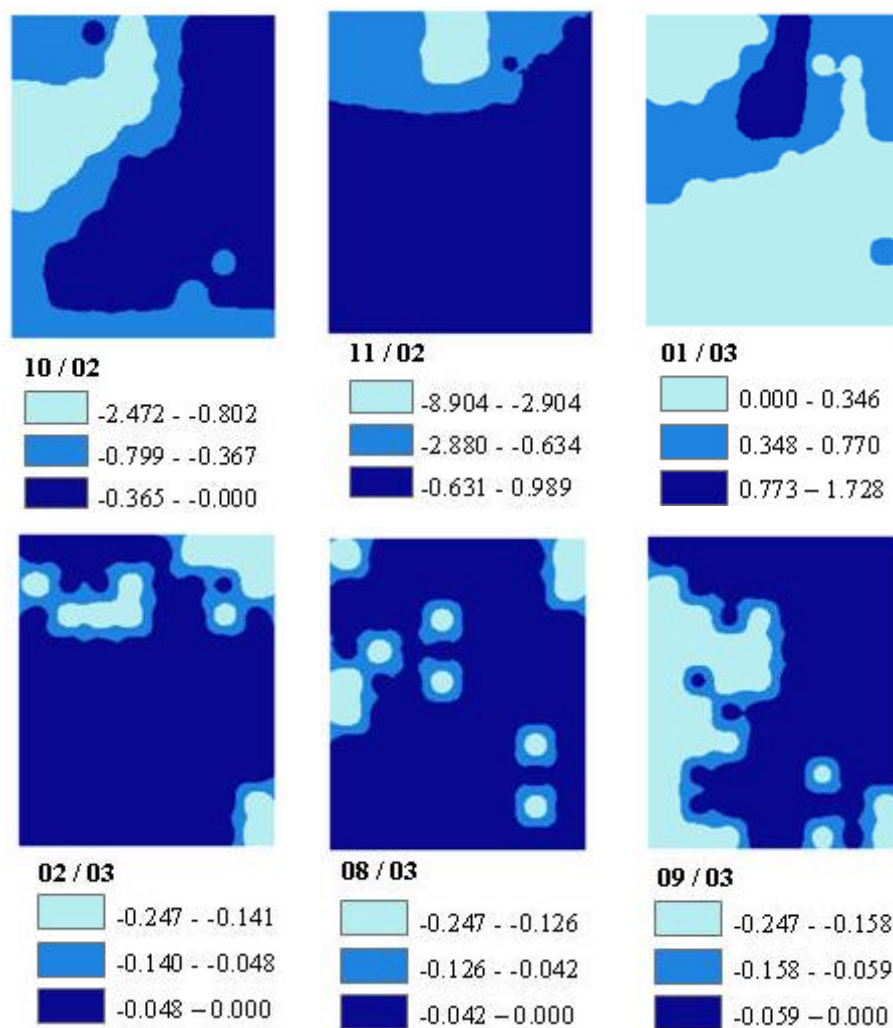


Figura A.7.4 – Diferença entre a matriz de espacialização com todas as estações e a matriz de espacialização omitindo a estação Lagoa Grande para os meses em estudo, para a variável meteorológica precipitação pluvial (mm).