



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA MODELAGEM
CARTOGRÁFICA E ANÁLISE REGIONAL DE EPIDEMIAS DE
DENGUE EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**

Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Tese de Livre-Docência apresentada
ao Departamento de Geografia do
Instituto de Geociências da
UNICAMP, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Professor
Livre-Docente

Campinas

2003

Biblioteca
Instituto de Geociências
UNICAMP

T/UNICAMP
F413p

•
63393/IG

200508749.

À Marta Felícia, o ar
e à Yara, a terra,
dedico este trabalho.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Archimedes Perez Filho, Diretor do Instituto de Geociências da UNICAMP, pelo apoio institucional necessário ao encaminhamento deste concurso;

Aos colegas do Departamento de Geografia do IG-UNICAMP, pelas palavras de incentivo e de amizade dirigidas durante o desenvolvimento deste trabalho;

À Profa. Dra. Marilisa de Oliveira Barros, da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, pelo contato e aproximação com os temas da saúde pública e pelos diálogos frutíferos que tiveram lugar em seminários do Curso de Pós-Graduação em Saúde Coletiva, da FCM-UNICAMP;

À funcionária Valdirene Pinotti, da Seção de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da UNICAMP, pela presteza, eficiência e organização, que em muito contribuíram para que minhas atribuições de Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia não comprometessem o desenvolvimento desta pesquisa;

Ao Centro de Vigilância Epidemiológica do Estado de São Paulo – CVE, pela disponibilização dos dados sobre as notificações de casos de dengue por município;

À Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE, pela disponibilização dos dados demográficos, de urbanização e de rendimento médio mensal, por município;

Aos alunos do Curso de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, pelos debates proporcionados durante as aulas da disciplina Análise e Modelagem de Dados Espaciais em SIG.

RESUMO

Este estudo apresenta um procedimento metodológico baseado em sistema de informação geográfica, para modelagem cartográfica e análise regional de dados epidemiológicos relacionados a doenças tropicais, utilizando como exemplo uma epidemia de dengue. A proposta apóia-se nos paradigmas da escola espacial da Geografia sintetizados no conceito de *mapemática*, que reúne em uma mesma abordagem espaço-tempo, a cartografia temática e a análise espacial aplicada em SIG. Tomou-se como universo de ensaio, a epidemia de dengue ocorrida em 2001 no noroeste do Estado de São Paulo, que infectou a população de municípios da mesoregião de São José do Rio Preto, cujos contextos espacial e epidemiológico, serviram de objeto para a experimentação do procedimento metodológico aqui proposto. Em síntese, o procedimento adotado baseia-se na fusão de dois paradigmas de investigação espacial: a modelagem do *espaço da epidemia* em objetos exatos e campos contínuos e a modelagem *do tempo da epidemia* nas dimensões escalares monotemporal e multitemporal.

Estas categorias espaço-tempo são combinadas entre si, gerando-se quatro níveis de análise espacial e construção de mapas epidemiológicos. No nível *monotemporal-objeto*, os mapas elucidam a espacialidade da epidemia, evidenciando clusters, contágios espaciais entre municípios e anomalias locais de incidência. No nível *multitemporal-objeto*, utilizando-se sequenciamento cartotemporal, os mapas mostram a dinâmica espacial dos casos por municípios, segundo as categorias *casos novos*, *casos mantidos* e *casos extintos* durante a evolução da epidemia. Já na categoria *monotemporal-campo*, a epidemia é abordada em modelos digitais isopléticos, sem a segmentação do espaço em limites municipais, evidenciando a forma e a orientação preferencial de manchas na forma de nuvens de probabilidade de incidência da doença. Ainda sob esta categoria espaço-tempo, são construídos mapas de superfícies de mostrando a regionalização da epidemia, desprezando-se as variações locais e elucidando-se tendências predominantes em escalas menores. Na categoria *multitemporal-campos*, é estudada a difusão espacial da epidemia em seqüências isopléticas espaço-tempo, e sintetizadas em mapas de vetores de mobilidade espacial do centro geográfico da epidemia.

A fase final e sintética do procedimento apresentado trata-se da análise da difusão espacial da epidemia segundo o *modelo de redes geográficas*. Nesta etapa da investigação, são construídos mapas de nodalidade e de potencial de contágio entre núcleos urbanos por via rodoviária, adotando-se como referência modelos clássicos de acessibilidade e hierarquia urbana. O do procedimento inclui ainda, a análise estatística baseada na *cartografia de probabilidades*, seguindo-se os modelos de Poisson e Lambert-Gauss, e a *análise comparativa* entre mapas de indicadores da epidemia e mapas de indicadores socioeconômicos, buscando-se esclarecer, possíveis associações e correlações entre incidência de casos e variáveis demográficas e urbanas de municípios afetados pela enfermidade.

ABSTRACT

This study presents a methodology for cartographic modeling and regional analysis of dengue fever epidemics, based on spatial analysis techniques and geographical information system. Data from 109 counties organized in epidemiological weeks about a dengue fever epidemic occurred in 2001 in northwest of Sao Paulo state, were used to map incidence and spatial diffusion of cases. The methodology is based on a five levels approach: four levels, adding exact objects/continuous fields models and single/multiple times slices sequences, and a fifth level, based in network analysis of counties connection and disease probabilities mapping. At *single time scale/exacts objects* level, county clusters, spatial contagious of counties and local incidence rates were mapped. At *multiple time scale/exacts objects* level, spatial dynamics of the cases it was mapped in spatio-time sequencing model. Using the *single time/continuous field* level isoplethic and tendency surface maps it was produced. At the *multiple times/continuous field* level, spatial diffusion maps and spatial-time mobility of mean geographical center of dengue epidemics it were designed using a sequential maps model. At the last level of methodology, urban nodes connection are spatially analyzed using network road analysis techniques, to map potential of contagious between counties, spatial dispersion of epidemics between counties and the spread path of dengue over region as a whole.

Key Words – Cartographic Modeling; Spatial Analysis; GIS; Thematic Maps; Disease Maps; Dengue Fever; Medical Geography; Health Data; Epidemics.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Objetivos, Elementos Motivadores da Pesquisa e Hipóteses de Trabalho....	7
3. As Epidemias de Dengue: Conceituação, Caracterização e Expressão Espacial.....	9
4. Pressupostos Teóricos e Bases Metodológicas da Pesquisa.....	18
4.1. As Abordagens Corológica e Espacial na Geografia: Em Busca dos Paradigmas da Análise Espacial.....	18
4.2. Modelos e Paradigmas da Informação Geográfica.....	26
4.3. O Modelo de Redes Geográficas.....	31
4.4. A Lógica Fuzzy.....	34
4.5. Sistemas de Informação Geográfica: Instância Experimental da Análise Espacial.....	37
4.6. Estrutura Para Codificação de Mapas em SIG.....	44
4.6.1. Estrutura Raster.....	44
4.6.1.1. Mapas Contínuos em Formato Matricial.....	45
4.6.1.2. Mapas Discretizados em Formato Matricial.....	46
4.6.2. Estrutura Vetorial.....	50
4.6.2.1. Modelo Spaghetti.....	50
4.6.2.2. Estrutura Topológica.....	51
4.6.2.3. Modelo de Rede Triangulada Irregular.....	52
4.7. Funções de Análise Espacial para Sistemas de Informação Geográfica.....	54
4.8. Os Fundamentos Teóricos da Cartografia para Espacialização de Dados de Saúde.....	61
4.8.1. Os Níveis de Mensuração dos Dados	63
4.8.2. As Implantações Gráficas em Mapas.....	65

4.8.3. As Variáveis Visuais Associadas às Implantações Geométricas: A Gramática Gráfica.....	66
4.8.4. Sistemas de Referência Locacional para Mapas.....	73
4.8.4.1. Sistemas de Referência Empírica.....	73
4.8.4.2. Sistemas de Referência Analítico-Geométricos.....	75
4.8.5. Projeções de Mapas.....	81
4.8.5.1. Projeções Azimutais.....	84
4.8.5.2. Projeções Cilíndricas.....	89
4.8.5.3. Projeção Universal Transversa de Mercator.....	92
4.8.5.4. Projeções Cônicas.....	94
4.9. Métodos e Técnicas de Análise Espacial para Dados de Saúde.....	97
5. Proposição Metodológica para Modelagem Cartográfica e Análise Espacial da Epidemia de Dengue: Aplicação à Mesoregião de São José do Rio Preto – SP.....	
5.1. À Abordagem do Problema.....	105
5.2. Organização da Base de Dados Espaciais e Epidemiológicos.....	105
5.3. Os Métodos Baseados em Modelos de Objetos.....	109
5.4. Os Métodos Baseados em Modelos de Campos Contínuos.....	113
5.5. Os Mapas de Probabilidades.....	115
5.6. O Método das Redes Geográficas.....	116
6. Mapas Monotemporais da Epidemia de Dengue Baseados em Modelos de Objetos.....	117
7. Mapas Multitemporais da Epidemia de Dengue Baseados em Modelos de Objetos.....	131
7.1. Abordagens Topológicas Espaço-Tempo.....	131
7.2. Seqüências Coropléticas de Dados Parciais.....	134
7.3. Seqüências Coropléticas de Dados Totais.....	137
7.4. Síntese de Seqüências Cartográficas em Vetores Espaço-Tempo.....	140
7.5. Mapas de Velocidade Média de Contágio.....	144

8. Mapas Monotemporais da Epidemia de Dengue Baseados em Modelos de Campos.....	148
8.1. Mapas Isopléticos Monotemporais.....	148
8.2. Mapas de Superfícies de Tendência.....	151
9. Mapas Multitemporais da Epidemia de Dengue Baseados em Modelos de Campos Contínuos.....	155
9.1. Sequenciamento Espaço-Tempo de Mapas Isopléticos.....	155
9.2. Centro Geográfico Ponderado e Raio Padrão.....	159
10. Mapas da Epidemia de Dengue Baseados em Métodos de Análise de Redes Geográficas.....	163
11. Mapas da Epidemia de Dengue Baseados em Distribuições de Probabilidade.....	176
11.1. – Mapas Baseados na Distribuição de Poisson.....	177
11.2. – Mapas Baseados na Distribuição de Laplace-Gauss.....	187
12. Análise Comparativa Entre Mapas da Epidemia de Dengue com Outros Mapas Temáticos.....	193
12.1. – Métodos para Análise Comparativa entre Mapas.....	194
12.1.1. – Coeficiente de Correspondência Areal.....	196
12.1.2. - Correlação Entre Mapas pelo Método de Pearson.....	202
Conclusões.....	210
Referências Bibliográficas.....	214
Anexo 1.....	226
Anexo 2.....	228
Anexo 3.....	230

LISTA DE FIGURAS

4.1 – Representação gráfica espacial em implantação pontual quantitativa, do coeficiente de incidência de casos de dengue.....	67
4.2 – Representação gráfica espacial em implantação pontual qualitativa dos tipos de equipamentos de saúde existentes em uma cidade.....	68
4.3 – Representação gráfica espacial em implantação linear quantitativa, do fluxo viário em ruas.....	69
4.4 – Representação gráfica espacial em implantação linear qualitativa dos diferentes equipamentos públicos de transporte.....	70
4.5 - Representação gráfica espacial em implantação zonal quantitativa da renda per capita por bairro do espaço urbano.....	71
4.6 - Representação gráfica espacial em implantação zonal do uso do solo urbano.....	76
4.7 – Sistemas de referenciamento esférico e ortogonal.....	77
4.8 – Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Azimutal Eqüidistante: centro na interseção do meridiano de Greenwich com a linha do equador.....	84
4.9 – Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Ortográfica.....	85
4.10 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Estereográfica.....	86
4.11 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Gnomônica.....	87
4.12 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cilíndrica Eqüivalente.....	90
4.13 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cilíndrica de Mercator.....	91
4.14 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cônica	

Conforme de Lambert.....	95
4.15 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cônica Eqüivalente de Albers.....	96
5.1 – Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.....	107
5.2 – Localização das sedes administrativas da mesoregião de São José do Rio Preto – SP.....	108
5.3 – Limites dos municípios da mesoregião de São José do Rio Preto.....	110
6.1 – Mapa da incidência de casos de dengue classificado pelo método dos intervalos iguais.....	121
6.2 - Mapa da incidência de casos de dengue classificado pelo método da frequência constante de unidades geográficas.....	123
6.3 - Mapa da incidência de casos de dengue classificado pelo método das rupturas naturais do histograma (RNH).....	125
6.4 – Mapa binário da ocorrência de casos de dengue por município em 2001.....	127
6.5 - Mapa da incidência de casos de dengue classificado pelo método da média e do desvio padrão.....	129
7.1 – Número de casos de dengue notificados na mesoregião de São José do Rio Preto – SP, de janeiro a julho de 2001 – Fonte: CVE- 2002.....	133
7.2 – Sequenciamento carto-temporal binário da epidemia de dengue.....	136
7.3 – Sequenciamento carto-temporal evolutivo da epidemia de dengue baseado na dinâmica dos casos novos, casos mantidos e casos extintos por município.....	138
7.4 – Mapa dos vetores de difusão espaço-tempo da epidemia de dengue, baseado na contiguidade espacial entre quadrissemanas consecutivas.....	141
7.5 – Mapa da rede de conexões espaço-tempo e malhas de autocorrelação da epidemia de dengue, com base nas seis primeiras quadrissemanas de 2001.....	143

7.6 – Curvas de velocidade de contágio por dengue baseadas na frequência acumulada de casos por 10.000 habitantes, para seis municípios da mesoregião de São José do Rio Preto – SP.....	145
7.7 – Mapa da velocidade média de contaminação por dengue, por município em 2001.....	148
8.1 – Mapa isoplético monotemporal da incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes, por município em 2001.....	150
8.2 – Sobreposição do modelo de objetos (limites administrativos) ao mapa isoplético monotemporal.....	150
8.3 – Mapas de superfícies de tendência linear, quadrática e cúbica para os dados de incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes nas seis primeiras quadrissemanas de 2001.....	153
9.1 – Seqüência isoplética espaço-tempo da incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes nas seis primeiras quadrissemanas de 2001.....	156
9.2 – Mapa dos vetores de mobilidade espacial e da posição do centro geográfico da epidemia de dengue nas seis primeiras quadrissemanas de 2001.....	161
10.1 – Mapa de localização dos núcleos urbanos (nós) em relação à rede viária pavimentada da mesoregião de São José do Rio Preto.....	165
10.2 – Mapa da rede irregular triangulada (TIN) de contágio potencial entre núcleos urbanos que apresentaram casos de dengue em 2001.....	166
10.3 – Mapa do índice de nodalidade dos núcleos urbanos segundo o número de conexões realizadas em rede viária.....	168
10.4 – Mapa do índice de potencial de contágio entre núcleos urbanos (IPC).....	171
10.5 – Mapa do índice de potencial de contágio ajustado ao núcleo urbano, baseado na soma ponderada dos valores do IPC.....	173
10.6 – Mapa das zonas de suscetibilidade ao contágio populacional, baseado	

na nodalidade e no potencial de contágio ajustado.....	174
11.1 – Mapa da probabilidade de incidência de casos de dengue por município pelo modelo de Poisson, para dados da segunda quadrissemana de 2001.....	181
11.2 – Mapa da incidência relativa de casos de dengue por município da mesoregião de São José do Rio Preto, com referência à média esperada para o Brasil.....	186
11.3 – Mapa de probabilidade de incidência de casos de dengue por município pelo modelo de Laplace-Gauss, baseado em dados de 2001.....	190
12.1 - Mapa da associação entre a velocidade positiva de contágio e a taxa geométrica de crescimento populacional entre 1990 e 2000.....	199
12.2 – Mapa da associação entre a ocorrência de casos de dengue no ano de 2001 e a taxa geométrica de crescimento populacional do município entre 1990 e 2000.....	200
12.3 – Mapa do número total de domicílios coletivos e improvisados na área urbana em 2000. (Fonte: adaptado de dados primários fornecidos pelo SEADE, 2003).....	203
12.4 – Mapa da população residente na área urbana em 2000. (Fonte: adaptado de dados primários fornecidos pelo SEADE, 2003).....	204
12.5 – Mapa do rendimento médio mensal per capita por município em 2000. (Fonte: adaptado de dados primários fornecidos pelo SEADE, 2003)....	205

LISTA DE TABELAS

3.1 – Coeficiente de incidência de casos de dengue por unidade ambiental da área urbana de São José do Rio Preto – SP, entre janeiro e julho de 1995 (Fonte: Costa & Natal, 1998).....	16
4.1 – Valores do raio equatorial e raio polar de alguns elipsóides e suas respectivas regiões onde são utilizados para mapeamento (Fonte ESRI, 1993).....	80
6.1 – Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos à cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, utilizando-se a técnica de classificação em intervalos iguais.....	119
6.2 - Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos à cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, segundo a técnica da frequência constante de unidades geográficas por classe.....	120
6.3 - Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos à cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, segundo a técnica da ruptura natural do diagrama de frequência acumulada da série de observações.....	124
6.4 - Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos à cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, segundo a técnica de classificação binária.....	126
6.5 - Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos à cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, segundo a técnica da média e do desvio padrão.....	128
7.1 – Total de municípios com casos novos contíguos a municípios com casos notificados em quadrissemana anterior e a taxa de contágio espacial correspondente.....	139

8.1 – Parâmetros estatísticos referentes às superfícies de tendência geradas para os dados de incidência de dengue por 10.000 habitantes, mesoregião de São José do Rio Preto.....	152
9.1 – Percentual em área ocupada por superfície situada entre isovalores de incidência de dengue, em relação à área total da mesoregião, segundo a quadrissemana.....	158
9.2 – Valores das coordenadas do centro geográfico na projeção policônica de Lambert, valores do do raio padrão e da velocidade de dispersão, estimados para as sete quadrissemanas da epidemia de dengue.....	158
11.1 – Valores dos parâmetros X , λ e p da distribuição de Poisson para os municípios que apresentaram ao menos um caso de dengue na segunda quadrissemana de 2001.....	179
11.2 – Valores da média de incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes para a mesoregião de São José do Rio Preto, o Estado de São Paulo, o Brasil e o Mundo em 2001.....	183
11.3 – Valores dos parâmetros da distribuição de Poisson para os municípios com incidência mais significativa na mesoregião de São José do Rio Preto e para diferentes outras escalas geográficas da dengue.....	185
11.4 – Valores dos parâmetros da distribuição normal para os dados de incidência de casos de dengue, em dez municípios mais significativos em termos dos valores de p	189
12.1 – Matriz de correspondência areal entre categorias binárias do mapa de taxa geométrica de crescimento populacional (TGC) e o mapa de velocidade média de contágio da dengue (VMC) por quadrissemana, em números de municípios.....	197
12.2 – Matriz de correspondência areal entre o mapa da taxa geométrica de crescimento populacional entre 1991 e 2000 (TGC) e o mapa dos municípios com ao menos um caso de dengue notificado.....	201

12.3 – Valores dos coeficientes de regressão (r) pelo método de Pearson, entre os mapas de índices epidemiológicos da dengue e de índices socioeconômicos.....	206
--	-----

LISTA DE QUADROS

3.1 – Datas relativas ao surgimento das primeiras epidemias de dengue e regiões ou países respectivamente afetados.....	10
3.2 – Relação das variáveis associadas a macrodeterminantes sociais de risco à dengue.....	15
4.1 – Sub-níveis de mensuração da informação geográfica utilizados em mapas discretizados no formato matricial. (Fonte: adaptado de Muehrcke, 1986).....	48
4.2 – Principais características e propriedade espacial preservada segundo família de projeções cartográficas (adaptado de Muehrcke, 1986; Gersmel, 1991 e ESRI (1993)).....	83
4.3 – Principais características e aplicações mais relevantes das projeções azimutais.....	88
12.1 – Relação dos mapas de índices epidemiológicos utilizados na fase de análise comparativa entre mapas.....	193

1.

INTRODUÇÃO

O recente crescimento do número de usuários de sistemas de informação geográfica (SIG) e de mapas, tanto no Brasil como em significativa parte do mundo atual, é um indicador de consolidação do paradigma de que vivemos em uma sociedade progressivamente informacional, na qual a obtenção, o gerenciamento e o conhecimento da informação espacial são fatores vitais para sua sobrevivência.

Esta sociedade informacional tem buscado também o domínio da informação territorial, principalmente no momento em que nos envolvemos como partícipes ativos ou passivos do estabelecimento de uma comunidade capitalista cada vez mais desigual e mais globalizada.

É neste contexto mundial que têm surgido sistemas compostos de softwares voltados à análise de informações geográficas. Governos, empresas e instituições de pesquisa têm investido bilhões de dólares no desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de armazenar, gerenciar, e analisar mapas e informações espaciais. O uso e a disponibilização destes sistemas computacionais têm crescido principalmente como resultado da combinação entre três fatores: a expansão dos investimentos em informática, a produção de microprocessadores cada vez mais rápidos e a vertiginosa queda dos preços de microcomputadores e seus periféricos (Antenucci et al., 1991).

O acelerado desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas aos microprocessadores e softwares tem sido continuamente incorporado aos sistemas de informação geográfica, contribuindo para um notável crescimento da comunidade de usuários de informações espaciais.

Devido ao atual perfil eminentemente comercial dos SIG, não tem sido a principal preocupação da comunidade de seus usuários e pesquisadores a

discussão aprofundada sobre conceitos e os paradigmas da análise espacial - a razão máxima e condição primordial da existência dos SIG. Neste momento em que novas metodologias se confundem com novos processadores, novos softwares e novas versões de sistemas; torna-se urgente resgatar os métodos da mapemática (integração entre a cartografia temática e as funções de análise espacial para SIG) tão difundidos como fragmentados em disciplinas geográficas diversas.

A cartografia temática, um poderoso e insubstituível instrumento geográfico para a comunicação de informações espaciais, teve na semiologia gráfica seu apogeu metodológico. Aprofundou-se a cartografia temática na sistematização da linguagem gráfica para a eficiente comunicação de informações geográficas em mapas. Preocupando-se como devia com a semiologia gráfica, a leitura crítica do mapa e os signos representativos de informações geográficas, ocultou-se a cartografia temática na hercúlea e insubstituível tarefa de ser dicionário de símbolos e gramática gráfica de eventos geográficos

A disponibilidade de novas tecnologias capazes de fomentar combinações de mapas em sistema de informação geográfica contribuiu para o início de uma reflexão crítica sobre a necessidade de novas metodologias cartográficas. No momento em que se integrou a softwares e se transformou em cartografia temática digital, novos horizontes foram prometidos em direção à facilidade de edição de mapas, à atribuição de novas cores, ampliações de escala, à modificação instantânea da espessura dos traços, entre outras facilidades digitais de softwares gráficos.

Entretanto, excetuando-se o avançar didático notado pela parceria entre mapas e fotos, textos, sons ou filmes - permitido pela integração com softwares de multimídia, a cartografia temática não foi beneficiada como poderia da potencialidade das funções de análise espacial disponíveis em SIG. A postura geotecnológica exclusivista e tecnocrata do geoprocessamento ignorou a cartografia temática preexistente, substituindo-a apenas pelo termo georreferenciamento, um dos maiores reducionismos da era dos SIG.

A análise espacial de mapas se apoia em modelos espaciais baseados na associação entre dados e coordenadas espaciais (Chorley, 1972). Desta forma, tanto a localização dos eventos no espaço geográfico como os valores emanados destes eventos, se referem em conjunto a variáveis espaciais.

Fortemente influenciados por pressupostos estatísticos e por modelos matemáticos derivados da geometria analítica, os algoritmos de análise espacial foram rapidamente adaptados a softwares por meio de linguagem computacionais relativamente simples. Por conseguinte, transformar-se em coração de um SIG não foi tarefa difícil. Entretanto, lhes faltava ainda a plástica da representação temática advinda da cartografia e difundida pelos mapas. Produziam-se matrizes numéricas e não mapas temáticos.

Mapas são também imagens. Imagens são formadas por elementos de imagem matricialmente organizados que contêm valores numéricos espacialmente distribuídos. Desta forma, mapas podem ser também campos numéricos, onde as posições e os atributos resultam de uma "reação química" entre outros mapas ou entre elementos de imagem vizinhos em um mesmo mapa. O termo "reação química" é citado aqui como uma analogia ao processo de "reação entre mapas" ou entre células de um mesmo mapa – produzida pela aplicação de funções de análise espacial aos mapas temáticos.

Uma vez que a combinação entre as inúmeras funções de análise espacial produz incontáveis possibilidades transformadoras de mapas, se pode dizer que não existe à luz da mapemática uma tipologia de mapas facilmente classificável. As funções de espacial de mapas podem produzir incontáveis tipos de mapas, atribuindo portanto à cartografia, a propriedade da plasticidade.

Os dados geográficos digitais são fatos da era da informação que significam também, "bits" de informações numerizada (mas não exclusivamente), expressos das mais variadas formas - números cardinais, porcentagens, médias e assim por diante. A informação é o dado acompanhado de explicações, muitas vezes traduzidas nas formas textual (palavras) e gráfica (mapas). Neste sentido se pode

dizer que um mapa digital é a informação espacialmente endereçada em formato gráfico e baseada em dados (bits).

Já o conhecimento é a informação utilizada em um determinado contexto para explicar um fenômeno, enquanto a sabedoria inclui além do dado e a informação, também o tempo e a raridade. A sabedoria é importante porque se necessita de tempo a adquiri-la e não é encontrada com frequência na mídia (Berry, 1993). Em outras palavras, sabedoria e conhecimento contêm ingredientes diferenciais - a criatividade e a disciplina de pesquisa – o que não encontramos nos dados.

Embora a velocidade do crescimento na disponibilidade de dados duplique ou triplique anualmente através da rede mundial de computadores, isto não significa que conhecimento e sabedoria em SIG terão igual desempenho. Sabedoria e conhecimento em SIG provêm também do uso esclarecido das funções de análise espacial em um determinado contexto teórico-metodológico, que vão mais além dos tutoriais e demais estratégias comerciais transformadas atualmente em "metodologias" de pesquisa.

Desde os meados da década de 1960, ambiente dominado pelo paradigma da *numerização* do fato geográfico em detrimento da *visualização* do fato geográfico numerizado - quando a geografia quantitativa inglesa ampliava os conceitos da "matemática de dados espaciais", até o início de século 21, momento em que a visualização do fato geográfico numerizado já é possível e graças a softwares residentes em SIG, os métodos de análise espacial têm sido aplicados com sucesso em diferentes campos do conhecimento geográfico.

Os estudos abrigados sob o termo *ambiental* têm sido os mais beneficiados pela aplicação da análise espacial. Em razão da integração entre os sistemas de desenho digital CAD e os sistemas imageadores remotos de dados terrestres - aglutinados sob o ícone *sensoriamento remoto* – se assistiu ao aparecimento de numerosas pesquisas ambientadas sob as égides de bacias hidrográficas, capacidade de uso do solo, suscetibilidade à erosão, mapeamento geotécnico e poluição dos recursos hídricos; entre dezenas de aplicações da análise espacial.

As pesquisas socioeconômicas, talvez pela refratariedade resultante de algumas posturas quase que messiânicas e contrárias à parceria entre informações sociais e análise espacial em SIG - felizmente só percebidas na Geografia - têm tardiamente incluído o mapa temático digital como um dos documentos de compreensão social do espaço geográfico.

Entre os campos de estudo de base social mais emblemáticos e significativos - seja pela sua abrangência espacial ou pelo conteúdo econômico e social, está a geografia médica, em especial a epidemiologia. Entretanto, o estudo geográfico das doenças epidêmicas tem sido uma seara de pesquisa onde a análise espacial, a cartografia temática e os SIG têm contribuído metodologicamente ainda de forma tímida.

As epidemias têm propriedades espaciais notáveis e complexas, que são responsáveis pela difusão do número de casos de uma doença para outras unidades geográficas ou, pela impedância espacial, que tornam algumas doenças circunscritas a espaços menores na forma endêmica. Os mecanismos que governam a dinâmica espacial das doenças não são tão claros como os diagnósticos dos casos, pois combinam fatores sociais, ambientais, de vizinhança, distância e contiguidade; muitas vezes em um contexto probabilístico.

Não há dúvida que parte do esclarecimento e simplificação da complexidade espacial das epidemias surgiu com a construção da imagem gráfica das doenças na forma de mapas temáticos. Entretanto, a análise destes mapas não pode se reduzir apenas ao paradigma visual da comunicação gráfica. Há a necessidade da fusão entre a linguagem numérica e a linguagem gráfica para a melhor compreensão da distribuição espacial das epidemias.

A mapemática, uma fusão entre as técnicas quantitativas da análise espacial, a cartografia temática e o sistema de informação geográfica, ao mesmo tempo em que cria imagens de quantidades analíticas do espaço geográfico, produz valores numéricos a partir das variáveis visuais do mapa por meio de operações de análise espacial. Novos mapas são produzidos a partir da mudança de estrutura visual de outros mapas que, por conseguinte, gera novos valores

numéricos que podem ser tabulados ou analisados estatisticamente. Em mapemática, a recíproca também é verdadeira, isto é, se dados espaciais têm endereço, têm também, visualidade gráfica.

A geografia médica é um excelente campo de experimentos para a mapemática. Esta afirmação pode ser justificada pelo amplo espectro da base de dados geográficos necessária; a combinação entre séries temporais e séries espaciais para se compreender a evolução das doenças; a multiplicidade de escalas observacionais de incidência de casos de doenças; o caráter espacial da manifestação de novos casos e a necessidade da quantificação relativa da informação.

A mapemática é tomada aqui como um outro olhar mais holístico, se não, pelo menos integrado, unindo a cartografia, ao sistema de informação geográfica e à análise espacial quantitativa. Estas "especialidades" geográficas têm sido vistas como ciências isoladas, com paradigmas e métodos próprios, e porque não, organizadas na fragmentação, em acordo à posturas meramente curriculares. Em verdade, análise espacial (os números no espaço), cartografia temática (a imagem do espaço) e SIG (o software do espaço), são momentos diferentes de uma só abordagem da informação espacial: a mapemática.

2.

OBJETIVOS, ELEMENTOS MOTIVADORES DA PESQUISA E HIPÓTESE

Busca-se neste estudo a sistematização conceitual e metodológica da mapemática a partir da organização dos fragmentos *SIG*, *análise espacial* e *cartografia* em um todo teórico e metodológico e, posteriormente, uma aplicação desta proposta metodológica ao estudo espacial de uma epidemia tropical, tomando-se como campo de experiência a dengue manifestada na região de São José do Rio Preto – SP em 2001.

Esta porção do estado paulista tem sido desde a década passada um dos focos mais significativos e preocupantes de dengue do Brasil. A magnitude do problema pode ser de início confirmada pelo total de casos de dengue notificados de janeiro a julho de 2001 em alguns municípios aí situados. Naquele ano em São José do Rio Preto foram notificados 6416 casos; em Mirassol, 1565; em Olímpia, 772 e em Fernandópolis, 542 casos de dengue (CVE, 2002).

A incidência per capita da epidemia na região, em casos por 10.000 habitantes, foi da mesma forma alarmante. Por exemplo, foi constatado um índice de 356 para Mirassol; 198 para São José do Rio Preto; 172 para Olímpia e 91 casos por 10.000 habitantes para Fernandópolis; para citar apenas os 4 municípios de maior contaminação. O índice mundial é próximo de 12 e o nacional em torno de 14 casos por 10.000 habitantes (Ministério da Saúde, 2003). A dimensão geográfica da epidemia não foi menos incomum, uma vez que em 50,4 % dos municípios da região foi registrado ao menos um caso e no total dos 109 municípios que a compõem foram totalizados 10.676 casos.

Os dados gerais acima citados tornam evidente a necessidade de se estudar a epidemia de dengue à luz da análise espacial, buscando elucidar por meio de mapas temáticos e técnicas analíticas os padrões geográficos da doença, o comportamento da difusão espaço-tempo, as tendências regionais e as probabilidades de ocorrência de casos ao nível municipal.

Além das evidências factuais da problemática epidêmica, outro elemento também motivador deste estudo é a relativa carência na bibliografia nacional de abordagens espaço-analíticas baseadas em dados de saúde, com manifestações cartográficas. Dentre as ciências da saúde pública, a epidemiologia é a que mais afinidades tem com os paradigmas geográficos e porque não, cartográficos. Os princípios espaciais da epidemiologia enfatizam claramente o vínculo geográfico de determinadas doenças, seja pela sua etiologia, como pelas formas e velocidade de difusão e contágio espacial. Isto posto, este estudo busca contextualizar alguns pressupostos da escola espacial da geografia ao mapeamento da epidemia de dengue, associando uma visão cartotemática às funções de análise espacial.

O mote desta pesquisa se apoiou em uma hipótese de trabalho que nos pareceu pertinente e apta a ser condutora desta investigação, por se originar de conteúdos nascidos da escola espacial, evoluídos na análise espacial e na cartografia e sintetizados na mapemática.

HIPÓTESE DE TRABALHO

- A linguagem numérica clássica da análise espacial quando acrescida da linguagem gráfica da cartografia temática e posteriormente processadas conjuntamente em sistema de informação geográfica - ao que se denomina de mapemática - se constitui em uma metodologia eficiente para análise espacial e cartografia de epidemias, em especial da epidemia de dengue.

4.

AS EPIDEMIAS DE DENGUE: CONCEITUAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E EXPRESSÃO ESPACIAL

Nas últimas décadas a dengue tem se tornado um dos mais significantes e dramáticos problemas de saúde pública mundial. Dados de 1995 indicavam que a distribuição espacial da ocorrência de dengue ao nível global podia ser comparada à da malária, estimando-se ainda que, mais de 2 bilhões de pessoas residiam em áreas de risco de transmissão da epidemia (Gubler & Clark, 1995).

Devido a sua circulação pelos cinco continentes e ao grande potencial para causar formas graves e letais, no mundo todo cerca de 3 milhões de pessoas foram infectadas pela doença no período de 1955 a 1995, sendo registradas 58.000 mortes neste mesmo período, (Teixeira, 2001; Halstead, 1997). No Brasil, a situação é igualmente preocupante, pois mais de 1,8 milhões de casos foram notificados até o final da década passada, com um pico de 570.148 casos em 1998 (Schatzmayr, 2000).

A dengue é uma doença urbana predominantemente tropical cujo vírus causador, se mantém em um ciclo envolvendo o homem e o *Aedes aegypti*, um mosquito de hábitos diurnos que se alimenta de sangue humano. Tanto a dengue como a dengue hemorrágica, são causadas por um entre quatro vírus distintos - DEN-1, DEN-2, DEN-3 e DEN-4, pertencentes ao gênero *Flavírus* (Gubler, 1988). Caracterizada como um tipo de arbovirose tropical, a dengue se tornou um grave problema de saúde pública também no Brasil. Sua transmissão é essencialmente urbana, ambiente no qual se encontram todos os fatores fundamentais para sua ocorrência: o homem, o vírus, o vetor e principalmente e as condições políticas, econômicas e culturais que formam a cadeia de transmissão (Marzochi, 1984, citado em Costa & Natal, 1998, p. 233).

Os primeiros casos relatados na história mundial datam de 1779 e 1780, cuja ocorrência foi registrada na Ásia, África e América do Norte (Gubler & Clark,

1995). No Brasil a dengue foi primeiramente reconhecida em 1923 na cidade de Niterói – RJ, sendo que o mosquito foi erradicado pelas autoridades brasileiras de saúde na década de 1950 (Nogueira et al. 1999).

As epidemias globais de dengue surgem entre longos intervalos de tempo – de 10 e 40 anos, sendo que a última grande epidemia se iniciou no sudoeste asiático após a 2ª Guerra Mundial e se intensificou principalmente a partir de 1980 (Halstead, 1992). No Brasil a reincidência da doença teve destaque em 1975 no Estado da Bahia e em 1977 no Estado do Rio de Janeiro, proveniente do México e de países da América Central (Scharzmayr, 2000).

A espacialidade da dengue está vinculada essencialmente a elementos globais do clima, sendo transmissível predominantemente em países situados nos domínios intertropicais do mundo, embora casos isolados já tenham sido registrados no sul do Texas (EUA) em 1980 e 1986 (Gubler, 1993). A evolução dos ciclos epidêmicos durante o século XX mostrou este vínculo da epidemia com as baixas latitudes. O Quadro 3.1 mostra a evolução espaço-temporal das epidemias de dengue no mundo, identificando os instantes de tempo e os respectivos espaços onde ela se manifestou.

Quadro 3.1 – Datas relativas ao surgimento das primeiras epidemias de dengue e regiões ou países respectivamente afetados. Fonte: adaptado de Gubler & Clark (1995)

Data da Primeira Epidemia	Regiões e Países Afetados
1950	Sudoeste Asiático
1960	América Central e Caribe
1970	Colômbia e Porto Rico
1977	Brasil, Ilhas Seychelles
1980	China e Taiwan e Sri Lanka
1982	Kenya e Somália
1985	Moçambique
1990	Singapura
1994	Nicarágua, Paquistão
1995	Panamá, Costa Rica, Venezuela e Guianas

Desde 1981 têm ocorrido diversas epidemias de dengue no Brasil. O caso clássico de espaço onde a epidemia de dengue tem encontrado situação extremamente favorável para a expansão - confirmada tanto pela área infectada como pelo número de pessoas infectadas, é a região metropolitana do Rio de Janeiro. Nogueira et al. (1999) exemplificam esta situação citando o caso do município de Nova Iguaçu, sede de grande epidemia ocorrida em 1986:

(...) "Trata-se de uma cidade suburbana como predomínio de famílias de baixa renda localizada a 25 km do centro da cidade do Rio de Janeiro, com grande contingente populacional que circula diariamente para áreas vizinhas facilitando o rápido espalhamento do vírus DEN-1 para outras populações suscetíveis do Grande Rio, tais como Nilópolis, São João do Meriti, Niterói e Duque de Caxias, o que causou uma explosão epidêmica de 95.000 casos entre 1986 e 1987 (p.298)".

As dimensões espaciais das epidemias de dengue no Rio de Janeiro tomaram proporções mais preocupantes a partir do início dos anos 90, quando já eram registrados mais de 140 mil casos (1990 a 1991) e 50 mil casos em 1995 (Secretaria de Saúde do Estado do Rio de Janeiro, 1998). Se até 1997 os focos epidêmicos estavam circunscritos à região metropolitana do Rio de Janeiro, em 1998 se constatou uma primeira difusão espacial intermunicipal abrangendo novos municípios situados fora da região metropolitana, conforme relata Nogueira et al. (1999):

"(...) em janeiro de 1998, uma nova epidemia atinge a região do médio vale do Paraíba afetando principalmente os municípios de Pinheiral, Barra do Pirai, Barra Mansa e Volta Redonda. A epidemia se espalhou rapidamente para outros municípios do estado e atingiu até a área turística da costa nordeste do Rio de Janeiro, incluindo os municípios de Búzios, Araruama e Iguaba (p. 298 e 299)"

Os relatos indicam que a região metropolitana do Rio de Janeiro tem se comportado como foco epidêmico dispersor da doença, constituindo-se em habitat preferencial do mosquito. A difusão espacial para outros espaços iniciada a partir deste núcleo se deu principalmente em razão da migração diária de trabalhadores entre diferentes municípios do grande Rio, e em situações extremas, através da circulação por via rodoviária que atingiu inclusive localidades situadas no interior do estado.

A concentração locacional do maior número de casos da doença está relacionada a fatores socioespaciais de natureza econômica. Estudos realizados no Rio de Janeiro com base em dados de 1990 a 1998 têm confirmado esta afirmativa, como revela Nogueira et al. (1999):

"(...) Oitenta por cento da população do estado está concentrada na grande área metropolitana, causando conflitos e pressões sociais intensos, uma vez que o crescimento econômico não tem atingido as expectativas da população local. Os maiores problemas incluem a carência de serviços e de infraestrutura urbana, o aumento no déficit habitacional – marcado pela expansão de habitações de baixo padrão e favelas, além da degradação ambiental. Todos estes fatores têm contribuído para que a região metropolitana do Rio de Janeiro tenha apresentado uma alta incidência de casos de dengue em relação ao estado (p. 301)".

O mesmo estudo confirma o papel da rede rodoviária na difusão espacial das epidemias de dengue pelo país, destacando a facilidade com que os vírus infectam populações situadas em locais distantes do foco epidêmico. Esta dispersão é acelerada em razão do contato entre pessoas sadias em viagem e doentes infectados, ou pelo transporte de mosquitos e ovos agregados à mercadorias e às cargas. O ministério da saúde tem veiculado informações que corroboram esta afirmativa, citadas por Nogueira et al. (1999):

"(..) A cidade do Rio de Janeiro é um centro turístico importante, principalmente durante os meses de verão, o que facilitou o espalhamento dos vírus DEN-1 e DEN-

2 para outros estados do Brasil em 1986 e 1990. A dispersão dos vírus ocorreu ao longo das maiores rodovias que ligam o estado do Rio de Janeiro a várias outras áreas urbanas do país (...). Como o Rio de Janeiro é uma cidade portuária e com um grande contingente humano circulando através do aeroporto internacional, estes fatores têm contribuído também para a que a cidade seja uma das portas de entrada de vírus da dengue no Brasil (p.302 e 303).

A cidade de Salvador foi sede de importante onda epidêmica de dengue em 1995 e 1996, quando foram confirmados respectivamente, 15.458 e 10.998 casos da doença, sendo a taxa de incidência estimada em 69,1 casos por 10.000 habitantes em 1995 e 39,3 casos por 10.000 habitantes em 1996. (Teixeira et al. 2001). Todas as epidemias ocorridas na cidade mostraram que a incidência é maior entre as pessoas com idade acima dos 15 anos. Esta situação é comum a todo o Brasil, confirmada também no Rio de Janeiro, em Fortaleza e em São Luís. Entretanto, no sudeste asiático a situação se inverte, ocorrendo maior incidência em crianças.

As ondas epidêmicas ocorridas na capital baiana "se iniciaram no mês de dezembro, sugerindo que a circulação viral está estreitamente relacionada com o início da estação mais quente do ano e que a transmissão do agente pode ter sido iniciada meses antes de ser detectada pela vigilância epidemiológica" (Teixeira et al., 2001, p. 273). O mesmo estudo revelou que as ondas epidêmicas afetaram mais os bairros de maior densidade populacional de Salvador, onde se concentra a grande parte da população carente da cidade.

Além de Salvador, outras cidades do nordeste brasileiro têm sofrido sucessivas ondas epidêmicas de dengue nas décadas de 1980 e 1990. Entre 1986 e 1996, Fortaleza foi sede de três epidemias com intervalos de dois anos, acumulando um total de 102.010 casos no período (Araújo et al. 1996, apud Cunha et al. 1998). Isto contribuiu para que o Estado do Ceará assumisse a condição de segundo estado mais infectado da federação na década passada. A título de exemplo, no ano de 1993, 84% dos casos de dengue ocorridos no Brasil

ocorreram no Ceará (Araújo et al., 1996). Similarmente ao caso de Salvador, a explosão epidêmica ocorrida na década de 1990 em Fortaleza foi sempre impulsionada pela chegada da estação chuvosa e o aumento das temperaturas médias para a casa dos 28°C (Cunha et al. 1998).

O Estado de São Paulo também tem sido lugar de importantes surtos epidêmicos de dengue, principalmente em cidades localizadas no interior. Dados recentes mostram que mais de 40% dos casos de dengue ocorridos no estado se manifestaram em cidades do interior paulista com mais de 100.000 habitantes (Costa & Natal, 1998). Este padrão espacial e demográfico mostra a particularidade da geografia da dengue em São Paulo, se comparada ao Rio de Janeiro, ao Ceará e à Bahia, onde a incidência maior se dá nas regiões metropolitanas.

Os centros urbanos situados no interior de São Paulo são em geral "pólos regionais de desenvolvimento geradores de um fluxo populacional que pode representar um fator de difusão de dengue (...) esse fato confere a tais centros uma grande importância estratégica no combate à dengue" (Costa & Natal, 1998, p. 233). Um exemplo deste tipo de urbanidade é a cidade de São José do Rio Preto, situada na região noroeste do Estado de São Paulo.

Com uma população próxima aos 400 mil habitantes, esta área urbana tem sido local de várias epidemias desde a década de 1990, sendo que a ocorrida em 2001 atingiu mais de 6.000 casos notificados (CVE, 2002). Esta localidade foi estudada por Costa & Natal (1998) com o objetivo de se avaliar o papel dos determinantes socioeconômicos na distribuição espacial intraurbana dos casos de dengue.

A cidade foi subdividida em unidades ambientais agregadas por setores censitários, utilizando-se o método epidemiológico do "estudo ecológico" (Almeida Filho & Rouquayrol, 1990). À luz desta abordagem, a incidência de dengue é analisada em "áreas geográficas delimitadas, sendo a definição das mesmas, feita em função de um conjunto de variáveis consideradas de risco para a dengue" (Costa & Natal, 1998, p. 233). As variáveis de risco para a epidemia foram

definidas pela Organização Panamericana de Saúde (OPAS, 1991) e denominadas de macrodeterminantes sociais da dengue. O Quadro 3.2 contendo as 19 variáveis de risco para a dengue é apresentado a seguir.

Quadro 3.2 – Relação das variáveis associadas a macrodeterminantes sociais de risco à dengue. Fonte: adaptado de Costa & Natal (1998).

Variável	Especificação
ABAST	% de domicílios com canalização de água interna
SANIT	% de domicílios com ligação sanitária à rede geral
DOMPRO	% de domicílios de propriedade do chefe da família
LIXO	% de domicílios com coleta direta de lixo
MORDOM	Número médio de moradores por domicílio
MORCOM	Número médio de moradores por cômodo
ANALF	% de chefes analfabetos ou com até 1 ano de instrução
AL1A7	% de chefes com primeiro grau incompleto
AL8A10	% de chefes com segundo grau incompleto
AL11A14	% de chefes com segundo grau completo e superior incompleto
ALSUP	% de chefes com curso superior completo
R_1SM	% de chefes com renda menor que um salário mínimo
R1_3SM	% de chefes com renda entre um e três salários mínimos
R3_5SM	% de chefes com renda entre três e cinco salários mínimos
R5_10SM	% de chefes com renda entre cinco e dez salários mínimos
R10_15SM	% de chefes com renda dez e quinze salários mínimos
R_15SM	% de chefes com renda acima de quinze salários mínimos
R_MED	Renda média nominal do chefe
DOMQUA	Número de domicílios por quadra

As variáveis relacionadas no Quadro 3.2 foram utilizadas por Costa & Natal (1998) para a delimitação de unidades ambientais urbanas, para as quais foram calculados os coeficientes de incidência (CI) de casos de dengue (casos por 10.000

habitantes) relativos à epidemia ocorrida de janeiro a julho de 1995, por unidade ecológica da cidade,

Três unidades foram identificadas na área urbana de São José do Rio Preto. A Unidade 1 se compõe de setores onde os moradores possuem renda mais elevada e maior nível de escolaridade; a Unidade 2 é intermediária às outras duas, sendo composta por setores onde há a predominância de renda intermediária e nível médio de escolaridade; e a Unidade 3, onde predominam setores ocupados por moradores de baixa renda e baixo nível de escolaridade. A Tabela 3.1 apresenta os valores do CI para cada uma das unidades descritas.

Tabela 3.1 – Coeficiente de incidência de casos de dengue (CI) por unidade ambiental da área urbana de São José do Rio Preto, entre janeiro e julho de 1995.

Fonte : Costa & Natal (1998).

Unidade	Casos de Dengue	População	CI
1	38	28.200	13,48
2	220	103.595	21,24
3	948	166.571	56,91
TOTAL	1.206	298.366	40,42

Os dados confirmam que a incidência de casos de dengue é maior onde são piores as condições socioespaciais da população urbana, revelando que nestes locais o risco de se contrair a doença é maior se comparado às demais unidades da cidade. Os resultados apresentados acima estão de acordo com os resultados obtidos por Pontes (1992) para a cidade de Ribeirão Preto – SP.

O estudo de Costa & Natal (1998) mostrou por meio de análise de regressão linear que, dentre as variáveis socioeconômicas apresentadas no Quadro 3.2, as variáveis LIXO - percentual de domicílios com coleta direta de lixo ($r=-0,596$) e SANIT - percentual de domicílios com ligação sanitária na rede ($r=-0,437$) foram as

que apresentaram associações mais significativas com o coeficiente de incidência de casos de dengue para a área urbana de São José do Rio Preto.

4.

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS E BASES METODOLÓGICAS DA PESQUISA

4.1 - AS ABORDAGENS COROLÓGICA E ESPACIAL NA GEOGRAFIA: EM BUSCA DOS PARADIGMAS DA ANÁLISE ESPACIAL

A geografia contemporânea tem reservado à análise espacial o sinônimo de um conjunto de técnicas de manipulação de dados espaciais, amplamente influenciado pela estatística. O vislumbrar desta temática por alguns geógrafos brasileiros estritamente pelo seu lado mais numérico impossibilita o descortínio das bases teórico-metodológicas que prescindiram o atual desenvolvimento da abordagem espacial, implementada agora no formato de softwares, em alguns sistemas de informação geográfica.

Por isto, buscar as origens e o arcabouço do pensamento espacial na Geografia é tarefa fundamental neste momento, já que as pesquisas contemporâneas que adotam instrumentais geotecnológicos têm tentado mostrar equivocadamente que o SIG nasceu dentro do SIG. Nos parece pertinente aqui evidenciar que as técnicas de análise espacial, disponíveis em um sistema de informação geográfica, foram concebidas sem a necessidade prioritária de computadores – surgiram como produtos da tradição geométrica ou espacial das geografias inglesa e americana, cujo apogeu se deu entre 1950 e 1970.

Os excelentes estudos desenvolvidos por Robert David Sack nos anos 70 do Século XX (Sack, 1973; Sack, 1974a; Sack 1974b), delimitaram com profundidade duas das principais abordagens da ciência geográfica e no interior das quais, podemos encontrar as bases da análise espacial. Está claro que o discurso de Sack tem como palco e também como pano de fundo, um momento de efervescência da Geografia Quantitativa ou Teorética mundial, influenciada muito mais pelas bases filosóficas da física do que apenas pelas quantidades da aritmética. Neste contexto de debates, Sack (1974b) diferencia com propriedade as escolas corológica e

espacial, responsáveis por concepções antagônicas - mas complementares, sobre a natureza das questões geográficas, como "teses e antíteses em uma dialética geográfica" (p.439). Como forma de emblemar resumidamente esta dicotomia, se possível isto fosse, trazemos ao leitor a afirmação do mesmo autor, destacando que "a escola corológica enfatiza a natureza e as relações entre lugares ou regiões específicas e a escola espacial enfatiza o arranjo geométrico de padrões de fenômenos" (p. 440).

Em síntese, distinguem-se estas escolas fundamentalmente pelo fato da primeira apresentar conotações ideográficas, enquanto a segunda, tem um apelo claramente nomotético - e por que não, cartográfico. Neste estágio da contextualização metodológica podemos em um primeiro instante, supor que o SIG descende da escola espacial.

O pensamento corológico se baseia no conhecimento da Terra por meio do método geográfico de diferenciação e integração areal, cujas bases e conceitos foram primeiramente formulados por Hartshorne (1939). Nasce neste contexto, as concepções de *região específica*, *área* e *lugar*, justificadas pela desigualdade na distribuição dos objetos pela superfície terrestre.

O ponto de vista da corologia, à luz de Hartshorne, sugere "descrições das características de uma região específica (...) sintetizadas a partir de seus componentes e suas relações (...) por meio da combinação entre fenômenos interrelacionados" (Sack, 1974 b, p.441). Frutos desta escola são as pesquisas geográficas balizadas pelos *estudos de caso*, realizadas com muita frequência na geografia brasileira dos anos 60 a 80 do século XX.

A escola espacial, cujos prenúncios já estavam na obra de Schaefer (1953), se contrapõe à escola corológica quanto ao método de abordagem do espaço geográfico. O pensamento espacial estabelece que "o geógrafo deve prestar atenção destacada ao arranjo espacial do fenômeno geográfico e não ao fenômeno em si" (Sack, 1974 b, p.447), revelando que o estudo do *onde* - a distribuição espacial dos fenômenos - é o objetivo central da escola espacial. Tal asserção

destaca a importância do geométrico na geografia e por conseguinte, do mapa, cuja estrutura é também, geométrica.

Para Coffey (1981) a essência do paradigma geométrico da escola espacial reside no fato de que:

“O espaço, no seu significado métrico e Euclidiano, parece influenciar a distribuição dos fenômenos e das propriedades não-espaciais (...). As propriedades espaciais, como a localização de qualquer fenômeno, podem existir independentemente das propriedades não espaciais, mas são certamente, influenciadas pelas propriedades não espaciais. (...) A natureza ou a intensidade das propriedades não espaciais, são por sua vez, influenciadas pela localização absoluta ou pela localização relativa (p.37)”

As propriedades não espaciais incluem as características locais ou variáveis geográficas, tais como o clima, a demografia, o relevo, a economia, entre outros. Já as espaciais são essencialmente geométricas, tais como a distância e a posição, por exemplo. Ao propor o termo *separatismo espacial* para designar uma das visões de destaque na escola espacial, Sack (1974b) argumentou que segundo esta corrente de pensamento geométrico da Geografia, é possível identificar, separar e avaliar os efeitos das propriedades espaciais como fenômenos independentes e examina-los à luz da análise espacial.

Sack (1974a) destaca que no escopo da escola espacial, a *posição* é argumento empírico para a formulação de perguntas de natureza espacial, cuja sintaxe está estruturada na noção de *variáveis espaciais*. Nesta linha de raciocínio é pertinente a argumentação de Olsson (1969) ao mencionar que o espacial está articulado muito mais em concepções probabilísticas que determinísticas.

A abordagem geométrica estabelece também que o espaço não pode ser considerado apenas *per se*, mas segundo a distribuição relativa de objetos de acordo com padrões e arranjos espaciais. Igualmente destacável dentre os paradigmas desta escola é a constatação de que a semelhança entre as

substâncias diminui com o aumento da distância. A visão espacial da geografia, empiricamente geométrica, deixa explícita a importância de propriedades como distância e localização relativa no estudo de eventos e objetos físicos ou sociais (Coffey, 1981).

Quando Sack (1974a, p.449) argumenta que "a estrutura de um discurso geográfico empírico não faz parte da escola espacial", justifica sua asserção ao confirmar que a conexão geométrica dos fatos parece ser a "condição *sine qua non* do discurso geográfico".

A noção de interdependência espacial concentra em si a essência de escola espacial da Geografia, como enfaticamente nos coloca Hepple (1973):

"Se as variáveis geográficas forem independentes no espaço, de tal forma que o valor para uma área não esteja relacionado a outros situados em sua vizinhança (...) não existe ordem espacial ou organização para ser explicada. Neste caso a diferenciação areal e as regiões homogêneas seriam conceitos mais adequados para explicar o fenômeno(...). A interdependência espacial está ligada ao coração da Geografia(...). O dogma central na Geografia assegura que o que acontece em um lugar não é independente do que acontece em outro" (p.96 e 97).

As teorias sobre a interdependência espacial entre fenômenos agrupam uma série de métodos de análise de superfícies, citando-se por exemplo a autocorrelação espacial, a análise de superfícies de tendência, os variogramas, além dos inúmeros métodos de interpolação para mapas isopléticos.

Tais paradigmas da escola espacial são fundamentais para a inserção da cartografia temática, do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica na geografia contemporânea. O incremento deste conjunto de métodos, técnicas e instrumentos de análise geográfica e geotecnológica não teria razão e nem condições de florescer apenas no contexto do paradigma corológico.

Esta dicotomia entre o espacial e o corológico destacada pelas obras de Sack nos anos 70, foi até certo ponto sistematizada na década anterior por Berry

(1964) quando apresentou os conceitos duais de *sítio* e *situação*. Tais significados são importantes para a análise espacial realizada em SIG, já que trazem em seus conteúdos as bases metodológicas para a definição das operações de análise e modelagem de mapas.

O conceito de *sítio* é vertical e se refere às características locais descritas por atributos corológicos. Tem significado semelhante ao termo *substância*, proposto posteriormente por Sack (1974) e coerente à noção de área geográfica, primeiramente estabelecida por Hartshorne (1939). A idéia de *sítio* tem importância menor na análise espacial devido à forte conotação corológica e prospectiva de *lugar*. Embora possa um *sítio* ser analisado comparativamente a outros *sítios* com base na diferenciação areal, em tese, a abordagem corológica não se atém a arranjos de objetos e seus padrões geométricos no espaço.

O *sítio* integra todas as características definidoras de um lugar, isto é, demografia, indústria, saúde, clima, transportes e violência, entre outras. A associação entre todas as características de um *sítio* fornece a este unicidade, que o diferencia dos outros *sítios*. Trata-se então o *sítio* de um todo indivisível que se aproxima do holístico. Em síntese, é a essência da escola corológica.

A *situação*, em oposição à noção de *sítio*, é horizontal e está associada a propriedades de "interdependência regional, conexões entre lugares e interação espacial" (Berry, 1964). *Situação* é um conceito espacial pleno, geométrico, uma vez que permite conhecer um *sítio* a partir da horizontalidade em relação à sua vizinhança, tendo como base propriedades como distância e contiguidade em relação a outros *sítios*. A *situação* nos parece, portanto, ser o conceito principal da análise espacial e razão primordial para que um dia alguém tenha pensado na concepção de um SIG.

Se *sítio* é a substância de um lugar então a *situação* é a sua *instância* (Sack, 1973). A *instância* não evidencia apenas a essência geométrica dada pela posição absoluta de um ponto, esclarece também a essência geométrica da posição relativa entre os lugares, materializada no plano cartográfico. O plano cartográfico

aglutina a totalidade dos pontos espacialmente dispostos, se caracterizando na estrutura que permite a ação das funções de análise espacial existentes em SIG.

O conceito de matriz geográfica, proposto por Berry (1964), excedeu em parte, o significado matemático do termo matriz, pois se tratava de um modelo analítico concebido para o entendimento e a leitura de um espaço geográfico *multivariado e multitemático*. Neste modelo o *fato geográfico* é identificado na intersecção entre uma linha e uma coluna da matriz geográfica – ou seja, a intersecção entre a série das características de um mesmo lugar (linhas) e a uma só característica em uma série de lugares (colunas).

Entende-se por característica o atributo locacional ou o tema, tal como a população, o número de casos de dengue, a incidência de casos de leptospirose. São estes também exemplos de substâncias espaciais. O sítio é o lugar ou unidade observacional da característica, como por exemplo, o município, o distrito de saúde, o hospital ou a residência onde foram confirmados casos de dengue. A dualidade entre *múltiplas características* e *múltiplos lugares* é o ponto central da matriz geográfica de Berry, pois integra o sítio à sua situação.

O fato geográfico analisado como uma série de características de um mesmo lugar, contempla o estudo do sítio ou como assinala Berry (1964 p. 5), “uma série de características de um mesmo lugar se constitui no inventário locacional ou na geografia dos lugares específicos”. Esta categoria de análise do fato geográfico exemplifica, em parte, uma abordagem corológica. Por exemplo, o levantamento demográfico e de saúde de um município, segundo características como população residente, taxa de morbidade, incidência de dengue ou o número de domicílios coletivos e improvisados, se trata de um inventário por sítio ou várias características de um mesmo lugar.

Em contrapartida a análise espaço-distributiva vinculada a uma abordagem apoiada em observações de uma só característica em uma série de lugares, revela não o inventário do sítio, mas os arranjos e padrões espaciais da situação geográfica na *vizinhança dos sítios*. Neste caso uma característica é estudada para vários lugares e sua variação espacial é mapeada e organizada em distribuições de

arranjos espaciais, semelhante às distribuições de frequências (Berry, 1964 p.5). Para nós a imagem gráfica deste arranjo é o próprio mapa temático.

A grande contribuição dada por Berry ao sistema de informação geográfica ocorreu quando sugeriu que o entendimento da complexidade do espaço geográfico dar-se-ia a partir da ampliação das dimensões das séries de características e das séries de lugares:

"(...) assumo que exista uma série total de características registradas para uma série total de lugares. Talvez estejamos imaginando que possa existir um arquivo de dados geográficos completo – se isto é um sonho ou pesadelo, é outro problema (Berry o.p. cit., p.6)".

Este sonho ou pesadelo a que se referia o autor se tratava pelo menos em tese, de uma superposição de mapas em formato de camadas. Uma coluna é um mapa temático e todas as colunas a totalidade de camadas de mapas. A *série de todas as características* corresponderia à noção de planos de informação sobrepostos e a *série de todos os lugares* associar-se-ia aos mapas codificados em grades raster, onde cada célula ou pixel representaria um sítio. Analogamente nos modelos de objetos, cada sítio seria representado por um polígono delimitador de fronteiras municipais, por exemplo.

Tomando-se como referencia a distribuição das células em uma linha, isto é, lendo-se o arranjo espacial de uma característica (uma coluna) em todos os lugares (todas as linhas), se está diante de uma abordagem de distribuição espacial de uma característica. Se a característica for o número de casos de dengue em 10 mil habitantes, teremos em linguagem de comunicação gráfica o mapa da incidência de casos de dengue por município (lugares).

Quando se impõe um limite espacial à análise definindo-se apenas um lugar (linha) e variando-se as características presentes neste lugar, se está diante uma abordagem de inventário locacional baseada na associação entre variáveis espaciais de um mesmo lugar. De cunho evidentemente descritivo e prospectivo,

esta abordagem é base para funções de consulta espacial por lugar, utilizadas para busca de informações em bancos de dados geográficos. Originam-se aqui as operações de “query” baseadas em lógica booleana.

A espacialidade assim manifestada emergiu com maior força dentro da geografia teórica – que para Berry & Marble (1968) tinha o sinônimo de *análise espacial*, cujos pressupostos foram delineados com profundidade na obra de Bunge (1966) e sintetizados com clareza posteriormente por Hagerstrand (1973):

“(...) a análise quantitativa recentemente incorporada à geografia representa o estudo aprofundado dos padrões de pontos, linhas, áreas e superfícies, dispostos em mapas, definidos por coordenadas espaciais em duas ou três dimensões. (p. 69).”

Hagerstrand deixa explícito o papel da cartografia na análise espacial não apenas como meio de comunicação da informação geográfica, mas, sobretudo, como estrutura geométrica – idéia atualmente reduzida ao termo georeferenciamento.

Este novo paradigma, o espacial, surgia como evolução de metodologias historicamente precedentes vividas pela Geografia. Coffey (1981) identifica além da abordagem espacial, a abordagem clássica, preconizada pelas obras de Humboldt e Ritter, cujas convicções filosóficas apoiam-se na idéia de que não existem diferenciações metodológicas entre as ciências físicas e as sociais. O declínio da visão clássica se deu como consequência do determinismo geográfico, um dos pilares daquela abordagem.

Se a visão clássica unificou o físico e o social em um contexto de efeito causal do ambiente sobre o homem (Coffey, op. cit. p. 14), a visão regional posterior argumentava que os objetos físicos e humanos e os eventos estão intimamente relacionados em uma inseparabilidade fenomenológica. A escola regional formou entre outros conceitos, o de unidade homogênea e de região específica, exemplificados nas obras fundamentais de Vidal de La Blache (1903) e Hartshorne (1939).

Os paradigmas mais importantes da escola espacial geográfica, da qual descendem os SIG, foram postulados por Berry, Schaefer, Hartshorne, Sack, entre outros, em um momento em que os computadores eram conhecidos como "cérebros eletrônicos" e não raras vezes, associados à "ficção científica" regida pelos paradigmas da ciência espacial praticada nos Estados Unidos, principalmente no MIT e na NASA. Berry estabeleceu em 1964, as bases da escola espacial, contribuindo involuntariamente para o desenvolvimento das funções de análise espacial para SIG.

Não hesitamos pois, em afirmar com clareza que o sistema de informação geográfica é filho da tradição geométrica ou espacial da Geografia, cujos pressupostos e métodos foram propostos pela Geografia Quantitativa dos anos 60 e 70.

4.2 - MODELOS E PARADIGMAS DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Quando se inicia qualquer atividade de pesquisa onde o ambiente da análise espacial é o sistema de informação geográfica, não se pode ignorar que dentro de um SIG ocorre a transformação da paisagem real em paisagem digital. Esta reconstrução do espaço geográfico na forma de arquivos de informações geográficas digitais se dá por meio de fases seqüenciais estruturadas em paradigmas segundo os quais, são modelados dados espaciais no formato cartográfico digital.

Antes de qualquer discussão sobre modelos de dados ou representações digitais da paisagem em SIG, se deve tratar primeiramente das concepções de espaço geográfico envolvidas na transformação da paisagem real em paisagem digital.

A eficiência de um SIG para responder a questões de modelagem geográfica depende da implementação eficiente de códigos. Tais códigos baseiam-se em alguns paradigmas, entre os quais citamos a codificação *vetor-raster*, a

representação *orientada a objetos*, a estrutura em *layers*, a modelagem em *campos contínuos* e a lógica *fuzzy*.

Todos os elementos geográficos contidos na superfície terrestre, sejam naturais – como rios, florestas ou montanhas, ou produzidos pela sociedade – cidades, estradas, áreas agrícolas, hospitais, postos de saúde; são organizados em um SIG por meio de dois modelos seqüenciais: o modelo gráfico e o modelo digital.

Os elementos geográficos contidos em nossa vivência espacial diária são codificados em um modelo visual gráfico, primeiramente com base em uma escala - quando são reduzidos de seu tamanho original para dimensões compatíveis com uma folha de papel e ajustados a uma projeção cartográfica. Posteriormente, por meio de símbolos gráficos é realizada a representação cartográfica dos elementos geográficos. Este importante campo da pesquisa geográfica teve no Brasil seu alicerce edificado nos trabalhos de importantes geógrafos entre eles Sanchez (1972; 1973; 1974), Le San (1983) e Martinelli (1990; 1991).

Se as linhas delimitadoras da representação cartográfica forem definidas por fronteiras territoriais ou políticas – os limites entre municípios, bairros, estados, ou entre nações - ou por fronteiras naturais – os limites entre bacias hidrográficas, limites de parques nacionais ou reservas biológicas - a este modelo gráfico se atribui o significado de *mapa*. Se por outro lado, o limiar da dimensão espacial da representação é matemático e abstrato, recortando a paisagem em janelas com base em coordenadas geográficas com subdivisão geométrica e hierarquizada, se atribui ao modelo gráfico o significado de *carta*.

O primeiro nível de transformação da paisagem real - a construção do mapa - segue modelos algébricos e geométricos que possibilitam a representação do espaço geográfico com seus objetos, atributos e ações em um plano cartográfico impresso em folha de papel. Estes modelos estão estruturados segundo escalas de redução, ajustes matemáticos de curvatura terrestre por meio de projeções e princípios da comunicação da informação segundo os preceitos da semiologia gráfica.

A segunda instância de modelagem da realidade geográfica é dada pela transformação do modelo gráfico para o modelo compatível com sistemas de informação geográfica. Neste contexto de abstrações e modelagem alguns paradigmas são adotados para a construção da paisagem digital no computador.

Haining (1993) adotou o termo *evento geográfico* para designar o conjunto de objetos localizados no espaço geográfico e seus respectivos valores de atributos. Para que um evento geográfico seja armazenado em uma base de dados digitais compatível com um SIG, deve o evento ser abstraído, transformado e discretizado em um número finito e suficientemente pequeno de unidades lógicas. Este processo de transformação é conhecido como modelagem de dados geográficos em computador.

A modelagem de dados geográficos provenientes de mapas temáticos se apoia em dois paradigmas de representação digital do espaço geográfico (Goodchild, 1992):

- I. O espaço geográfico é concebido pela superposição de planos de informação representando distribuições espaciais contínuas de uma mesma variável.
- II. O espaço geográfico é concebido como um espaço povoado de objetos geométricos.

No primeiro caso (I) os limites espaciais entre os atributos são gradacionais em forma de superfícies, coincidindo com as mudanças reais das variáveis na realidade terrestre, sejam elas referentes à topografia ou a elementos do clima, como temperatura ou precipitação pluvial. No segundo caso (II) as fronteiras entre os atributos são artificiais ou abstratas, concebidas dentro do modelo geométrico euclidiano. É o caso, por exemplo, dos limites entre unidades administrativas, estados, bairros ou áreas de abrangência de equipamentos de saúde, entre outros.

A transposição da paisagem real para o SIG se trata em princípio de um problema de reconstrução do mundo percebido pelo homem em modelos espaciais

abstratos. Dentro da ciência da informação geográfica, Burrough & Frank (1995) concordam que em SIG a paisagem pode ser estruturada segundo dois princípios muito similares aos apresentados por Goodchild (1992):

- A paisagem é uma associação entre objetos ou entidades geométricas interconectadas
- A paisagem é uma superfície contínua e complexa, transformada por padrões e processos naturais

O primeiro princípio é conhecido como princípio dos *objetos exatos* e o segundo como princípio dos *campos contínuos*. Os objetos exatos são modelos de elementos da paisagem delimitados por fronteiras e atributos individuais que ocupam espaços fixos e contêm propriedades previsíveis e exatas. Por estas razões podem ser organizados em dimensões euclidianas simples, tais como pontos, linhas ou polígonos. Por trabalhar com unidades discretas e lógicas e exatas, a abordagem baseada em objetos torna muitas vezes irrelevante o papel da incerteza, uma vez que tendem a adotar uma visão mais determinista e menos estocástica da realidade geográfica (Burrough & Frank, 1995).

Já as pesquisas que adotam como princípio os campos contínuos reúnem condições para que tenham lugar questões mais complexas e inexatas na análise espacial. Aceitam a existência de erros e resíduos, que embora inevitáveis, podem ser estimados e reduzidos. Por não adotar claramente uma visão determinista do espaço, a abordagem baseada em campos adota conceitos de probabilidade e possibilidade. Os mapas gerados sob a ótica destes princípios têm também limitações que podem ser responsáveis por erros e certamente incorporados às operações de análise espacial realizadas em SIG.

Os objetos gerados por discretização de superfícies apresentam também perdas de informação, já que alguns elementos presentes na paisagem não são compatíveis com a representação de objetos (Haining, 1993). Um outro questionamento freqüentemente associado ao princípio dos objetos exatos se trata

do fato destes consistirem de abstrações espaciais que contém incertezas mascaradas, principalmente nas bordas dos polígonos ou na espessura das linhas.

Os modelos construídos segundo o princípio dos campos contínuos estão associados a superfícies probabilísticas representadas por isolinhas, funções matemáticas e redes triangulares produzidas ou simuladas por meio de interpolações numéricas. Neste tipo de modelo qualquer ponto do espaço geográfico pode ser caracterizado por atributos que variam de acordo com sua posição em um sistema de coordenadas.

Exemplos de produtos cartográficos que seguem tal princípio são os mapas de temperatura do ar (isotermas), mapas de precipitação pluvial (isoietas), mapas altimétricos (isohipsas) ou mapas de concentração de poluentes no ar, entre outros. Em epidemiologia a depender da escala de análise e da distribuição espacial da doença estudada, podem ser elaborados mapas baseados em campos contínuos, principalmente para se modelar a dispersão espacial de casos em diferentes intervalos de tempo.

Os mapas modelados em superfícies têm vantagem sobre os mapas modelados em objetos quando a espacialização se refere a epidemias de alta taxa de contágio vinculadas ao meio aéreo, como as provocadas por doenças respiratórias. Nestes casos, por se tratar o ar do meio pelo qual se expande espacialmente o contágio e dada a fluidez e inexatidão de suas formas, é conveniente neste caso se representar os dados da epidemia por meio de superfícies.

Os modelos epidemiológicos baseados no paradigma dos campos contínuos seguem principalmente os preceitos de técnicas espaciais de generalização de mapas, tais como determinação de superfícies de tendência, autocorrelação espacial e interpolação de superfícies. Obviamente que para a adoção destas abordagens deve o pesquisador anteriormente efetuar testes de interdependência espacial entre pontos e pixels contíguos, aos quais estão associados os dados epidemiológicos. Se for detectada a independência espacial entre os dados, tais técnicas de análise devem ser descartadas.

Se por um lado o modelo de objetos exatos concebe uma base de dados composta de entidades atômicas e seus atributos, por outro lado, o modelo de campos reconhece que uma base de dados é representada por superfícies, funções matemáticas contínuas, fractais e variáveis regionalizadas. Já as estruturas orientadas para objetos permitem construir todos os tipos de relações entre informações dos elementos, tanto ao nível parcial como na sua totalidade. No entanto, são incapazes de executar modelagem de processos em escalas globais, pois nestas dimensões, é praticamente impossível se descrever com exatidão um objeto e suas relações espaciais (Burrough, 1992).

4.3 – O MODELO DE REDES GEOGRÁFICAS

Ao estudo das redes em Geografia sempre foi reservado lugar de destaque entre os modelos e paradigmas da escola espacial. Embora extensamente utilizadas em pesquisas voltadas para bacias hidrográficas e hidrologia desde os trabalhos pioneiros de Horton (1932; 1945), Strahler (1957) e Schreve (1966); as redes geográficas passaram a despertar interesse mais amplo da comunidade de pesquisadores da análise espacial quando se expandiu, passando a tratar de questões ligadas a circuitos espaciais de produção, transporte e migração.

Dentro do campo dos circuitos, a conectividade, a nodalidade e acessibilidade, tornaram-se importantes conceitos formulados para explicar e modelar a interação e a difusão espacial entre lugares situados em uma dada rede geográfica. Beneficiaram-se neste contexto metodológico, os estudos voltados aos sistemas de transportes, à logística, à difusão espacial de inovações e também a difusão de epidemias.

A base do conhecimento sobre redes geográficas data do auge da escola espacial geográfica dos anos 60 e 70, cuja obra emblemática sobre o tema foi o trabalho desenvolvido por Hagget & Chorley (1969). Para estes uma rede geográfica é “um conjunto de lugares interconectados em um sistema por meio de um determinado número de rotas (p.5)”. Os autores classificaram ainda as redes

geográficas em três categorias distintas quanto sua funcionalidade e estrutura espacial: as redes *dendríticas*, as redes em *circuito* e as redes *bloqueadas*.

As redes dendríticas consistem de "um conjunto de linhas conectadas sem um *loop* completo (...) ou segmentos conectados, mas não em circuitos (p.8)". Devido à sua estrutura semelhante a uma árvore, a rede de drenagem é a forma mais clássica e característica de uma rede dendrítica. Redes em circuito tem como característica básica o retorno a um ou mais pontos dentro da rede, tal como um *loop* ou um circuito fechado. Se insere neste caso também, a situação particular das redes isoladas em ilhas e as redes contíguas, bloqueadas por barreiras políticas (Minghi, 1963).

Dedicaremos aqui mais atenção às redes estruturadas em circuitos, já que estas são excelentes modelos de sistemas de transportes, os quais são fundamentais para o estudo da conexão intermunicipal e porque não, adequados à análise de difusão de epidemias por contágio espacial.

Uma das técnicas mais eficientes para a análise topológica de um circuito é a matriz de conectividade binária, a qual mostra as ligações diretas entre vértices ou nós por meio de uma codificação binária: 1 (um) se existe o contato direto e 0 (zero) se não existe o contato direto entre os nós da rede (Hagget & Chorley, 1969).

A soma de todos os códigos binários de uma linha ou coluna desta matriz é igual ao número de conexões que emanam de cada nó. O valor desta soma pode ser interpretado como o índice de nodalidade local. Tomando como exemplo uma rede de transporte rodoviário e cada nó como um núcleo urbano situado nesta rede, utilizando-se o índice de nodalidade este núcleo urbano pode ser classificado em função do número de ligações diretas realizadas entre ele e os demais núcleos urbanos situados na sua vizinhança.

Os elementos da matriz de conectividade binária podem ser transformados se adicionando pesos aos códigos binários. Cada conexão direta estabelecida entre dois ou mais nós pode ser ponderada se utilizando alguma variável que discrimine

a importância desta conexão. O trabalho pioneiro de Hagget & Chorley (1969) definiu esta matriz como *matriz de conectividade ponderada*.

Os elementos que compõem esta matriz são os pesos relativos a fatores geográficos eleitos pelo pesquisador em função do objeto e do objetivo de estudo. As formas mais clássicas de ponderação dos elementos da matriz de conectividade baseiam-se em modelos do tipo potencial. Por exemplo, se pode atribuir a relação entre a soma das populações e a distância entre duas cidades como peso à conexão entre estas duas cidades. Também podem ser adotados como pesos os valores de fluxo, do custo do transporte, ou demais fatores de atrito existentes na ligação entre os nós da rede.

Analogamente à técnica de cálculo do índice de nodalidade, o *índice de acessibilidade* a um nó, proposto pela primeira vez por Schimbel and Katz (1953, apud Hagget & Chorley, 1966), pode ser obtido pela matriz de conectividade ponderada. Esta medida de acessibilidade a um nó é dada pela soma dos elementos de uma linha ou coluna da matriz de acessibilidade ponderada.

Os dois índices aqui apresentados, embora simples em sua concepção, configuram-se como excelentes indicadores para avaliação da suscetibilidade de contágio espacial entre municípios, bem como, para a modelagem espaço tempo de expansão de epidemias. Por exemplo, a matriz de conectividade binária define espacialmente a existência ou não de contato proximal entre nós. A síntese desta matriz, dada pelo índice de nodalidade, permite identificar cidades mais suscetíveis à difusão da epidemia ou a serem contaminadas por ela, já que revela o grau de inserção ou isolamento na rede geográfica. O índice de acessibilidade ao núcleo urbano pode contribuir significativamente para o mapeamento de pontos de estrangulamento e de transmissão de epidemias.

A abordagem espacial baseada em redes geográficas, embora tenha seus alicerces fixados ainda na escola espacial inglesa dos anos 50 e 60 do século XX, não sido utilizada desde então em estudos de saúde pública e epidemiologia. Atualmente, vários sistemas de roteamento têm sido lançados com sucesso no mercado de SIG. Estes sistemas são voltados para estudos de logística e análise de

redes, permitindo a simulação e o planejamento estratégico de gestão de transportes. Cabe ao pesquisador adaptar esta estrutura consolidada aos interesses e métodos da epidemiologia e saúde pública.

4.4 - LÓGICA FUZZY

A estrutura vetorial clássica, tanto nos formatos topológico quanto "spaghetti", pressupõe que um polígono tenha limites que individualizam diferentes categorias geográficas de acordo com seus atributos. Este modelo discreto de dados espaciais assume que as linhas limítrofes entre categorias sejam bruscas e exatas, não considerando, portanto, a existência de incertezas quanto à precisão espacial destas. Tal pressuposto pode resultar na incompatibilidade entre as condições da realidade geográfica e a informação digital representada em sistemas de informação geográfica.

A utilização da representação de limites geográficos por meio de linhas separando duas ou mais categorias é mais adequada a dados censitários e cadastrais, que utilizam como base geométrica, polígonos representando domínios administrativos ou políticos. É o caso dos municípios, a organização administrativa mais comum de agregamento de doenças em geografia médica. No entanto, a rigor, esta representação seria inadequada a dados espaciais que descrevem elementos naturais do espaço, tais como solos, bacias hidrográficas, vegetação, rochas, temperatura, precipitação, geoquímica, entre outros (Wang & Hall, 1996).

Os elementos naturais têm propriedades que são mutáveis continuamente no espaço. Por uma questão de conveniência e facilidade de representação, utilizam-se linhas fixas que impõem limites relativamente arbitrários. Partindo-se do pressuposto de que os elementos naturais do espaço não podem ser definidos com exatidão por meio de linhas limítrofes, se deve adotar uma abordagem alternativa baseada no conceito de *zonas fuzzy*, ou zonas de incerteza.

Seja X como um conjunto composto por unidades identificadas por x , sendo x um pixel do mapa. Então $X = \{x\}$, ou seja, todos os elementos x pertencem ao

universo X , sendo X o mapa completo. Seja A um subconjunto pertencente a X , sendo este subconjunto uma categoria nominal do mapa completo, ou seja, $A \subset X$. A função X_A ou função de afinidade de um pixel à categoria A , assume as seguintes condições (Hall et al. 1992):

$$X_A(x) = 1, \text{ para } x \in A$$

$$X_A(x) = 0, \text{ para } x \notin A$$

com $X_A(x)$ pertencente ao intervalo $\{0,1\}$

Segundo esta argumentação, só existem duas possibilidades de um pixel x pertencer a uma dada categoria: ou pertence à esta categoria, logo $X_A(x) = 1$ ou não pertence a mesma, então $X_A(x) = 0$. Esta é a relação condicional que caracteriza os mapas baseados em modelos binários de objetos exatos. Quando uma linha é fronteira a duas categorias, ela está condicionando duas possibilidades de pertencer às categorias verificadas para $X_A(x)$ (Wang et al. 1996).

No contexto exposto acima não há condições para a representação de mudanças graduais ou probabilísticas de afinidade de um pixel a duas categorias vizinhas em um mesmo mapa. No contexto da lógica Fuzzy os limites são representados como zonas onde os valores das propriedades geográficas têm distribuição probabilística. Leung (1987) apresentou um modelo de zonas fuzzy, composto por duas regiões transitórias: a região central ou core, e a região limítrofe:

Região Core – área de uma categoria cujas características são mais compatíveis com as características desta região, contendo pois, a máxima homogeneidade de pixels.

Região Limítrofe – envolve o conjunto de pixels cujas características não são exatamente coerentes com a região core, uma vez que os pixels aí contidos têm

diferentes graus de afinidade com a região core. É também denominada de zona transicional.

O clássico trabalho de Zadeh (1965) fixou as bases para o entendimento da representação fuzzy. Para entendê-lo devemos voltar às cláusulas da função de afinidade (χ_A), considerando X como um universo que contém um subconjunto fuzzy B , isto é, $B \subset X$. Este subconjunto B é caracterizado por uma função de afinidade f_B que associa cada pixel $x \in X$ a um dos infinitos valores decimais pertencentes ao intervalo $\{0,1\}$ (Wang & Hall, 1996). Logo f_B representa o grau de afinidade entre x e B . Quanto mais próximo o valor de $f_B(x)$ está de 1.0, mais x pertence ao conjunto B (Zedah, 1965).

Exemplificando a formalização teórica acima em um contexto de uma epidemia de dengue analisada em um contexto regional, teremos:

X – A região estudada, composta por 109 municípios da região de São José do Rio Preto - SP .

B e C – Dois municípios limítrofes contidos nesta região, por exemplo, Mirassol e São José do Rio Preto, para os quais foram notificados respectivamente, 1565 e 6416 casos de dengue no ano de 2001.

x – um pixel ou ponto situado na zona transicional entre os dois municípios, para o qual pode ser atribuído tanto o valor de 1565 ou o valor de 6416 casos de dengue.
 $f_B(x)$ e $f_C(x)$ – funções de afinidade de x , respectivamente aos municípios de Mirassol e São José do Rio Preto.

Se o pixel x tiver uma probabilidade maior de pertencer ao município de Mirassol, pois $f_B(x) > f_C(x)$, x assumiria então o valor de 1565. Caso contrário, $f_B(x) < f_C(x)$, este pixel assumiria o valor de 6416 casos. Entretanto vale ressaltar que a formalização do modelo Fuzzy é mais coerente às situações em que os limites das categorias não incidam questões legais de domínio territorial, estas, comuns aos casos de municípios ou estados.

os limites das categorias não incidam questões legais de domínio territorial, estas, comuns aos casos de municípios ou estados.

Os limites legais não são fronteiras espaciais transitórias, e por isto, é difícil imagina-las como zonas fuzzy. Estatisticamente, os casos de doenças são agregados, notificados e espacializados com referência a domínios territoriais de planejamento – o município, o bairro ou uma área de influência de um equipamento de saúde. Por isto o modelo de objetos é mais coerente à cartografia médica, mesmo que não se conheçam as funções de afinidade de um pixel a um ou a outro município.

A solução mais próxima para este dilema é a representação em campos contínuos. Uma vez que os valores de casos de uma doença são interpolados espacialmente, se assume que estes valores sejam probabilísticos. Com a sobreposição do mapa dos limites administrativos (objetos) ao mapa isoplético, se constrói uma visualidade fuzzy, pois se tem a mesmo tempo os limites exatos dos objetos e a afinidade de um pixel a este objeto dada pela distância de cada valores interpolados de casos da doença ao centro do polígono municipal.

4.5 - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: A INSTÂNCIA EXPERIMENTAL DA ANÁLISE ESPACIAL

Historicamente a concepção de um SIG precedeu o desenvolvimento dos microcomputadores, dos microships e de toda a tecnologia digital contemporânea e posterior à era do silício. O SIG não é um paradigma da informática mas uma consequência natural das teorias da análise espacial. Alguns geógrafos americanos do final dos anos 60 do século XX já vislumbravam o SIG muito antes do aparecimento dos microcomputadores Apple TK-2000 com 8 k de memória RAM ou até, das calculadoras portáteis.

Em junho de 1970, o número 2 do volume 60 do periódico *Annals of the Association of American Geographers* trazia o artigo intitulado "The 1960's: a

decade of progress in geographical research and instruction” escrito por Kohn (1970). Neste trabalho, destacamos o item ‘Progress in the Observation and Handling of Data’ (p.214), onde são relatados os últimos avanços da tecnologia de então e sua aplicabilidade na geografia.

Inicia o ensaísta mencionando o aparecimento do sensoriamento remoto destacando que, se comparado à outras ciências, seu uso era ainda limitado na pesquisa geográfica de então:

“(…) Durante os anos 60, a aquisição e o processamento de dados por sensoriamento remoto têm recebido a atenção de um grupo cada vez maior de pesquisadores, o que pode ser evidenciado por numerosos simpósios (...). A despeito destes eventos, relativamente poucos artigos direcionados ao uso de sensoriamento remoto na pesquisa geográfica têm aparecido em revistas especializadas. Não há dúvida quanto a utilidade desta informação espacialmente precisa. O desenvolvimento de métodos de imageamento e particularmente de métodos interpretativos para sensores não fotográficos sensíveis às regiões do infravermelho e de microondas do espectro eletromagnético, programados para um futuro próximo, possibilitará novas aplicações geográficas do sensoriamento remoto.” (p.214).

O final dos anos 60 já estava adotando a imagem orbital como um novo paradigma da análise espacial, seja pela visão sintética dela resultante como pela capacidade de geração de grandes quantidades de dados terrestres obtidos por sensores programados para diferentes faixas do espectro eletromagnético. Para que pudessem ser utilizados na análise espacial, esta nova dimensão quantitativa de dados dependia de novos computadores capazes de armazená-los e processá-los. Esta preocupação já era externada por Kohn na época:

“(…) O manuseio de grandes quantidades de dados disponíveis por meio do sensoriamento remoto e de outras fontes não seria possível, entretanto, sem a ajuda de um ‘maquinário complexo’. Felizmente os anos 60 têm

O discurso de Kohn, escrito no momento em que o computador era um "maquinário complexo", gigantesco e com poucos atrativos comerciais, exigia inclusive a transcendência do papel dos computadores para além do processamento de dados orbitais. Apontava o autor como papel fundamental do hardware, a residência dos softwares para dados geográficos que atuassem em forma de sistemas de informação. O objetivo era deixar explícita a necessidade de sistemas cuja estrutura e organização fossem voltados para a informação geográfica:

(...) "Com a evolução dos computadores, os sistemas de armazenamento e manipulação de dados - normalmente citados como 'sistemas de informação' - também tem sido investigados pela ciência. Para que possam ser úteis ao pesquisador em geografia, estes sistemas devem satisfazer quatro critérios básicos:

1. Devem ser capazes de localizar pontos específicos e dados no formato de área;
2. Devem estar aptos à agregação variável de dados. Os sistemas que preenchem tais requisitos são normalmente referidos como sistemas de geocodificação e são de grande valor para as pesquisas geográficas.
3. Um sistema de informação geográfica deve disponibilizar um método para reprodução dos arranjos espaciais(...), contendo operações específicas entre dados e permitindo uma apresentação visual dos resultados.
4. Um sistema de informação geográfica deve conter um pacote de programas matemáticos e estatísticos que possa ser acessado, se necessário, para auxiliar na análise de dados espacialmente orientados (...) (p. 215)

As condições 1 e 2 postuladas por Kohn podem ser entendidas como objetivos de uma cartografia digital embrionária. O critério 1 diz respeito à capacidade de posicionamento de objetos em sistema de coordenadas tanto em

ponto como em polígonos. Quanto ao critério 2, se entende “agregação variável de dados” como a capacidade de manipulação dos dados em diferentes escalas, pela ampliação ou redução da área de trabalho. Além disto, este critério indicava também a vocação do SIG para georreferenciamento dos dados provenientes de diferentes sistemas de referência locacional.

Destacam-se os critérios 3 e 4, que dizem respeito exatamente ao papel do SIG: solucionar problemas e questões formuladas pela análise espacial. Isto pode ser confirmado quando Kohn enfatiza que estes “conjuntos de programas desenhados para aceitar dados descritos espacialmente, podem ajudar na análise de dados espacialmente orientados(...)”. Em suma: à época dos anos 60, no auge do avanço metodológico da análise espacial, o que se queria era apenas que a computação produzisse sistemas para agilizar a análise de grandes quantidades de dados espaciais de acordo com modelos já estruturados teoricamente.

Os computadores trabalham basicamente com 6 tipos de informação: números, fotos, textos, tabelas, sons e mapas (Berry, 1993). Para cada tipo de informação existem softwares específicos. Quando se deseja realizar processamentos numéricos e estatísticos utilizam-se softwares baseados em operações aritméticas e cálculos numéricos implementados para este fim. No tratamento de arquivos em formato de texto, atuam processadores ou editores de texto; no processamento de fotos e figuras utilizamos softwares com recursos gráficos e, para sons, são escolhidos softwares sintetizadores de sons em ambientes multimídia e assim por diante.

E se a finalidade for o processamento de mapas e informações espaciais? Neste caso se deve utilizar um conjunto de softwares integrados de forma sistêmica denominado de sistemas de informação geográfica. Vê-se que o termo informação geográfica é utilizado de forma a realçar o tipo de informação e não as técnicas de análise espacial, como deveria ser, já que em um SIG estão disponíveis diversos tipos de operações de análise de informações espaciais.

técnicas de análise espacial, como deveria ser, já que em um SIG estão disponíveis diversos tipos de operações de análise de informações espaciais.

Ao contrário do ambiente que envolve o uso dos softwares comuns onde coexistem apenas as figuras do fabricante, do vendedor e do usuário; no ambiente de SIG a situação é mais complexa. Além da trilogia fabricante, vendedor e usuário, existe também uma teia de relações envolvendo hardware, dados, softwares, pesquisas espaciais e cartográficas e, porque não, um leque de metodologias para análise espacial que podem se implementadas em SIG.

Buscar uma definição para sistema de informação geográfica não é uma tarefa simples, principalmente quando se direciona a análise para o nível metodológico do uso destes sistemas. Seguindo esta linha de pensamento destaca-se em primeira instância, as abordagens para SIG que têm sido adotadas com maior frequência na atualidade. Goodchild (1992) diferenciou duas definições possíveis para SIG :

- O SIG é um campo de pesquisa que contém um amplo conjunto de questões de análise espacial - o SIG como ciência da informação geográfica.
- O SIG é uma caixa de ferramentas de múltiplos usos técnicos - o SIG é reúne um conjunto de técnicas auxiliares às ciências em geral.

A primeira abordagem representa um contexto no qual o SIG se apoia nos paradigmas da ciência da informação geográfica. Por esta razão Goodchild (1992) propôs a substituição do termo *GISystem* por *GIScience*, onde "science" se refere à ciência da informação geográfica. Neste nível o SIG aparece como um laboratório onde são implementadas e experimentadas funções de análise de mapas cuja base teórico-metodológica já foi estabelecida pela análise espacial. Na segunda abordagem, o SIG é pensado como conjunto de técnicas a serviço de uma ciência e atuando como ferramenta semelhante à calculadora, o GPS, o sistema de tratamento de imagens ou o sistema de acesso à banco de dados.

A complexidade associada à proposição de uma definição clara para SIG se deve principalmente à interdisciplinaridade e à multiplicidade de ciências que dele se utilizam, tais como a geografia, a geologia, a ecologia, a botânica, a computação, a agronomia, o marketing, a engenharia, e mais recentemente, a epidemiologia. Uma questão parece pertinente neste momento da análise: que característica inerente a um SIG faz com que diferentes ciências dele se utilizem? A resposta está no seu potencial para realizar análises espaciais.

Em geral, a literatura tem destinado aos sistemas de informação geográfica o papel de sistema computacional dedicado ao gerenciamento de dados espaciais. O termo *geográfico* traz implícito a idéia de que dados sobre localidades, pontos ou objetos podem ser identificados por meio de coordenadas geográficas. Já a palavra *informação* pressupõe que um SIG esteja organizado de forma a possibilitar o acesso a mapas, imagens, gráficos e tabelas, de acordo com a interação do usuário com a tela. A palavra *sistema* traz implícito um modelo de arquitetura estruturado em vários componentes interrelacionados e conectados a partir de diferentes funções (Bonham-Carter, 1994).

A rigor, e sob uma ótica taxonômica, um SIG é um tipo de sistema de informação. Maguire (1992) reconhece duas categorias de sistemas de informação: os sistemas de processamento de consultas simples (SCS) e os sistemas de suporte à decisão (SSD).

Os sistemas SCS têm como principais atribuições o registro e a manipulação de operações de transações e consultas mediante simples acesso ou transferência de dados entre arquivos. Estas operações, típicas de agências bancárias e empresas aéreas, podem ser realizadas por leigos em terminais bancários (*banking*) ou em balcões de uma empresa aérea (*check-in*). Por ser desenhado com base em funções simples, específicas e bem definidas, este tipo de sistema permite facilmente a atualização e o resgate de informações remotas por um usuário cadastrado no sistema de acesso (Maguire, 1992)

Já os sistemas SSD, entre os quais está o SIG, são mais flexíveis e aptos à modelagem, análise e manipulação de dados, atendendo às exigências de

uma relativa complexidade no que se refere à sua utilização. Exigem manipulação por pessoal com treinamento específico e com conhecimento das funções de análise espacial, da teoria das decisões e da modelagem cartográfica.

Um sistema de suporte a decisão apresenta três características particulares que o distingue dos demais sistemas de informação (Bonczek et al. 1984):

- Devido a sua capacidade de exploração das diversas possibilidades, auxilia o planejador na solução de problemas complexos por meio de uma árvore de decisão baseada em simulações e prognósticos;
- Apresenta interface baseada em linguagem de alto nível, aplicada à formulação e solução de questões espaciais;
- Incorpora modelos analíticos capazes de gerar informações cada vez mais complexas a partir de combinações de dados espaciais.

Bracken & Webster (1989) concordam que uma das principais particularidades dos sistemas SSD é a incorporação de modelos analíticos e linguagens de consulta de alto nível – Query e SQL - capazes de fornecer respostas a problemas espaciais mais sofisticados. Por esta razão um SIG é antes de tudo um sistema de suporte a decisões geográficas.

4.6 - ESTRUTURAS PARA CODIFICAÇÃO DIGITAL DE MAPAS EM SIG

As estruturas de dados espaciais para SIG são formas organizacionais que permitem o processamento destes tipos de dados ambiente computacional. Serão aqui discutidas as formas mais simples e mais amplamente utilizadas em SIG, entre elas a tipologia de estruturas *raster* - utilizadas em modelagem cartográfica e processamento digital de imagens, as opções de estruturas *vetoriais* - empregadas principalmente em sistemas CAD, abordagens orientadas a objetos e as estruturas redes geográficas.

4.6.1 *Estrutura Raster*

A estrutura raster se apoia em um modelo matricial que admite a divisão do espaço geográfico em minúsculas partes igualmente espaçadas e dimensionadas, formando algo semelhante à uma grade endereçada em uma matriz retangular. Esta estrutura parte do pressuposto que o espaço geográfico pode ser modelado como um plano cartesiano, onde a codificação de um dado geográfico é feita com base na quantização em pequenas parcelas - ou entidades espaciais atomizadas, cujo tamanho depende da resolução espacial e da escala do mapa original.

Cada unidade mínima ou elemento desta matriz é quantizado em valores que correspondem a atributos qualitativos ou quantitativos de objetos espaciais ou em pontos identificados por coordenadas espaciais. Um elemento de imagem ou unidade mínima da estrutura raster pode ser definido segundo quatro eixos fundamentais: X,Y, Z, e T.

- X : valor assumido em relação ao eixo das longitudes (0° - 180° E ou 0° - 180° W) - no caso das coordenadas esféricas ou geográficas; ou em relação às coordenadas E, no sistema UTM.; ou ainda a qualquer número real, se for referenciado a um sistema de coordenadas planas arbitrário.
- Y: valor assumido em relação ao eixo das latitudes (0° - 90° N ou 0° - 90° S) - no caso das coordenadas esféricas ou geográficas; ou em relação às coordenadas N no sistema UTM; ou a qualquer número real, se for referenciado a um sistema de coordenadas planas arbitrário.
- Z: valor assumido em relação ao *eixo temático* ou eixo da informação geográfica, que corresponde ao *atributo* de um objeto ou a um pixel pertencente a um campo. Estão associados a estes atributos os valores medidos em escala *nominal, ordinal, proporcional, numérica inteira, numérica real e bytes*, entre outras.
- T: valor assumido em relação ao eixo do *tempo*, segundo o qual o atributo é medido ou observado, seja ele em escala *horária, diária, mensal ou anual*.

Incluindo-se o eixo T, a estrutura raster pode também ser concebida a partir dos princípios do modelo da Tríade Espaço-Temporal proposto por Peuquet (1994), já que este modelo da Tríade se organiza da seguinte forma: os eixos locacionais (X e Y) ou *Onde*; o eixo temático informacional (Z) ou *O Que, Quanto e Por que*; e por fim o eixo temporal (T), isto é, *Quando, Desde Quando, Até quando ou Por Quanto Tempo*.

4.6.1.1 - Mapas Contínuos em Formato Matricial

Esta terminologia foi adotada por Bonham-Carter (1994) como forma de ampliar as definições estanques de raster e vetor existentes na literatura. A estrutura dos mapas contínuos é a mais simplificada e mais utilizada em geoprocessamento, principalmente em sistemas de processamento de imagens.

Em tais tipos de sistemas cada banda espectral correspondente à uma das faixas do espectro eletromagnético está estruturada no formato de uma matriz onde é espacializado apenas um atributo. Os valores referentes aos atributos são registrados em cada posição X_i, Y_i da matriz e medidos segundo a escala byte em intervalo [0 - 255], o que significa o armazenamento de um byte por pixel da imagem.

Neste tipo de estrutura raster os pixels são organizados de forma seqüencial, no sentido da linha da matriz, se iniciando na posição situada no ponto superior esquerdo da imagem. Trata-se portanto de um sistema de posicionamento seqüencial de registros modelados em campos contínuos, adotado também como modelo numérico espacial e representando variações contínuas de atributos geoestatísticos. Por exemplo, os modelos digitais de terreno se adaptam perfeitamente à esta estrutura, pois armazenam em cada posição um registro de elevação de superfície.

4.6.1.2 - *Mapas Discretizados no Formato Matricial*

Na estrutura raster contínua ocorre a espacialização refinada e detalhada de valores de um atributo por toda a grade, onde milhares de valores ocupam milhares de posições de uma matriz. No entanto, este nível de detalhamento não permite a interpretação de contexto ou de agrupamento espacial – ou *clusters*, dificultando assim a visualização e a interpretação geográfica dos dados.

Em geral, na estrutura raster contínua temos no máximo nuvens de valores distribuídos caoticamente mascarando as afinidades espaciais e escalares existentes entre grupos ou intervalos de atributos. Recorrendo-se à uma classificação dos valores individuais de cada pixel e adotando-se um grau conhecido de generalização, identificam-se então *regiões, categorias ou clusters* de valores. Esta nova estrutura raster gerada é denominada de *mapa raster discretizado* (Bonham-Carter, 1994).

O procedimento utilizado com maior freqüência para geração de um mapa raster discreto se baseia na análise de histogramas de freqüência. Segundo esta técnica simples, os dados organizados em campos no mapa raster contínuo podem ser espacialmente reorganizados se utilizando determinados valores de corte que indicarão limites inferiores e superiores da nova classe gerada (Bonham-Carter, 1994).

À luz da cartografia temática, o mapa discretizado no formato matricial se estrutura segundo níveis de mensuração da informação. Através dos níveis de mensuração é possível se identificar conteúdos como:

- a forma como foi tratada a informação;
- o que é inerente às características dos dados mapeados
- como os dados estão relacionados a outros posicionados na vizinhança;
- como os dados estão relacionados a outros posicionados em outro nível de informação espacial (outro mapa temático).

De maneira ampla, é possível se agrupar os dados geográficos em dois níveis genéricos de mensuração: o nível *qualitativo* e o nível *quantitativo*. É atribuição do nível qualitativo informar "o que" existe em um dado lugar, como cidades, hospitais, lagos, rios, florestas, fazendas. Cabe ao quantitativo informar sobre as diferentes categorias de magnitudes do objeto ("quanto"), sejam elas a incidência, intensidade, a densidade, a distância, a declividade, a reflectância ou a área, entre outras.

Para que o mapa discretizado no formato matricial capte toda a complexidade da informação geográfica, se deve entendê-lo além da simples dicotomia entre qualidades, quantidades ou hierarquias. É fundamental incorporar sub-níveis de mensuração mais detalhados devendo-se analisar o mapa de acordo com quatro sub-níveis de valoração da informação geográfica: um *nominal*,

associado à informação qualitativa e três outros relacionados à informação quantitativa: *ordinal, intervalar e proporcional*. (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Sub-níveis de mensuração da informação geográfica utilizados em mapas discretizados no formato matricial. (Adaptado de Muehrcke, 1986).

Escala	Relações e Definição	Exemplos
Nominal	<p>Equacional Classe A = Classe B Classe A ≠ Classe B</p>	<p>Tipos de vegetação (Floresta, Cerrados, Campos) Tipos de Uso do Solo (Comercial, Residencial, Industrial)</p>
Ordinal	<p>Equacional Classe A = Classe B Classe A ≠ Classe B Inequacional Classe A > Classe B Classe A < Classe B</p>	<p>Hierarquia de Cidades (Grande, Média, Pequena) Intensidade de Impacto (Alto, Intermediário, Baixo)</p>
Intervalar	<p>Equacional Classe A = Classe B Classe A ≠ Classe B Inequacional Classe A > Classe B Classe A < Classe B Intervalar Escalar Classe A : [0 - 2%] Classe B: [2 - 4%]</p>	<p>Níveis de Cinza [0 - 255] Inclinação de Encostas [0 - 90°] Exposição de Vertentes [0 - 360°] Faixa Salarial [R\$ 500 – R\$ 1.000]</p>
Relacional	<p>Equacional Classe A = Classe B Classe A ≠ Classe B Inequacional Classe A > Classe B Classe A < Classe B Intervalar Escalar Classe A : [0 - 2%] Classe B: [2 - 4%] Razão entre Intervalos Classe A/Classe B</p>	<p>Densidade de População (hab/km²) Taxa de Erosão (ton/ha) Escoamento Fluvial (m³/s/km²) Renda per Capita (dólares/habitante) Redes e Fluxos (veículos/minuto) Incidência (casos/10.000 habitantes)</p>

O nível *nominal* é o mais simples, correspondendo estritamente a categorias ou tipos. Neste caso a informação é considerada relativamente homogênea dentro de uma classe. Não são contempladas as variações de valores de atributos geográficos dentro de uma mesma classe, mas apenas diferenças entre classes. Tal condição é freqüentemente utilizada para fracionar informações ambientais tipológicas em objetos exatos, regionalização de áreas de influência de postos de saúde ou diferenciação entre áreas onde foram notificados casos de doenças e áreas onde a doença não foi notificada.

Quando a informação não pode simplesmente ser diferenciada em grupos homogêneos por conter atributos que se manifestam segundo uma hierarquia relativa, o mapa discretizado deve contemplar o nível *ordinal*. Este tipo de medida é caracterizado por relações entre classes, do tipo *maior que* ou *menor que*.

Neste caso não há uma especificação do quanto uma categoria é maior ou menor que outra. Podemos citar como exemplos as categorias *mais suscetível* e *menos suscetível* à epidemia, alto e baixo risco de contágio ou também, probabilidade alta, média e baixa de ocorrer um caso de dengue.

Um tipo de mensuração mais sofisticado, o nível *intervalar*, permite que entre dois grupos sejam estabelecidos intervalos numéricos. Tais intervalos muitas vezes são arbitrários, pois são definidos a partir de uma escala contínua de valores assumidos por uma variável geográfica. É o caso dos intervalos dos mapas de número de casos de dengue notificados por município, cujos limites mínimo e máximo das categorias são estabelecidos segundo valores arbitrários ou por meio da análise do histograma de freqüência dos valores. A depender do valor de corte do histograma, o mapa discretizado resultante terá forma e distribuição espacial distinta, podendo elucidar ou mascarar detalhes importantes da área estudada.

O nível de mensuração mais sofisticado é o *relacional*. Este permite que novos grupos ou categorias sejam definidos em função da relação ou da proporção entre valores de atributos geográficos provenientes de escalas distintas; entre diferentes grupos e até entre mapas temáticos. Esta propriedade amplia e flexibiliza as possibilidades de espacialização, incorporando aos mapas as escalas

de densidades, áreas e volumes. São exemplos deste caso, a densidade de população, a taxa de incidência de uma doença na população total (casos por 10.000 habitantes), o número de casos de dengue observados em relação ao esperado para determinado município, entre outros.

4.6.2 - *Estrutura Vetorial*

4.6.2.1 - *Modelo Spaghetti*

É o modelo vetorial mais simples e mais conhecido para modelagem de dados geográficos, uma vez que se trata da transposição direta, linha a linha, do mapa analógico em formato papel para o mapa digital. Segundo este modelo cada entidade posicionada no mapa se transforma em um registro lógico no arquivo vetorial. Por exemplo, um polígono é armazenado e registrado por meio de uma seqüência fechada de coordenadas cartesianas x,y . Nesta estrutura, toda linha é um polígono aberto e se dois polígonos são adjacentes ou vizinhos, a linha que os delimita é dividida em duas, de tal forma que cada uma venha a pertencer a um dos polígonos (Peuquet, 1994).

A principal vantagem da estrutura spaghetti está simplesmente na sua organização seqüencial adequada a plotagem de mapas digitais (Bonham-Carter, 1994). Esta propriedade está relacionada à eficiência na reprodução de desenhos e mapas digitais, mantendo a semelhança com o mapa analógico. No entanto, autores apontam algumas limitações neste modelo de dados. Star & Estes (1990) argumentam, por exemplo, que este modelo vetorial não apresenta relações topológicas explícitas, exigindo, portanto, um pré-processamento de dados para adequá-lo à estrutura topológica. Por não conter atributos topológicos, o modelo spaghetti apresenta redundância nos dados e alto custo computacional.

Se considerarmos, por exemplo, um mapa composto por um conjunto de polígonos, onde cada polígono é armazenado como uma linha fechada, todas as linhas serão repetidas ou duplicadas nos limites entre polígonos adjacentes, exceto

nas bordas do mapa (Bonham-Carter, 1994). Em função destas limitações, este tipo de modelo vetorial é mais adequado à apresentação de arquivos gerados em ambiente de cartografia assistida por computador ou de desenho digital simples.

4.6.2.1 *Estrutura Topológica*

A maior limitação dos mapas armazenados no modelo vetorial spaghetti está na dificuldade de submetê-los a operações de análise espacial. As operações envolvendo unidades geográficas poligonais pertencentes a um ou mais mapas exigem que os mapas estejam estruturados em modelo vetorial topológico. Segundo este modelo cada segmento de linha individual é codificado e armazenado com base nas coordenadas de seus pontos inicial e final.

Para o caso de um polígono, as linhas divisoras que o definem são registradas independentemente como uma lista de coordenadas. Além disto, cada entidade (linha ou polígono) tem um identificador ou nome, permitindo que sejam estabelecidas relações elementares de vizinhança e conectividade (Cromley, 1992).

O modelo topológico tem um conjunto de terminologias específicas que necessitam ser previamente conhecidas para a adequada compreensão de sua estrutura no contexto vetorial. Dentre as distintas definições utilizadas para entidades vetoriais topológicas, se destacam as propostas por Cromley (1992):

- Ponto interior a uma região – é aquele cuja vizinhança está totalmente contida dentro de uma região.
- Ponto exterior a uma região ou ponto limítrofe – é aquele cuja vizinhança se situa parcialmente fora da região.
- Arco – é uma lista seqüencial de pontos exteriores, formados pela interseção de duas regiões. Um arco une duas regiões.
- Ponto interior ao arco – é aquele cuja vizinhança está totalmente contida no domínio do arco.

- Ponto exterior ao arco – neste caso a vizinhança permanece parcialmente externa ao domínio do arco. Por se tratar de pontos que unem arcos, esta entidade é também denominada de nó.
- Ilha – é uma região inscrita totalmente dentro de outra região.
- Segmento de linha – é definido por dois pontos internos a um arco. O conjunto destas entidades forma um arco.
- Polígono – é a representação geométrica da região, definido por arcos e nós, com origem e término coincidentes e formando uma área fechada.

Se compararmos a estrutura vetorial topológica com a spaghetti, notaremos em uma primeira avaliação que a topologia fornece às entidades vetoriais a organização e a referência espacial, além de simplificar a consulta e o acesso a mapas vetoriais, uma vez que utiliza como base as propriedades de conectividade e adjacência.

Um polígono não é identificado apenas pela informação que registra, mas também de acordo com polígonos que lhe são vizinhos – polígono norte, polígono sul e assim por diante. Da mesma forma uma linha também é identificada segundo sua direção, os nós iniciais e nós finais.

Entretanto, uma desvantagem comum tanto ao modelo spaghetti como ao topológico é o fato de que os registros das entidades não podem ocorrer em qualquer ordem (Peuquet, 1994). Isto dificulta a consulta de um tipo específico de entidade. Por exemplo, para se determinar todos os segmentos de linha que definem um polígono o processo de busca é exaustivo, pois a procura deve ser feita em todas as entidades existentes em um mapa, para só depois se identificar a desejada.

4.6.2.3 - *Modelo de Rede Irregular Triangulada (TIN)*

A análise de superfícies não é exclusivamente realizada em mapas estruturados no formato matricial. Não há dúvida que tal modelo é o mais

difundido, o mais maleável e o de mais fácil utilização no que se refere à compatibilidade a métodos de interpolação. Mas os mapas vetoriais podem também ser utilizados como base para geração de mapas em campos contínuos.

Nos métodos tradicionais de interpolação de superfícies, o eixo vertical z correspondente aos valores de uma variável espacializada no plano x,y representa a elevação em relação a um ponto zero de referência. Esta estrutura seria semelhante a uma série de milhares de colunas de diferentes alturas apoiadas sobre uma superfície plana.

No modelo de rede irregular triangulada, a superfície é construída segundo um conjunto de faces triangulares irregularmente distribuídas em cujos vértices se posicionam pontos correspondentes a valores da variável espacial. A conexão entre estes pontos do mapa é feita de tal forma a resultar em uma rede de triângulos interconectados. Cada triângulo se configura como uma face planar em cujos vértices estão os valores de z (Bonham-Carter, 1994)

A vantagem do modelo TIN é possibilitar a construção de superfícies com resolução variável. Enquanto no modelo raster tradicional a resolução é constante em toda a superfície e dada pelo tamanho do pixel, no modelo TIN o tamanho e a densidade da unidade organizacional mínima – o triângulo - varia por toda a superfície. Esta propriedade permite que os triângulos maiores distribuam-se em posições da superfície onde haja menor densidade de observações e os triângulos menores onde estes sejam mais densos. (Peuquet, 1994).

O modelo TIN é extremamente útil para a construção de mapas de redes de contágio espacial entre núcleos urbanos, para a delimitação de zonas de contiguidade de casos de uma epidemia, como também para a visualização da autocorrelação espacial de uma doença a partir das dimensões dos triângulos formados pela união entre os pontos onde os casos de uma doença foram observados.

4.7 - FUNÇÕES DE ANÁLISE ESPACIAL PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Um sistema de informação geográfica não é apenas um ícone da era do "automático", da "rapidez", da "precisão" e da "eficiência", como insistem os executivos e os profissionais de propaganda da indústria geotecnológica. É também – e isto interessa mais à análise geográfica e epidemiológica – uma etapa evolucionária da análise espacial, um estágio em que a análise de sistemas e as geociências se fundem em um novo paradigma: o das funções de análise espacial.

O coração de um SIG é a análise espacial - e esta visão é a mais coerente neste momento da evolução do pensamento da escola espacial da Geografia. Para se entender a análise espacial no contexto deste sistema é fundamental dar atenção às funções de análise de informações geográficas e de mapas. Qual é a característica que dá unicidade à análise espacial? O que a torna particular? É importante responder a estes questionamentos antes de se dirigir à discussão de uma tipologia de funções de análise espacial.

Um dos principais autores da corrente que advoga ser a análise espacial o coração de um SIG é o geógrafo Joseph Berry, da Universidade do Colorado. A definição para análise espacial em SIG por ele apresentada, deve ser destacada:

(...) "O coração de um SIG é a associação entre a análise espacial e o modelo relacional, que expressa a complexa relação existente entre as entidades de mapas. As relações podem ser armazenadas em estruturas dos dados (topologia) ou derivadas através da análise espacial. Por exemplo, as relações em cascata observadas entre os tributários de um rio podem ser assim modeladas quando armazenadas topologicamente em uma base de dados. Entretanto, o caminho de uma gota de chuva até o mar e o tempo que ela leva até atingi-lo pode ser derivado da base de dados por meio da análise de otimização de rotas. Técnicas de derivação como esta fazem parte das aplicações da análise espacial. (...) A análise

espacial envolve operações que dependem da localização dos dados – movendo-se de lugar, movem-se os resultados (Berry, 1996b , p. 29).

As funções (operações) de análise espacial têm como principal foco o *onde*. Em sistema de informação geográfica, cuja estrutura digital facilita enormemente o manuseio de mapas, as funções mais importantes e refinadas de análise espacial são aquelas que transformam mapas de dados em dados de mapas, gerando novos produtos cartográficos a partir de um ou mais mapas temáticos digitais. Por exemplo, sobrepondo-se um mapa dos bairros de uma cidade a outro mapa informando a distância média entre os hospitais e a residência de pessoas acometidas por uma determinada doença, se produz um terceiro mapa onde são espacializados os bairros que contém doentes situados a maiores ou menores distância dos hospitais. Este último mapa não havia na base original de dados, foi criado a partir de funções de análise espacial.

Antes de se discutir a tipologia de funções de análise espacial é pertinente se diferenciar dois importantes conceitos que algumas vezes têm sido fruto de confusão dentro da epistemologia do SIG: o conceito de *operação temática* e de *operação espacial*. Uma operação temática refere-se a um procedimento já bem conhecido, baseado no protocolo SQL (Structured Query Language), utilizado para consulta de dados geográficos em mapa. Abaixo são apresentadas duas questões espaciais possíveis de serem respondidas utilizando-se operações temáticas:

1. Quantas crianças de 0 a 5 anos (mapa 1) residem até uma distância de 500 metros do posto de vacinação (mapa 2)?
2. Qual a renda per capita (mapa 1) dos bairros onde o número de casos de dengue foi superior à média municipal (mapa 2)?

Esta categoria de operação é estruturada apenas para a consulta a dados espaciais.

As operações espaciais são mais complexas e modelísticas, baseadas em algoritmos que implicam na criação de novos dados espaciais em formato de mapas (Berry, 1996a). Por isto, a operação espacial não se trata da codificação armazenamento de dados e nem tanto da consulta e visualização dos dados em tela ou impressora ("display"), mas da criação de novas informações espaciais que poderão ser reintegradas à base de dados e posteriormente utilizadas como atributos para operações temáticas de consulta.

Tomlin (1990) apresentou uma proposta de classificação das funções de análise espacial, cuja base de agrupamento está relacionada a espacialidade da ação das funções, categorizadas em *locais*, *focais* (ou de vizinhança) e *zonais*. A reunião destas funções em uma só abordagem do espaço geográfico é denominada de modelagem cartográfica.

A classificação proposta por Tomlin (1990) permite diferentes interpretações, dada a flexibilidade proporcionada pelo parâmetro espaço-dimensional utilizado para agrupar as funções. A depender dos paradigmas e conceitos adotados pelo pesquisador, bem como, da linha de pesquisa na qual a aplicação das funções é conduzida, diferentes detalhamentos são possíveis à luz da interpretação de cada tipo de função. O detalhamento interpretativo à proposta de Tomlin tomado como referencial nesta pesquisa, foi discutido por Ferreira (1996), de cujo trabalho se refere parte das considerações transcritas a seguir.

As *funções locais* "calculam novos valores para um pixel de um mapa como função de valores explícitos associados a este mesmo pixel"; as funções de *vizinhança* ou *focais* "calculam novos valores para um pixel como função de sua vizinhança"; e as *funções zonais* são "aquelas que calculam novos valores para um pixel em função de valores explícitos associados a zonas ou regiões que incluem este pixel (Ferreira, 1996, p.488)".

Dois sub-grupos de funções locais são previstos pela classificação de Tomlin (1990): aquelas que geram novos valores como função de valores existentes no mesmo mapa - denominadas de *funções locais simples*, e as *funções locais múltiplas*, que geram novos valores para um pixel em função de valores existentes

em dois ou mais mapas. Apresentamos abaixo, um exemplo para a compreensão do alcance da função local simples.

Tomemos como base um mapa das zonas de abrangência de 5 postos de saúde em uma área urbana. Todos os pixels deste mapa estão classificados em códigos de 1 a 5, de acordo com a área à qual estão vinculados. A *função local simples* gera a partir de reclassificação dos pixels do mapa, um mapa binário apenas com a área de abrangência do posto 5. Isto se dá pela substituição dos valores de 1 a 4 atribuídos aos demais pixels, pelo valor 0 (zero), se mantendo apenas os valores originais dos pixels relativos à zona de abrangência do posto 5.

Em se tratando das *funções locais múltiplas*, ao invés de um único mapa tem-se dois ou mais mapas de uma área. Supondo que se tenha de uma mesma área urbana, um mapa do uso do solo e outro das zonas de abrangência de um determinado equipamento de saúde. Este tipo de função permite gerar um mapa das áreas de coincidência espacial entre diferentes tipos de uso do solo (residencial de alto padrão, de baixo padrão ou domicílios improvisados) em uma zona de abrangência de um hospital, por exemplo.

A classe de funções *focais* ou de *vizinhança*, estão subdivididas em dois tipos: as que geram novos valores para um pixel a partir de valores existentes em pixels situados na vizinhança imediata de um pixel alvo - denominadas de *funções de vizinhança imediata*, e as funções que geram novos valores a partir de valores de um objeto que ocupa uma ampla extensão do mapa - *as funções de vizinhança extensiva* (Tomlin, 1990 e Ferreira, 1996).

Os mapas concebidos segundo o paradigma dos campos contínuos utilizam como algoritmo de construção de superfícies as funções de vizinhança imediata. A principal aplicação desta função em epidemiologia é quando se tem o registro de casos apenas em locais isolados do espaço geográfico e se quer mapear uma superfície de dados por meio da interpolação dos valores isolados disponíveis, estimando-se assim, uma série espacial preenchida com valores interpolados.

Com a função de vizinhança local, a partir de um mapa quantitativo no formato de pontos se constrói um mapa de isolinhas representando número de

casos estimados para os locais de onde não se tem qualquer caso registrado ou notificado da epidemia. Os algoritmos utilizados como base matemática para este tipo de função são aqueles adotados nas pesquisas de geoestatística, como por exemplo, o inverso do quadrado da distância (INVDIST), a mínima curvatura (MINCURV) e a krigagem, entre outros.

As funções de vizinhança extensiva são aplicadas à produção de mapas de corredores ou de faixas concêntricas espaçadas regularmente a partir de um ponto, uma linha ou de um polígono. Estes tipos de mapas fundamentais para o desenho de "buffers" e para a realização de consulta espacial envolvendo um mapa qualitativo no formato de zonas e um mapa isoplético interpolado em superfícies.

Um exemplo clássico da aplicação deste tipo de função é o monitoramento de contaminação por radiação em casos de acidentes radioativos, como os episódios da usina nuclear de Chernobil, na antiga União Soviética e do acidente com o Césio-137, ocorrido em 1987 em Goiânia. A partir de um ponto emissor da contaminação podem ser mapeados círculos concêntricos de vizinhança extensiva e gradual, e nestes se monitorar a radiação na atmosfera em intervalos baseados na equidistância destas faixas circulares. Esta é uma estratégia adequada para responder questões de defesa civil como "até que distância da fonte emissora ou do local onde ocorreu o acidente, os níveis de radiação estão acima dos aceitáveis pelos organismos internacionais de saúde?"

A ocorrência de casos de febre maculosa na região de Campinas tem uma predominância espacial associada ao habitat de um grande roedor, a capivara. Aplicando-se a função de vizinhança extensiva e tendo como objeto de referência, a rede fluvial, se pode gerar mapas de faixas de distâncias em relação aos rios e se determinar o intervalo crítico (definido pela extensão lateral dos habitats daqueles roedores) onde ações de controle devam ser implementadas.

O último grupo de funções de análise espacial, corresponde às zonais. Estas estão subdivididas em dois grupos específicos: *as funções zonais inteiras* e *as funções zonais parciais*. As funções zonais inteiras são utilizadas quando se quer

especializar dados codificados em uma planilha, em mapas no formato de áreas (Ferreira, 1996, p.490). Neste caso, zonas inteiras serão mapeadas por meio da atribuição de dados censitários contidos na planilha a um mapa poligonal onde está a topologia das unidades administrativas. Um dos produtos desta função é o mapa coroplético.

A aplicação mais comum deste tipo de função em epidemiologia é a espacialização de dados censitários e dados de mortalidade e de morbidade, em bases cartográficas municipais. Este procedimento permite que se “veja” o espaço dos dados epidemiológicos, uma vez que a linguagem numérica tabular é convertida em linguagem cartográfica gerando-se mapas quantitativos com implantação zonal. Este tipo de mapeamento é também chamado de exploratório, e serve como base para a formulação de hipóteses geográficas sobre das doenças.

As funções zonais parciais foram desenvolvidas para a combinação entre um mapa qualitativo em implantação zonal e modelado em objetos - como o mapa de unidades administrativas - e um mapa em formato de campo contínuo - ou superfície interpolada. A combinação entre estes tipos de mapas rasterizados é efetuada com o intuito de se extrair parâmetros estatísticos de tendência central (média, mediana, e moda) e de dispersão (desvio padrão e variância), nas circunstâncias de cada objeto. Os valores dos parâmetros estatísticos são calculados tomando-se como amostras os valores dos pixels do mapa de superfície que estão inseridos nos limites de uma dada zona do mapa qualitativo.

A título de exemplificação, citamos a situação em que se quer reposta à seguinte questão espacial sobre doenças respiratórias: “qual a média da concentração de monóxido de carbono no bairro A, o qual apresentou um número elevado de casos de bronquite em relação ao esperado?” Como os valores de CO são estimados a partir de estações medidoras distribuídas irregularmente no espaço urbano, para se conhecer os valores de pontos sem valores disponíveis se deve construir uma superfície por meio da interpolação dos dados das estações. Os pixels da superfície que coincidirem espacialmente com os pixels internos ao

polígono do bairro A, terão seus valores utilizados como amostras para se obter a média de CO estimada para o bairro.

Berry (1996 a) estendeu a classificação das funções de análise espacial proposta por Tomlin (1990) ao incluir também operações aritméticas entre mapas (soma, subtração, multiplicação, divisão, etc., entre mapas); operações de acumulação (mapeamento de fluxos d'água em superfícies ou determinação de superfície de menor custo) e operações Booleanas (E, OU, NÃO etc.). A este conjunto ampliado de tipos de funções de análise espacial Berry (1996 a) denominou de mapemática.

4.8 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA CARTOGRAFIA PARA A ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS DE SAÚDE

Os estudos epidemiológicos têm demonstrado notáveis avanços no tratamento numérico e estatístico dos dados de doenças, ao aplicar e adaptar inúmeras técnicas estatísticas, paramétricas e não paramétricas, para a melhor compreensão da dimensão quantitativa das epidemias. Neste campo, marcado estritamente pela adoção da linguagem numérica, se tem notado entretanto uma relativa pobreza no tratamento gráfico das informações de saúde, caracterizada pela total ou quase total ausência de mapas temáticos.

Em geral, os estudos epidemiológicos utilizam-se de mapas no restrito objetivo de informar a localização da área de estudo, de posicionar os pontos de coletas de dados ou de comunicar graficamente apenas os limites administrativos aos quais os dados de saúde estão georreferenciados. Neste aspecto, o que se tem notado é apenas a presença do mapa de fundo ou do *mapa para se ler*, que segundo Bonin & Bonin (1989) tem como função única "a leitura para o conhecimento de elementos de detalhe, como a nomenclatura dos lugares (...) e os limites administrativos (p.94)". Este tipo de mapa não permite a compreensão mais global da informação. É notória nos estudos espaciais de saúde, a escassez do *mapa para se ver*, o mapa temático.

O mapa para se ver permite "se descobrir rapidamente a informação (...), sendo a regionalização do fenômeno instantaneamente memorizada e interpretada. Um mapa para se ver é uma imagem simples composta de uma série de elementos de detalhe onde a adição visual forma um conjunto homogêneo e significativo" (Bonin & Bonin, 1989, p.95). A tarefa mais importante e talvez uma das mais urgentes para a análise geográfica das epidemias é a inserção da cartografia temática no arcabouço metodológico da epidemiologia, permitindo assim a substituição parcial da linguagem numérica e textual pela linguagem gráfica.

A manifestação espacial das epidemias adapta-se perfeitamente aos propósitos da cartografia. (...) “a ciência da representação da distribuição espacial de fenômenos naturais ou sociais, como também, da representação de suas transformações sofridas ao longo da história, de forma gráfica e generalizada” (Salichtchev, 1978). Nesta definição de cartografia, estão claros os elementos referentes aos atributos espaciais das epidemias, produtos de relações entre o natural e o social, como também, a temporalidade – fator fundamental para a compreensão da difusão espacial de surtos epidêmicos.

É pertinente trazer a luz, neste momento, o postulado crítico e esclarecedor apresentado por Martinelli (1990, p.35), segundo o qual, “a cartografia não é simplesmente uma técnica indiferente ao conteúdo que está sendo veiculado”. Nos domínios da geografia médica, a etiologia, as formas de contágio, a distribuição espacial e a difusão espacial, bem como a incidência de casos na população, são conteúdos da análise espacial das epidemias, aos quais a cartografia não está de maneira alguma indiferente, pois as informações de saúde são, a priori, informações geográficas.

Ainda se tomando como elemento conceitual e balizador o pensamento de Martinelli (1990, p. 35), destacamos a afirmação de que “(...) se ela (*a cartografia*) pretende representar e investigar conteúdos espaciais (...) não poderá fazê-lo sem o conhecimento da essência dos fenômenos que estão sendo representados”, ou seja, se parte do conteúdo espacial da epidemia - explicado pelas técnicas e métodos de análise espacial - para a sua representação gráfica, sendo este mais um estágio a ser galgado para a compreensão da geografia das doenças. O mapa temático é então um modelo gráfico a *ser transformado* e *ser transformador* da linguagem numérica e estatística em imagem da epidemia tendo como base os postulados da gramática gráfica.

A construção de um mapa temático de atributos epidemiológicos de uma dada doença se trata, em síntese, da transcrição dos valores de uma tabela de dados epidemiológicos em um plano cartográfico bidimensional, utilizando-se como

regra visual a gramática gráfica. Para Bonin & Bonin (1989), a transcrição visual deve se basear em três fatores:

- Os níveis de mensuração dos dados
- A natureza dos signos visuais e sua implementação gráfica segundo formas geométricas;
- As variações visuais aplicadas aos signos, por meio de variáveis visuais.

4.8.1 - *Os Níveis de Mensuração dos Dados*

Em uma tabela de dados as variáveis geográficas são comparadas entre si no sentido de se atingir posteriormente no mapa, a máxima diferenciação visual coerente com a natureza do fenômeno registrado. São três as relações possíveis entre as variáveis geográficas de uma tabela: relações de proporcionalidade (ou quantitativa), de ordem (ou hierárquica) e de associação (ou qualitativa) (Martinelli, 1990 e Bonin & Bonin, 1989).

Devido ao caráter quase que totalmente numérico das informações epidemiológicas, o nível de mensuração mais freqüentemente utilizado é o da proporcionalidade. Este tipo de relação quantitativa é exemplificado pela variável coeficiente de incidência de casos (número de casos por 10.000 habitantes) ou também, pelo número de casos absolutos ocorridos em um bairro ou município. Além destes indicadores de natureza quantitativa, também se inserem neste nível de mensuração, os valores de probabilidades de ocorrência de casos de uma determinada doença em um município ou bairro.

Entre outros exemplos de possibilidades para mapa de morbidade e mortalidade, incluídas no nível quantitativo, cita-se a taxa de mortalidade de doenças ajustada à idade, a taxa de mortalidade da população padronizada por profissão e a taxa de hospitalização em um determinado município.

O nível de mensuração ordenado permite que se identifiquem categorias intermediárias aos níveis quantitativo e qualitativo. Por isto, nesta categoria de

valoração do dado de saúde é comum o uso de classificações como alto, médio e baixo; muito suscetível e pouco suscetível, acima da média e abaixo da média, e assim por diante.

O uso deste nível de mensuração é geralmente desejável quando se quer divulgar à população em geral, por meio de veículos de comunicação de massa, informações epidemiológicas referentes à gravidade da doença em determinados bairros de uma cidade. Ao invés de se utilizar os valores de taxas tais como 235,8 casos por 10.000 habitantes e 2,8 casos por 10.000 habitantes, adotam-se, respectivamente, os valores "muito alta" e "muito baixa" incidência de casos, ou "alta suscetibilidade" e "baixa suscetibilidade" de contágio da doença.

O nível de mensuração qualitativo é utilizado quando se quer simplesmente comunicar a informação pela sua tipologia ou natureza. Também denominada de diferencial, esta categoria de valores é versátil, se adaptando a uma vasta gama de símbolos. Por exemplo, um mapa da localização de postos de saúde, hospitais, clínicas, laboratórios e consultórios em uma área urbana, tem como base um banco de dados qualitativo, uma vez que estes equipamentos de saúde são apenas "diferentes entre si" pelas sua própria tipologia ou qualidade, não cabendo aqui discriminá-los com base em números ou superlativos.

Os municípios de uma região podem também ser diferenciados entre si, ao nível qualitativo, segundo a predominância de um tipo de doença endêmica. Por exemplo, os municípios onde ocorrem anualmente casos de leishmania visceral e aqueles onde são freqüentes casos de febre maculosa. Estes dois tipos de doença qualificam os respectivos municípios, atribuindo-os a uma categoria nominal, pois não é objetivo informar o coeficiente de incidência de casos, mas simplesmente onde ocorrem e onde não ocorrem casos destas doenças.

4.8.2 - *As Implantações Gráficas em Mapas*

A materialização dos objetos geográficos em um plano cartográfico contribui para que as informações de saúde a eles relacionadas, possam ser vistas como imagens gráficas totais. Por conseqüência, estas informações podem ser analisadas de acordo com as propriedades de contexto, contiguidade, vizinhança e distância. A transcrição dos dados ou das informações extraídas de banco de dados de saúde para o mapa é feita, primeiramente, a partir da implantação de signos visuais baseados nas seguintes entidades geométricas euclidianas: o ponto, a linha e a zona (ou área). O uso de cada uma destas entidades não é feito de forma arbitrária, estética ou ilustrativa, mas segundo princípios de similaridade com a forma natural do objeto ao qual está vinculada a informação.

A implantação pontual representa com mais propriedade a localização de cidades ou de sedes municipais, a posição de um hospital ou centro de saúde dentro da área urbana e a localização da residência onde foi diagnosticado um caso da doença, por exemplo. O georreferenciamento de um ponto é a etapa mais crucial da implantação pontual, pois dele depende a posição absoluta do objeto ao qual a informação faz referência, que a depender da escala, pode exigir precisões extremamente elevadas. O endereçamento espacial do ponto se faz por meio de aparelhos receptores GPS ou ainda, pela superposição do ponto a um mapa de fundo, onde estão representadas as ruas de uma cidade ou as posições dos núcleos urbanos de uma região.

A implantação linear é menos utilizada em epidemiologia e geografia médica que a forma anterior. Entretanto, pode contribuir muito em estudos de difusão espacial de doenças e também no mapeamento de vetores de contágio espacial. Em geral, as linhas são utilizadas em mapas para a transcrição de estradas, ruas, linhas aéreas e rios, entre outros. A depender da forma de contágio, o espalhamento de um vírus pode ser representado tomando como referência uma

rodovia ou o traçado de uma linha aérea. Embora a informação epidemiológica não esteja vinculada ao objeto linear utilizado como referência geográfica, este pode desempenhar importante papel como meio difusor de doenças (o espalhamento da dengue via rede de transporte) ou aglutinador de vetores (a malária e a leptospirose, cuja concentração locacional ou maior probabilidade de infecção se dão próximas a rios e várzeas).

A implantação zonal em mapas é sem dúvida a mais difundida em epidemiologia e saúde pública. Devido à similaridade entre a forma poligonal das zonas e as áreas ocupadas por municípios – ou da superfície interna ao perímetro municipal - esta figura geométrica tem grandes aplicações quando se deseja vincular os indicadores de saúde aos domínios político-territoriais do espaço geográfico. Neste caso podem ser utilizadas como zonas, inclusive as áreas de abrangência de um equipamento de saúde pública ou os bairros de uma cidade.

A principal vantagem da utilização da implantação zonal em geografia médica é a facilidade da integração entre dados de saúde e dados censitários disponibilizados por órgãos governamentais (IBGE, SEADE, DATASUS). Os dados socioeconômicos e demográficos coletados por estes organismos são totalizados por unidades zonais ou areais, como região, microregião, município e setor censitário – este último, o nível zonal de agregação espacial mais detalhado.

4.8.3 - As Variáveis Visuais Associadas às Implantações Geométricas: A Gramática Gráfica.

Um mapa é construído por meio da aplicação de variáveis visuais às implantações geométricas posicionadas sobre o lugar (x,y) ao qual a informação ou o dado de saúde (z) está referenciado. O resultado é uma imagem gráfica georreferenciada onde se vê o espaço dos casos de uma doença. A combinação entre os três níveis de mensuração dos dados (quantitativo, ordenado e qualitativo) e as três formas de implantação gráfica (pontual, linear e zonal)

As figuras 4.1 a 4.6 apresentam exemplos de representações gráficas construídas segundo preceitos da gramática gráfica, disponibilizadas propositadamente sem escala para que seja analisada apenas a visualidade do fato geográfico e não o seu tamanho real na superfície terrestre. A representação da Figura 4.1 é construída pela associação entre o nível de mensuração quantitativo e a implantação pontual. O diâmetro do ponto é diretamente proporcional ao coeficiente de incidência de casos de dengue por município. Exprime a figura, a proporcionalidade das quantidades vinculadas a pontos aos quais a informação pode estar georreferenciada (no caso, a sede municipal). A construção deste tipo de representação temática utiliza como base a variável visual de imagem denominada *tamanho*, materializada pela implementação gráfica da proporcionalidade dimensional de uma mesma figura geométrica.

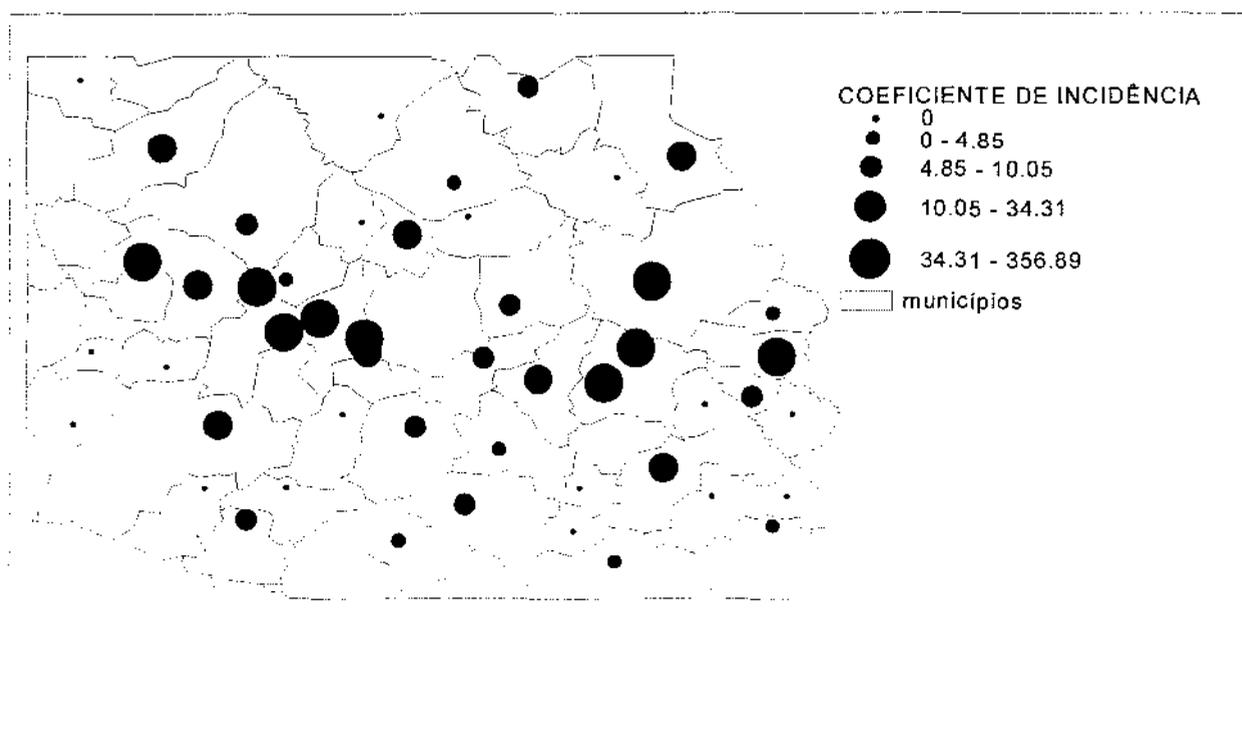


Figura 4.1 – Representação gráfica espacial em implantação pontual quantitativa, do coeficiente de incidência de casos de dengue (por 10.000 habitantes).

Outro tipo de representação temática construída com implantação pontual pode ser vista na Figura 4.2, a qual difere dada Figura 4.1 por comunicar informações qualitativas. A imagem gráfica da localização dos equipamentos de saúde em uma área urbana é comunicada de forma simples por meio do uso de uma variável visual de separação, a *forma*. Assim, por ser um hospital um equipamento diferente de um laboratório médico, os signos a estes atribuídos devem ser distintos entre si em sua forma.

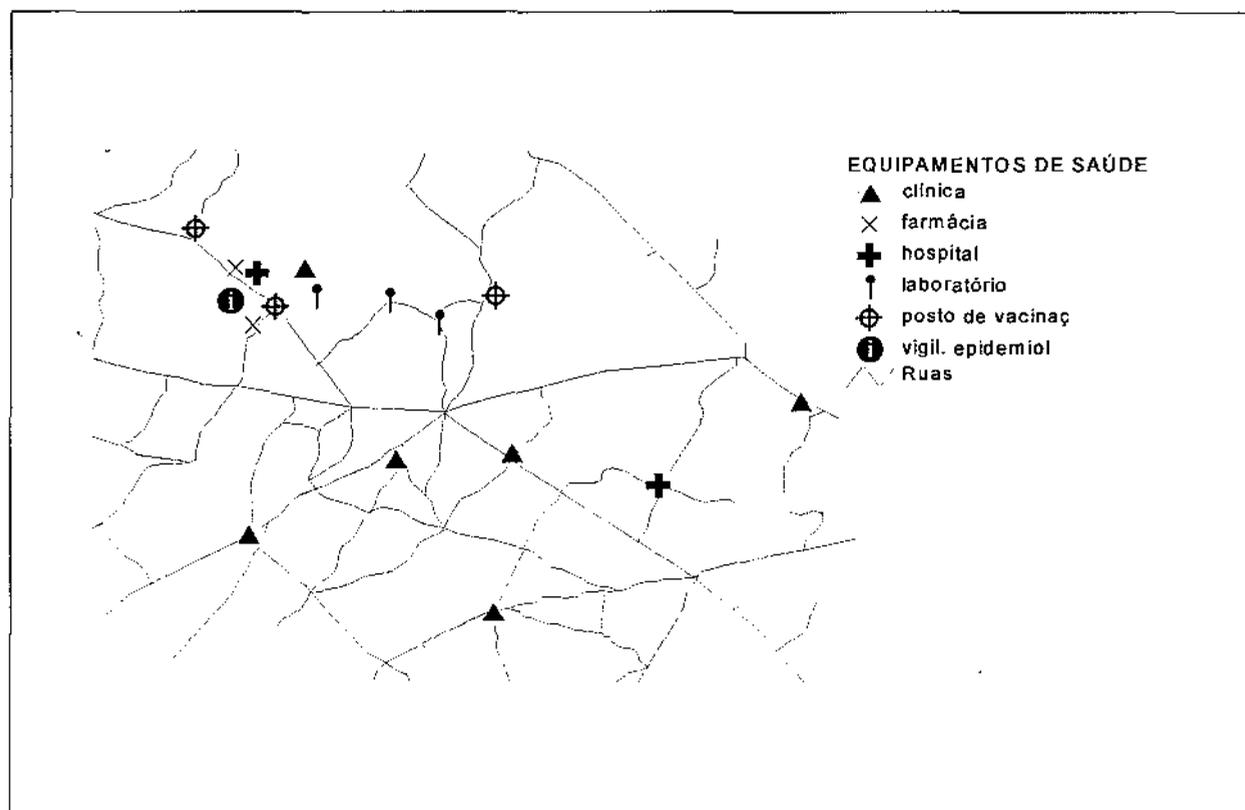


Figura 4.2 – Representação gráfica espacial em implantação pontual qualitativa, dos tipos de equipamentos de saúde existentes em uma cidade..

Exemplos de representações temáticas baseadas em implantações lineares são apresentados nas figuras 4.3 e 4.4 O caso da Figura 4.3 utiliza gramática visual adequada à comunicação de fenômenos quantitativos adotando como

referência a variável visual *tamanho*, a qual é aplicada às linhas para que seja vista a intensidade e a orientação de fluxos seja vista a partir da largura das linhas.

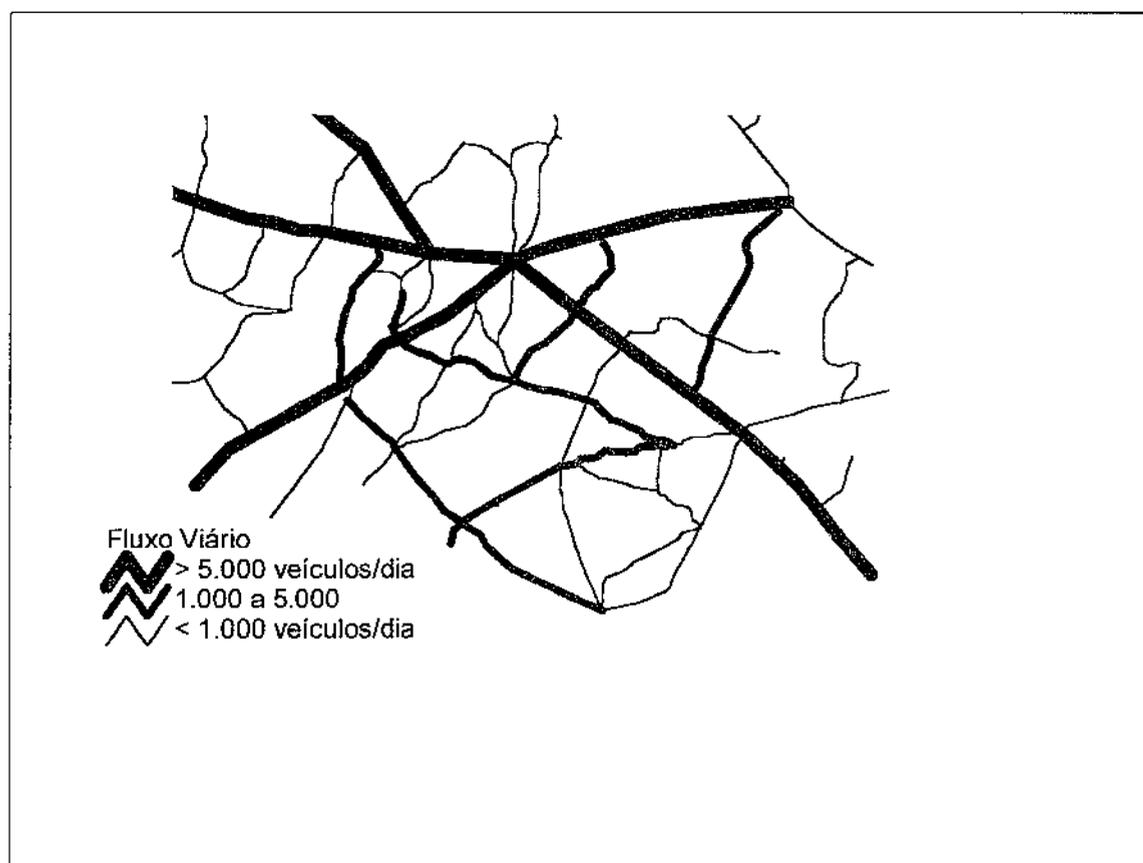


Figura 4.3 – Representação gráfica espacial em implantação linear quantitativa, do fluxo viário de veículos em ruas.

Quando a informação está associada a objetos com similaridade linear mas diferenciáveis em um nível de mensuração qualitativa, a variável *tamanho* é mantida constante na imagem gráfica e se busca a separação visual baseada na forma das linhas. É o exemplo da representação disponível na Figura 4.4, que tem como objetivo comunicar a espacialidade dos diferentes equipamentos públicos de transporte rodoviário de uma região. Por se tratar de categorias nominais, a imagem tem mais eficiência visual quando se atribuem signos de formas variadas às diferentes categorias viárias.

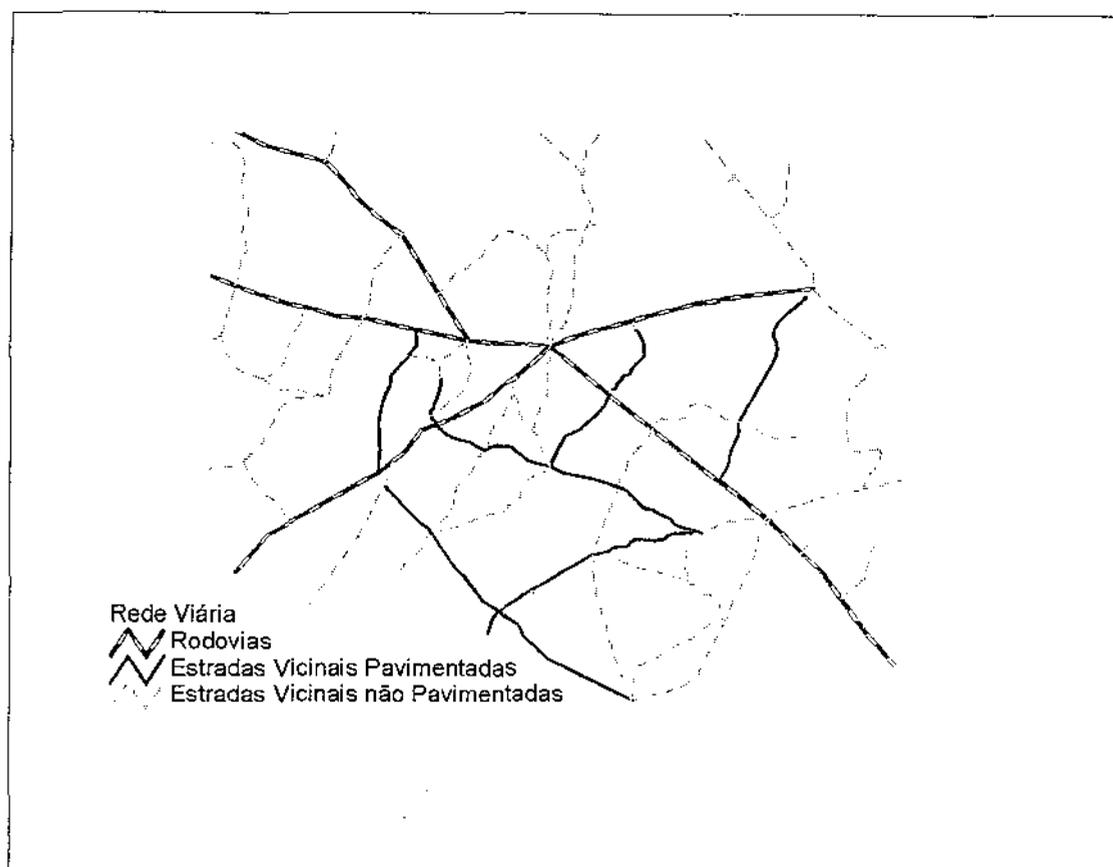


Figura 4.4 – Representação gráfica espacial em implantação linear qualitativa, dos diferentes equipamentos públicos de transporte.

Exemplos de representações temáticas zonais encontram-se nas figuras 4.5 e 4.6. A primeira delas (Figura 4.5) se trata da espacialização de informação quantitativa tendo como âncora espacial os polígonos, que poderiam estar delimitando diferentes bairros. A informação renda per capita, por assumir valores proporcionais às quantidades, é mais eficientemente comunicada quando se utiliza como variável visual o *valor*. O conceito de valor exprime uma variação do claro ao escuro ou também de tonalidades de uma mesma cor (Bonin & Bonin, 1989; Martinelli, 2003). Este tipo de representação temática é conhecido por representação coroplética (*choros* = lugar, *plethos* = intensidade, densidade). Na Figura 4.5, a variabilidade espacial da renda per capita é visualizada por meio das

variações dos tons de cinza atribuídos às áreas definidoras dos bairros de acordo com o valor da renda per capita.

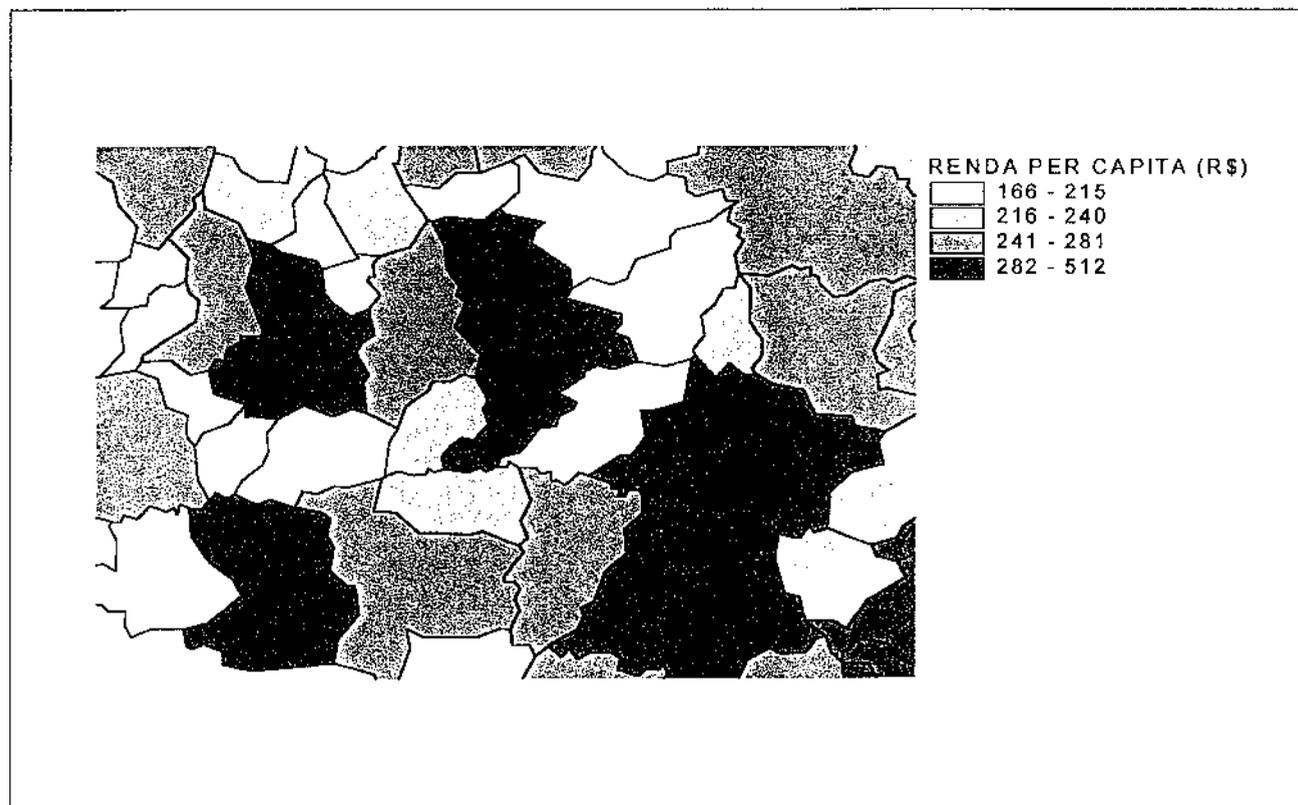


Figura 4.5 – Representação gráfica espacial em implantação zonal quantitativa, da renda per capita por bairro do espaço urbano.

O tratamento gráfico de informações qualitativas por meio de implantações zonais (Figura 4.6) tem maior eficácia quando se utiliza a variável *cor*, evitando-se as variações tonais de uma mesma cor. Adota-se o *verde*, o *vermelho*, o *amarelo* e o *roxo*; ao invés da seqüência *amarelo claro*, *amarelo escuro*, *laranja*, *vermelho*. Estas cores são atribuídas a zonas ou áreas, procurando evidenciar ao máximo o conteúdo diferencial da informação.

Outro procedimento possível para a representação qualitativa em zonas é aquele que se baseia na variável visual *granulação*. Segundo as características

desta variável, os elementos constituintes da trama (pontos e traços) variam de tamanho e não de valor, sendo esta variação textural essencialmente diferencial (Bonin & Bonin, 1989). A Figura 4.6 mostra um exemplo para este tipo de representação temática.

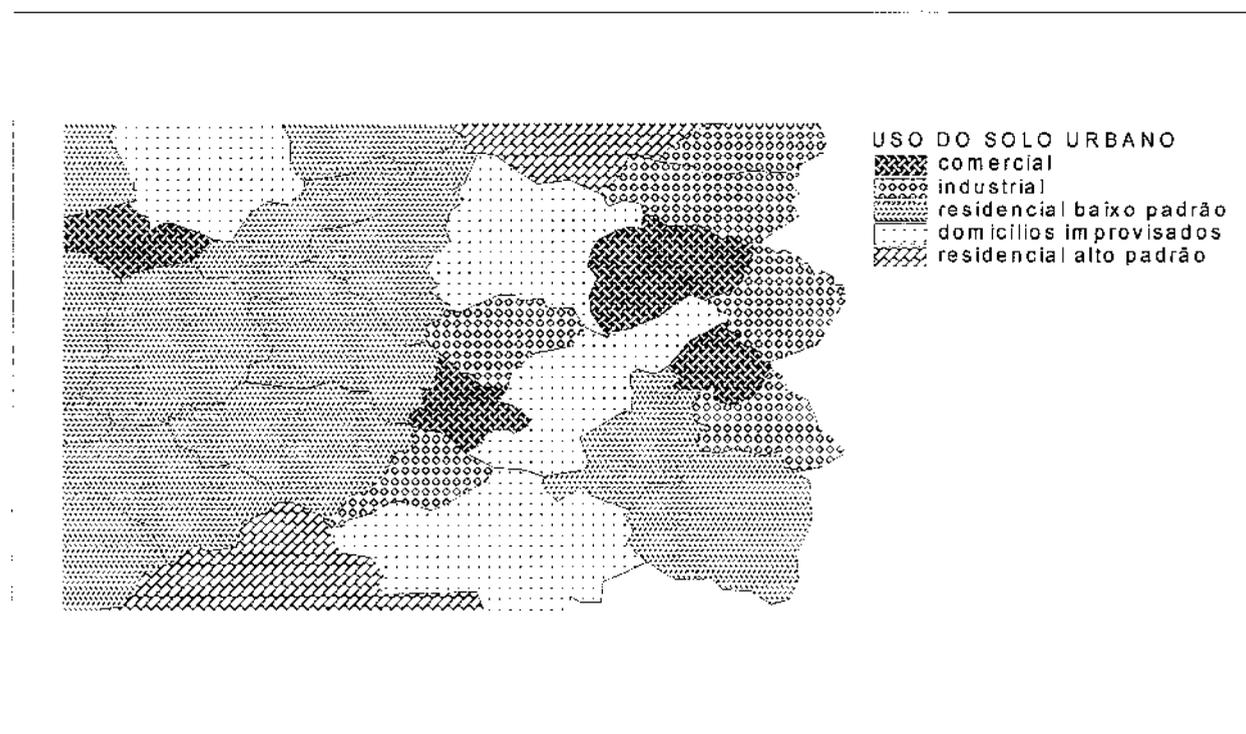


Figura 4.6 – Representação temática em implantação zonal qualitativa, do uso do solo urbano

A representação qualitativa zonal, seja aquela construída pela variável visual *cor* ou a construída pela variável visual *granulação*, tem como objetivo isolar cada um dos elementos constituintes da imagem (por exemplo, o uso do solo em um bairro) não permitindo porém criar uma imagem global igualmente eficiente. A não ser quando as propriedades de contiguidade e vizinhança manifestam-se claramente, como é o caso do agrupamento espacial dos bairros classificados como “residencial de baixo padrão”.

4.8.4 - *Sistemas de Referência Locacional para Mapas*

Os mapas e as cartas revelam propriedades notáveis como distância, vizinhança e conectividade entre sítios. A localização relativa entre informações é, portanto, a principal identidade de um mapa. A transformação do espaço geográfico real em espaço geográfico digital compatível com funções de análise espacial de um SIG tem início na implementação de modelos geométricos responsáveis pela construção do espaço no formato gráfico de um mapa. Para tal transformação, utilizam-se dois tipos de modelos - os modelos de referência locacional e os modelos de projeções cartográficas.

A elaboração de mapas epidemiológicos, assim como qualquer outro tipo de mapa temático, se faz inicialmente a partir do posicionamento de dados obtidos da superfície da Terra em base cartográfica - ou plano cartográfico. A validade da análise espacial de dados epidemiológicos depende, inegavelmente, da precisão da posição geométrica destes dados na superfície terrestre e na base cartográfica.

O posicionamento de dados de saúde deve ser realizado com base em sistemas de referência locacional. São reconhecidos dois tipos de sistemas de referência locacional para informações geográficas: *os sistemas de referência empírica* - onde a posição da informação é definida em relação à posição concreta de um objeto geográfico e *os sistemas referência geométricos* - onde a posição da informação é definida em relação a uma grade ou a um plano bidimensional arbitrário (Gersmehl, 1991; Muehrcke, 1986).

4.8.4.1 - *Sistemas Referência Empírica*

Trata-se do sistema mais simples, subjetivo e menos preciso para determinação de posições geográficas. Segundo este sistema, um objeto pode ser referenciado com base em dois níveis: o *egocêntrico* e o *ambiental*.

- Egocêntrico - A localização de um objeto requer que se esteja próximo o suficiente para vê-lo. Neste tipo de posicionamento são utilizadas posições como "à esquerda de" ou "à direita de" alguém.
- Ambiental - A posição é relacionada segundo indicadores concretos, como marcas de referência naturais ou artificiais no terreno, rotas definidas a olho nu e redes de endereços.

Pode-se determinar a posição de um objeto utilizando como referência sua proximidade a monumentos ou prédios, por exemplo. Este sistema só é útil quando duas condições são satisfeitas:

- a informação geográfica está próxima às marcas de referência
- tanto a pessoa que está comunicando, como aquela que está recebendo a informação, devem saber onde estão estas marcas de referência.

Por exemplo, na informação geográfica do tipo – "o posto de saúde está localizado em frente à escola" – "posto de saúde" é o objeto e "escola" é uma marca de referência. A limitação deste sistema é a necessidade de existência de um grande número de marcas para se determinarem todas as posições existentes em uma área (Gersmehl, 1991). Como isto é impossível de ser realizado, a solução correta é a utilização de um plano cartográfico onde todas as posições estejam geometricamente determinadas por meio de coordenadas.

Utilizando-se um *sistema de rotas*, adota-se como marcas de referência um conjunto de pontos alinhados. Permite este sistema obter a posição de uma informação geográfica ao longo de uma linha que esteja obrigatoriamente unindo ao menos duas marcas de referência conhecidas. É o caso, por exemplo, da informação do tipo "o posto de saúde se localiza na Av. das Nações, a um quarto do caminho entre o hospital e o shopping center". Aqui temos o "posto de saúde"

como a informação, "hospital" e "shopping center" como marcas de referência e a avenida como rota que une estas duas marcas.

No *sistema de endereços* a localização da informação pode ser feita com base em uma rede de estradas ou de ruas. Este modelo é eficiente apenas em cidades que apresentam um padrão numérico de endereçamento facilmente identificável, mesmo por aqueles que não conhecem a malha de ruas e avenidas da área urbana. Um exemplo de localização neste sistema seria "o posto de saúde está na Av. 15 , entre as ruas 21 e 22".

Embora amplamente utilizados para a comunicação informal, os sistemas de referência empírica mencionados são extremamente elementares. Devido à imprecisão e à subjetividade presentes na determinação da posição absoluta, estes sistemas não podem ser utilizados em modelos mais complexos de posicionamento como os mapas. Para o caso dos documentos cartográficos utilizam-se *sistemas analítico-geométricos* baseados em coordenadas matemáticas superpostas ao espaço geográfico.

4.8.4.2 - *Sistemas de Referência Analítico-Geométricos*

Como foi discutido na seção anterior, os sistemas de referência empírica são demasiadamente pessoais e não se adaptam a contextos onde não seja possível a utilização de marcas de referência. Para que a informação geográfica tenha valor como lugar na superfície terrestre ele tem que estar referenciada a sistemas mais abstratos que permitam posicionar um objeto com relação a outro situado em qualquer ponto da superfície terrestre.

Tratam-se estes de sistemas de posicionamento por coordenadas ou grades arbitrarias, onde as intersecções entre linhas e colunas fornecem a posição da informação geográfica em um contexto global do planeta e não apenas no contexto particular do observador.

De forma geral são conhecidos dois tipos fundamentais de sistemas de coordenadas matemáticas mais comumente utilizados para o posicionamento de informações geográficas: os sistemas de coordenadas *ortogonais* e os sistemas de coordenadas *esféricas* (Figura 4.7).

a) Sistemas de Coordenadas Ortogonais

Também conhecidos como sistemas coordenadas cartesianas ou coordenadas planas, têm como base uma grade retangular onde a posição da informação é conhecida por meio da medida de distância em relação a duas linhas arbitrárias de referência, formando eixos perpendiculares. Tais eixos X e Y, intersectam-se em um ponto denominado origem do sistema onde assumem valor zero. Neste ponto, a posição é simbolizada por (0,0). Em termos geográficos os eixos X e Y podem ser substituídos respectivamente pelos eixos *E* e *N*, mundialmente conhecidos por *Easting* (leste) e *Northing* (norte).

Isto facilita o entendimento de sua aplicação geociências, substituindo a abstração matemática e adaptando-a ao contexto dos mapas e das posições terrestres. Neste sistema qualquer informação geográfica pode assumir uma posição (P) dada pela notação $P = (E,N)$ e cujas coordenadas são expressas em unidades métricas (quilômetros ou metros, em geral).

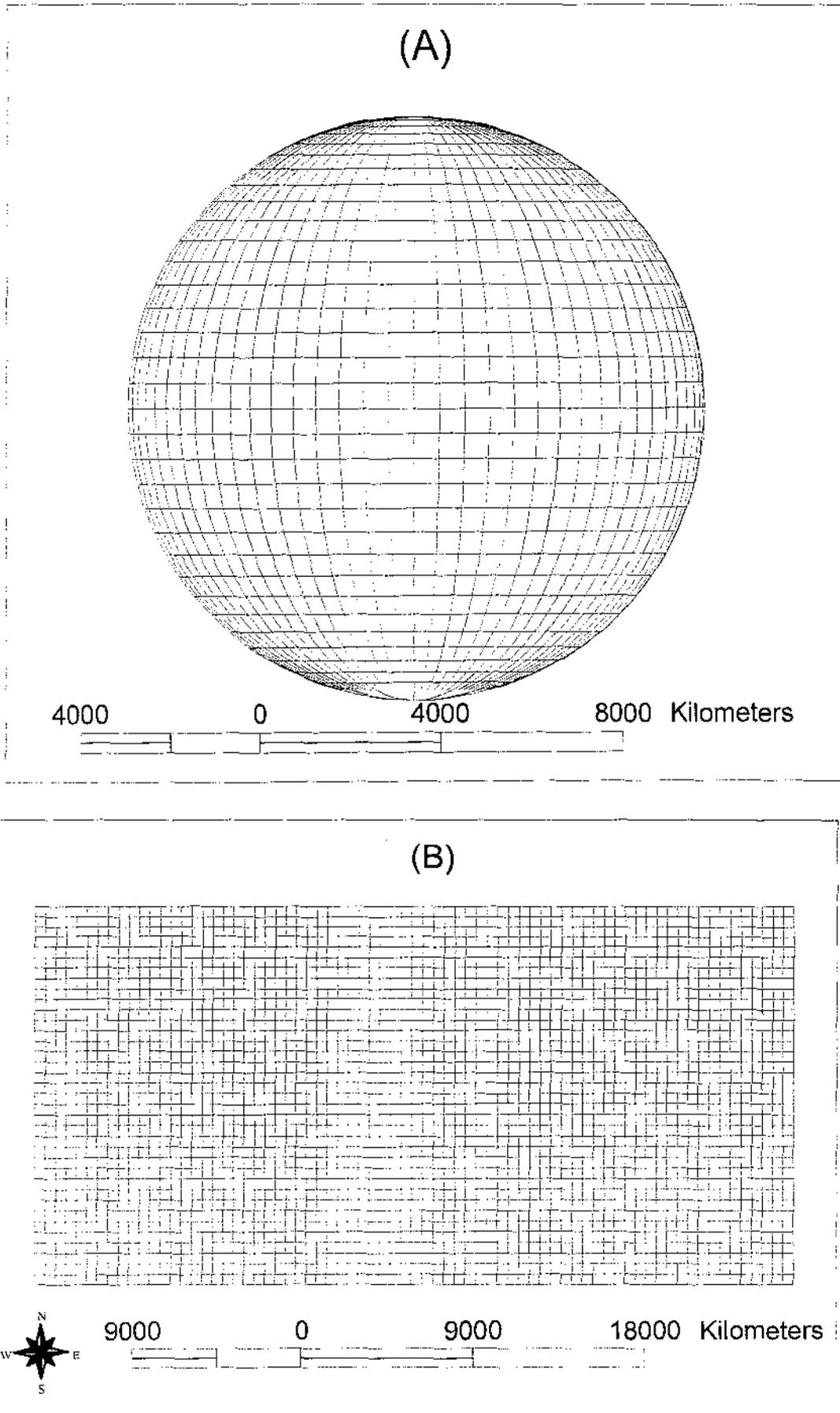


Figura 4.7 – Sistemas de referenciamento esférico (A) ortogonal (B)

O principal tipo de sistema ortogonal construído para o posicionamento geométrico de dados geográficos é o sistema UTM, baseado na projeção cartográfica homônima.

b) Sistema de Coordenadas Esféricas

Este sistema de coordenadas apresenta uma relativa complexidade se comparado aos anteriores, uma vez que permite o posicionamento da informação em pontos situados na superfície de uma esfera. Por esta razão este sistema é a base matemática do *sistema de coordenadas geográficas*, o mais utilizado para representação de qualquer posição na superfície terrestre em escala global.

No sistema de coordenadas geográficas um plano orientado na direção leste-oeste, denominado *equador*, divide a Terra em dois hemisférios. Este plano é utilizado como origem do ângulo das *latitudes* (α). Os valores de α crescem em direção ao norte como em direção ao sul, onde igualmente atingem o valor máximo de 90° - respectivamente pólos Norte e Sul.

Semelhante ao plano do equador, se adota de forma arbitrária um outro plano, orientado na direção norte-sul e perpendicular ao equador, utilizado como origem do ângulo das *longitudes* (β). Enquanto a linha do equador foi definida geometricamente dividindo a esfera terrestre em duas semi-esferas (ou hemisférios), este outro plano onde $\beta = 0^\circ$ poderia ser posicionado em infinitos meridianos, desde que faça simultaneamente interseção com os dois pólos terrestres.

Em 1884 foi convencionado internacionalmente que o plano utilizado como origem das longitudes seria aquele que contivesse um de seus pontos localizado no Royal Observatory at Greenwich, em Londres. Por esta razão, fruto muito mais da geopolítica inglesa da era vitoriana que propriamente uma lei geométrica, o plano de origem das longitudes passou a ser denominado de *Meridiano de Greenwich*.

As linhas onde se localizam todos os pontos de mesma latitude são paralelas ao equador e por tal razão, são denominadas de *paralelos*. Já as linhas formadas por todos os pontos de mesma longitude são denominadas de *meridianos*. Os paralelos e os meridianos intersectam-se em ângulos retos, sendo que os meridianos intersectam-se entre si apenas em dois pontos terrestres - nos pólos norte e sul.

Assim, qualquer informação referenciada no sistema de coordenadas geográficas é posicionada segundo duas medidas: o *arco de paralelo* (α) e o *arco de meridiano* (β). Tomando-se como origem a linha do equador (0°), os paralelos pertencerão ao intervalo [$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ Latitude N] no hemisfério norte e [$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ Latitude S] no hemisfério sul. Adotando-se como origem arbitrária o meridiano de Greenwich (0°) os ângulos de meridiano pertencerão aos intervalos [$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ Longitude W] e [$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ Longitude E].

Os comprimentos, em unidades métricas, dos arcos de latitude e longitude não são constantes em toda a superfície terrestre, variando a depender da região do planeta. O valor em metros de um grau de longitude na superfície terrestre pode variar de 111.321 m nas proximidades do equador até 0 m na extremidade de um dos pólos terrestres (Muehrcke, 1986). Por exemplo, 1° de longitude em Macapá - AP (latitude 0°) corresponde a um comprimento aproximado de 111 km na superfície terrestre. Já em Porto Alegre - RS (latitude 30°) um grau de latitude equivale a aproximadamente 96 km e em Porto Stanley, Ilhas Malvinas (latitude 51°) a 70 km.

Estes dados revelam que nas baixas latitudes - próximo à linha hemisférica do equador - o comprimento do arco de 1° de longitude é muito maior que o mesmo arco situado nos pólos - ou seja, há um achatamento da superfície da Terra nas imediações de seus pólos. Como o raio polar terrestre (r_p) é menor que o raio equatorial terrestre (r_e), a Terra se assemelha à figura geométrica de uma elipse.

O grau de achatamento da Terra, medido pelo coeficiente de elipsidade (E), é definido pela seguinte relação:

$$E = (r_e - r_p) / r_e$$

Se $E=0$ os raios polar e equatorial são iguais e setem a esfera perfeita. Se $E=1$ o raio polar tende a zero e se tem o achatamento total, restando apenas o plano equatorial. Em termos práticos, nos pólos $r_p = 6356$ km e no equador $r_e = 6378$ km, mostrando que a Terra tem um grau de achatamento de 0,0034.

Devido à irregularidade da forma terrestre e às variações locais da força gravitacional, os raios r_e e r_p não são constantes e assumem diferentes valores a depender da latitude ou longitude da região terrestre considerada. Em função desta dependência entre os parâmetros gravidade terrestre, raios polar e equatorial, latitude e longitude; foram estabelecidos diferentes elipsóides adaptados a diversas regiões do planeta, de acordo com condições geométricas particulares, dadas pela variabilidade dos raios terrestres. Cada elipsóide tem valores específicos para os raios equatorial e polar. A Tabela 4.1 mostra valores de r_e e r_p para alguns elipsóides padrão adotados para diferentes regiões da Terra.

Tabela 4.1 – Valores do raio equatorial (r_e) e raio polar (r_p) de alguns elipsóides, e suas respectivas regiões onde são utilizados para o mapeamento.

Fonte: ESRI (1993)

Elipsóide	Data	r_e (m)	r_p (m)	Região Terrestre
Airy	1830	6.377.563	6.356.256	Grã-Bretanha
Clark	1866	6.378.206	6.356.583	América do Norte e Filipinas
Everest	1830	6.377.276	6.356.075	Índia, Ceilão e parte da Malásia
Krasovsky	1940	6.378.245	6.356.863	Rússia e Leste Europeu
South American Datum (SAD69)	1969	6.378.160	6.356.774	Brasil e América do Sul
WGS84	1984	6.378.137	6.356.752	Todas as regiões terrestres

4.8.5 - Projeções de Mapas

É senso comum que a forma mais fiel para a representação da Terra é por meio da utilização do globo terrestre. No globo, qualquer informação geográfica pode ser espacializada, considerando a esfericidade terrestre e o achatamento dos pólos, sendo por isto, posicionada corretamente por meio de um sistema de coordenadas esféricas. Parâmetros geométricos como *distância, área, forma e direção*, permanecem relativamente inalterados em relação à realidade da superfície terrestre, o que resulta na menor distorção geográfica possível.

Entretanto sabe-se que o uso do globo terrestre apresenta algumas inconveniências óbvias, mas dignas de se destacar (Muehrcke, 1986):

- Não é possível se ver toda a superfície terrestre de uma só vez. É necessário girar o globo para acessar uma informação que está posicionada em hemisfério oposto.
- Não é possível dobrar o globo e coloca-lo no porta luvas de um carro e leva-lo para uma viagem.
- O cálculo de distâncias feitas sobre um globo é muito mais complexo que em um plano, uma vez que exige conhecimentos de trigonometria esférica. No plano, as distâncias são calculadas de forma simples, pela geometria euclidiana.
- Não é possível se construir um globo grande o suficiente para que nele sejam representados, os bairros de uma cidade, as suas residências, ou as trilhas em uma área montanhosa. Para isto, deveria ter este tal globo um tamanho incomum. Por exemplo, para representarmos a Terra na escala 1:25.000 – representação em que uma praça teria pouco menos que 1 cm² – este globo deveria ter quase 540 metros de diâmetro. A distância entre os pólos deste globo seria quase igual à diferença entre os pontos mais alto e mais baixo da Serra do Mar em Cubatão - SP.

A solução para estas limitações pragmáticas decorrentes do uso do globo terrestre para o referenciamento da informação geográfica é a transformação da esfericidade da superfície terrestre em um plano cartográfico, representável em uma folha de papel. A esta transformação denomina-se *projeção de mapas* ou *projeção cartográfica*.

Em sentido mais amplo da definição, a projeção cartográfica é uma transformação do sistema de coordenadas esféricas para o sistema de coordenados ortogonais. Ao projetarmos a esfera em um plano, qualquer posição pode ser dada por meio de pares de coordenadas de uma grade simples estruturada em um plano cartesiano.

Uma projeção plana pode apresentar, a depender da localidade no mapa, igual espaçamento entre linhas e colunas. Esta característica permite que sejam feitas medidas de comprimento, área e perímetro com maior precisão e menor complexidade que se fossem feitas no sistema de coordenadas geográficas.

A projeção cartográfica é composta de um sistema de funções matemáticas que possibilita a transformação da superfície tridimensional da esfera terrestre em uma folha cartográfica plana. Uma vez que os mapas são planos, as coordenadas esféricas sofrem um achatamento da superfície. Como resultado deste achatamento ocorrem erros ou distorções que serão maiores quanto maiores forem as áreas mapeadas. Isto se deve ao aumento da curvatura terrestre presente em mapas de grandes territórios, continentes e hemisférios. Para a minimização destes erros foram construídos diversos tipos de projeções destinadas a diferentes regiões terrestres ou a diferentes escalas de abordagem dos mapas.

São conhecidas dezenas de projeções cartográficas concebidas para serem utilizadas de acordo com as particularidades terrestres das diversas regiões do planeta (Quadro 4.2). A literatura cartográfica e geográfica tem relacionado inúmeras projeções cujas características, aplicações e limitações já foram extensamente publicadas. As projeções aqui discutidas se referem às mais utilizadas na análise espacial, principalmente no que tange ao georreferenciamento.

As projeções cartográficas mais difundidas para o mapeamento de informações geográficas classificam-se em três tipos básicos: as *azimutais*, as *cilíndricas* e as *cônicas*.

Quadro 4.2 – Características principais e propriedade espacial preservada segundo família de projeções cartográficas. Fonte: adaptado de Muehrcke (1986), Gersmehl (1991) e ESRI (1993).

Família de Projeções	Propriedade	
	Espacial Preservada	Características Principais
Conformes	Forma	<ul style="list-style-type: none"> ▪ As linhas da grade (lat/long) são perpendiculares. ▪ Não se aplicam à grandes extensões territoriais, pois nestas dimensões há grandes deformações. ▪ São mais adequadas para representar e analisar movimentos ou deslocamentos. Muito utilizadas em cartas de navegação e cartas meteorológicas. ▪ Distorcem áreas e direções
Eqüidistantes	Distância	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preserva as distâncias entre determinados locais do mapa. Esta característica é parcial e não se aplica a todos os locais do mapa. ▪ As distâncias verdadeiras só aparecem em algumas linhas do mapa onde a escala é constante. Devido ao achatamento do globo, nenhum mapa tem escala constante.
Equivalentes	Área	<ul style="list-style-type: none"> • Os meridianos e os paralelos não apresentam interseção em ângulo reto • O ajustamento da escala se dá ao longo dos meridianos e paralelos. • Apresentam excessivo alongamento, compactação ou distorção na grade lat/long, principalmente nas bordas do mapa.
Azimutais	Direção	<ul style="list-style-type: none"> • Ao contrário das projeções conformes, estas preservam os ângulos da curvatura do globo, em qualquer ponto do mapa. • Tem geometria simétrica em torno de um ponto central, baseada em grandes círculos concêntricos que informam o azimute (direção) de todos os pontos em relação ao centro.

4.8.5.1 - Projeções Azimutais

Os mapas construídos com base nesta projeção têm como referência geométrica um plano tangenciando uma esfera, sendo que, no ponto de contato entre o plano e a esfera a distorção tende a zero (Figura 4.8). Na figura, este ponto de contato situa-se no centro do mapa na interseção entre o meridiano de Greenwich e a linha do equador. A distorção aumenta em direção às suas bordas,

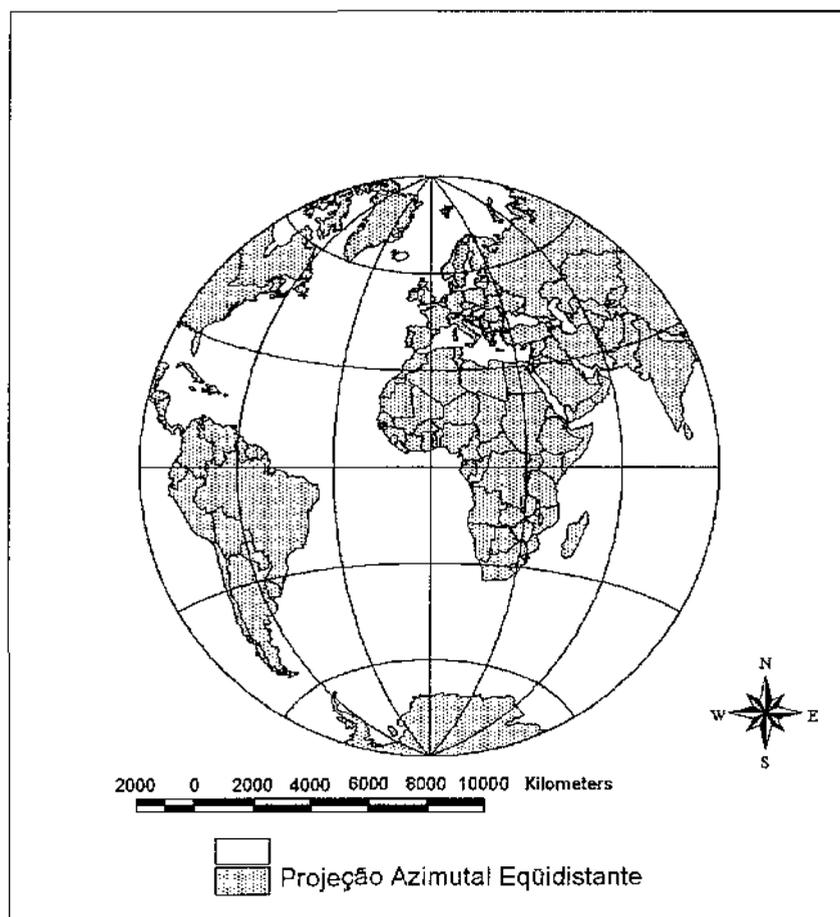


Figura 4.8 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Azimutal Eqüidistante: centro na interseção do meridiano de Greenwich com a linha do Equador.

principalmente ao sul da América do Sul, a nordeste da Ásia e a leste da do Norte. A depender da posição do centro da projeção, ou *ponto de luz*, uma projeção azimutal pode ser classificada em três categorias: *ortográfica*, *estereográfica* e *gnomônica* (Figuras 4.9, 4.10 e 4.11).

O mapa elaborado a partir da projeção ortográfica representa seus objetos de tal forma a sugerir que o observador estivesse situado em um ponto muito distante da Terra, talvez em outro planeta (Figura 4.9). Se o mapa foi construído de forma a indicar que o olhar do observador estivesse em um ponto posicionado

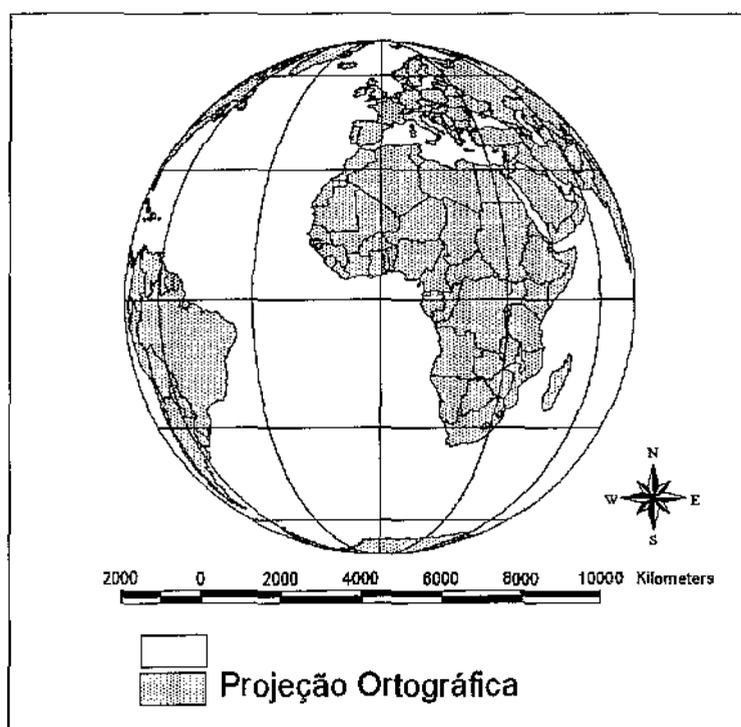


Figura 4.9 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Ortográfica. (Nota-se a esfericidade terrestre perfeita e a visão do planeta como um todo).

na Terra, então se diz que o mapa foi construído na projeção estereográfica. Mas se o ponto de posição do observador estivesse no centro da Terra, está se referindo à projeção gnomônica.

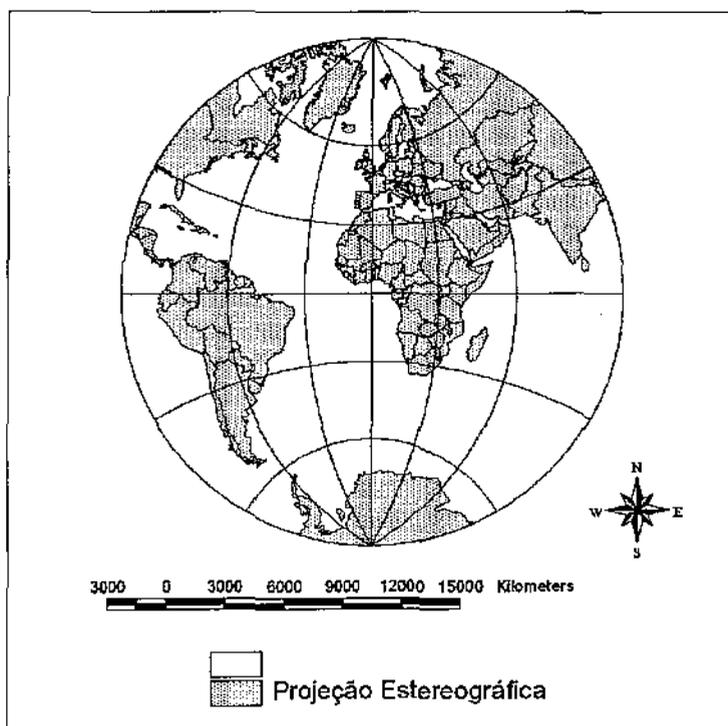


Figura 4.10 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Estereográfica. (Comparando-a à Projeção Ortográfica, nota-se a diferença de escala, a presença de um maior número de continentes no mapa e a maior distorção nas bordas do mapa).

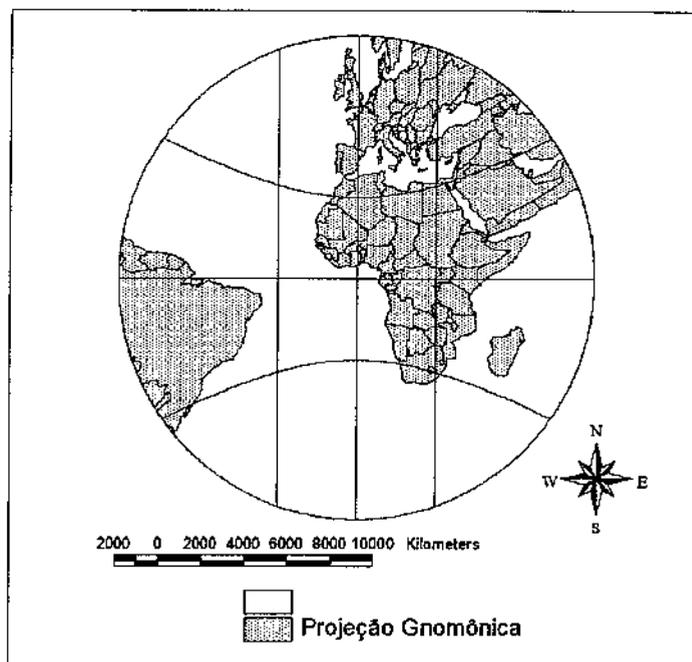


Figura 4.11 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Gnomônica. (Comparando-se às projeções anteriores, destaca-se a posição dos continentes na parede externa da esfera, como se o observador os visse do centro da Terra).

O Quadro 4.3 apresenta a síntese das principais características das projeções ortográfica, estereográfica e gnomônica e suas aplicações mais relevantes.

Quadro 4.3 – Principais características e aplicações mais relevantes das projeções azimutais. Fonte: adaptado de Muehrcke (1986), Gersmehl (1991) e ESRI (1993).

Tipo de Projeção Azimutal	Características Principais	Aplicações
Gnomônica	As linhas retas representam as menores distâncias entre os pontos. Distorce muito as <i>formas</i> e as <i>áreas</i> dos territórios.	Mais utilizada em navegação aérea e marítima.
Ortográfica	Nesta projeção é mantida a aparência do globo terrestre. Aumenta a distorção da formas e das direções nas proximidades das bordas da projeção.	É utilizada geralmente em ilustrações simples de jornais e revistas.
Estereográfica	As medidas de distância em relação ao centro da projeção são precisas. Permite também a determinação exata das direções. Distorce as áreas e as formas nas proximidades da borda da projeção.	Muito útil para fins militares para o controle de tráfego em torres de aeroportos.

4.8.5.2 - *Projeções Cilíndricas*

Nas projeções cilíndricas, a grade de coordenadas geográficas é projetada sobre um cilindro, cujo diâmetro é igual ao do globo. O contato entre o globo e o cilindro pode ocorrer ao longo de uma linha de tangência, seja em um meridiano qualquer ou na linha do equador. Se ao invés de um contato tangencial entre as superfícies do cilindro e da esfera, a interseção entre estas figuras ocorrer ao longo de dois paralelos ou dois meridianos, dizemos que o cilindro é secante à esfera.

A depender do aspecto do cilindro em relação ao globo uma projeção cilíndrica pode ser classificada como transversa, normal ou oblíqua. Uma projeção tem aspecto transversal quando as linhas de tangência ou de secante coincidem com quaisquer meridianos. O aspecto normal de uma projeção ocorre quando as linhas de tangência ou de secante coincidem com o paralelo 0° , a linha do equador. Neste tipo de projeção os paralelos e os meridianos têm espaçamento igual e constante na superfície projetada e apresentam sempre ângulos retos entre si. Com relação ao aspecto oblíquo de uma projeção se deve destacar o fato de ser esta categoria diferente das anteriores por não apresentar qualquer simetria com relação aos paralelos ou meridianos.

A Figura 4.12 apresenta um mapa construído com base na projeção cilíndrica equivalente no aspecto transversal, em escala mundial. Esta categoria de projeção cilíndrica mantém a área original dos países, mas altera substancialmente suas formas originais. Nota-se pela figura que países e continentes situados nas altas latitudes - norte da Europa, Canadá, Groenlândia, sul do Chile e da Argentina e Antártida - sofrem profundas distorções em suas formas reais. Entretanto a concepção desta projeção tem a finalidade manter inalteradas as distâncias entre as localidades terrestres quando representadas em mapa.

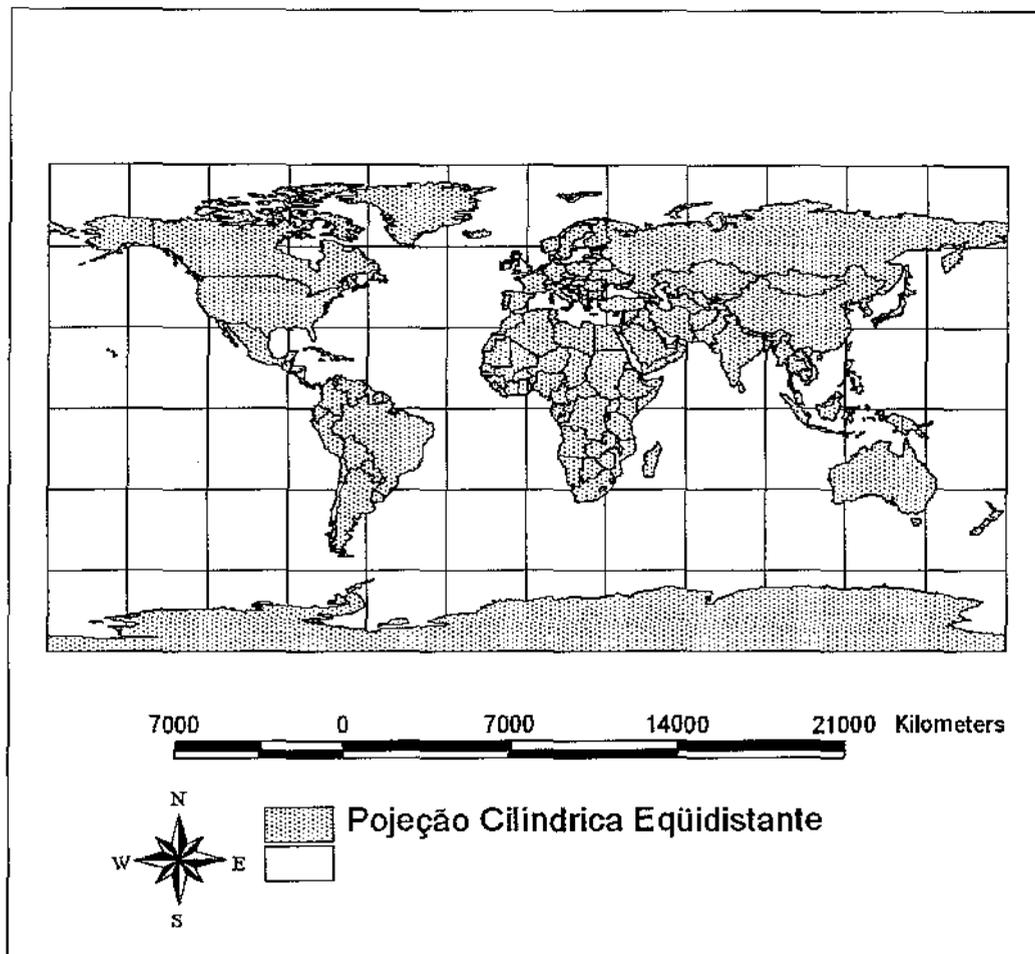


Figura 4.12 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cilíndrica Eqüivalente. (Notar as alterações na forma original dos países localizados nas altas latitudes).

A Projeção Cilíndrica Conforme de Mercator (Figura 4.13) foi concebida por Gerhard Mercator em 1569 para resolver um dos principais problemas dos

navegadores do século 16: o de representar as direções obtidas por bússola em dois pontos como uma linha reta no mapa.

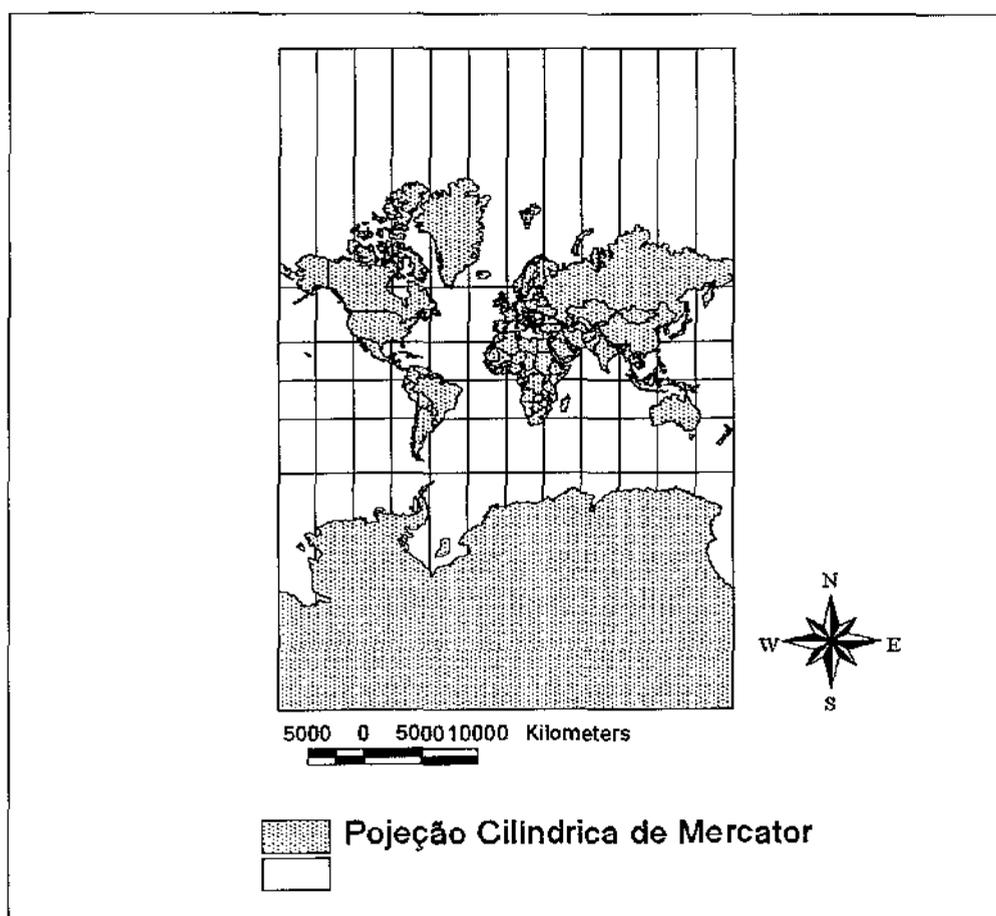


Figura 4.13 - Distribuição espacial dos continentes representada na Projeção Cilíndrica de Mercator. (Notar as deformações de área existentes nas altas latitudes).

Mercator criou uma projeção de tal forma que os intervalos entre paralelos e meridianos situados nas altas latitudes fossem maiores que os mesmos intervalos localizados nas baixas latitudes.

A principal característica desta projeção é a grande distorção de área presente nos mapas de países situados nas altas latitudes da Terra. A distorção de área é produzida para que sejam mantidas as formas originais dos países e continentes.

4.8.5.2 *Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM*

O sistema de projeção UTM é um caso particular de projeção cilíndrica transversa. Os meridianos mantêm igual espaçamento entre si em toda a superfície projetada, o mesmo não acontecendo com os paralelos. Devido ao aspecto transversal desta projeção, a distância entre os paralelos aumenta a medida em que estes se aproximam dos pólos devido ao achatamento polar da Terra, que provoca uma maior distorção nesta região.

Na projeção UTM os meridianos e os paralelos são matematicamente projetados no plano de tal forma a manterem entre si sempre ângulos retos. Esta característica resulta em uma grade quadriculada semelhante às construídas sobre um plano cartesiano. Portanto, as coordenadas do sistema UTM são métricas e não angulares como as projeções discutidas anteriormente. O sistema UTM se estende do paralelo 80° N ao 80° S e está dividido em 60 zonas ou fusos, alinhados de norte a sul, com dimensões laterais de 6° de longitude cada (Gersmehl, 1991).

As zonas apresentam faixas de sobreposição de $30'$ e estão numeradas em ordem crescente de oeste para leste, iniciando no antimeridiano 180° . As zonas são independentes entre si e têm sistemas de coordenadas com origem próprias situadas na interseção entre o equador e o meridiano central.

As linhas de coordenadas UTM orientadas de leste a oeste e dimensionadas de sul para norte no eixo y denominam-se Northing (N). As linhas orientadas de norte a sul e dimensionadas de forma crescente de oeste para leste, denominam-se Easting (E). Os valores dos eixos E pertencem ao intervalo $[0 \text{ m} \leq E \leq 1.000.000 \text{ m}]$ e o meridiano central intercepta o eixo no valor de 500.000 m. Os valores dos eixos N pertencem ao intervalo $[0 \text{ m} \leq N \leq 10.000.000 \text{ m}]$, sendo sua origem localizada em 0 m (linha do equador) e cujos valores aumentam em direção do hemisfério norte.

Os valores das coordenadas E e N estão impressos nas bordas das cartas topográficas do IBGE nas escalas 1:10.000, 1:50.000 e 1:250.000. Além de extremamente preciso nas grandes escalas, o sistema UTM permite estimar diretamente pelas coordenadas da carta topográfica os valores relativos a áreas e distâncias no terreno. Mapas epidemiológicos microregionais e municipais, devem ser construídos segundo uma base cartográfica concebida em sistema de projeção UTM.

4.8.5.4 - *Projeções Cônicas*

A projeção cônica clássica é construída a partir do contato entre o globo terrestre e a figura geométrica de um cone. Quando a linha de projeção é materializada por apenas um paralelo, o contato se dá de forma tangencial; quando as linhas de contato entre o globo e o cone são dois paralelos se tem a forma secante. Referindo-se à linha de contato tangente, denominamos esta de paralelo padrão e se referindo ao contato secante, as duas linhas de contato chamam-se paralelo padrão I e II.

As projeções cônicas baseadas em um único paralelo apresentam maiores distorções e por isto são pouco utilizadas. Já as construídas segundo dois paralelos padrão são mais precisas, apresentando menor distorção nas áreas situadas entre estes dois paralelos. Como a escala sofre grandes alterações nas regiões situadas ao norte e ao sul dos paralelos padrão, esta projeção é utilizada com mais frequência no mapeamento de grandes territórios com distribuição predominante alongada no sentido E-W.

A Projeção Cônica Conforme de Lambert foi concebida para manter a forma original de países e continentes de grande extensão territorial. Esta projeção é utilizada como base para cartas topográficas e mapas em pequenas escalas (1:500.000, 1:1.000.000, e assim por diante) freqüentemente empregadas em mapeamentos efetuados em território brasileiro.

A Figura 4.14 mostra um mapa dos países situados no hemisfério sul construído sobre projeção cônica conforme de Lambert com paralelos padrão situados em 23° lat S e 45° lat S. Observa-se na figura que os países situados fora dos paralelos padrão sofrem maior distorção em suas formas originais, entre eles destacam-se os localizados ao norte da África e na região centro-sul dos Estados Unidos. O território brasileiro e os demais países situados na porção centro-sul da América do Sul têm sua forma preservada no exemplo desta projeção.

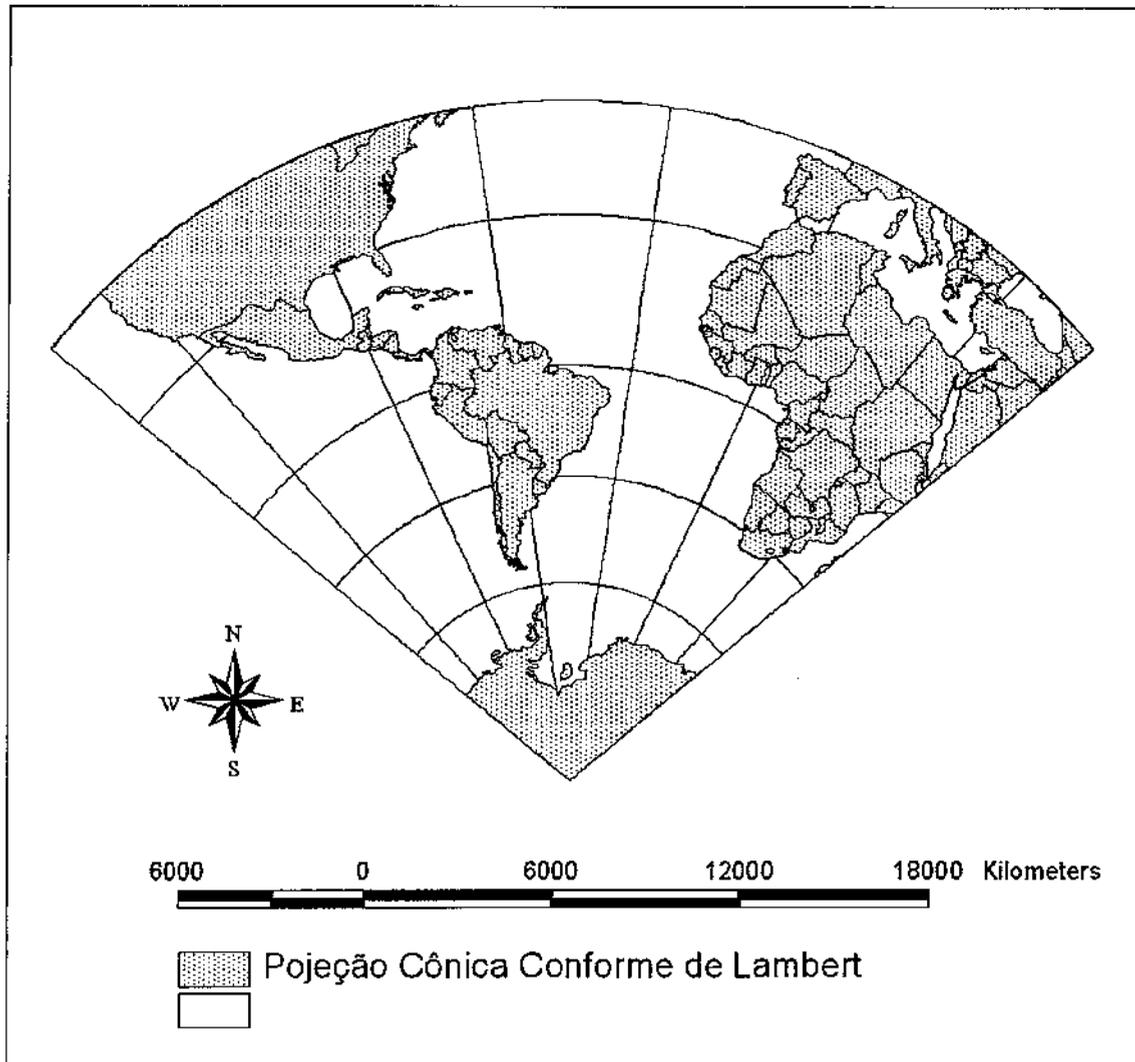


Figura 4.14 – Distribuição espacial de alguns países situados no hemisfério sul em mapa construído com base na Projeção Cônica Conforme de Lambert.

A Projeção Cônica Equivalente de Albers (Figura 4.15) é muito utilizada para se estimar com precisão as áreas de países e continentes, provocando por isto forte distorção na forma dos países situados próximos a borda do mapa.

4.9 - MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL PARA DADOS DE SAÚDE

A utilização de métodos cartográficos e de técnicas para a análise espacial de dados epidemiológicos ou de doenças em geral, em geografia médica, tem crescido substancialmente em países europeus na atualidade. Um dos fatores responsáveis que explica esta tendência é a atual capacidade analítica dos sistemas de informação geográfica (Clarke et al., 1996; Beck et al., 1995).

O estudo das variações espaciais da incidência de doenças é objeto fundamental da epidemiologia e da geografia médica. Gesler (1986, p. 963) delimitou o campo de ação da geografia médica em três níveis:

- A descrição dos padrões espaciais de mortalidade e morbidade e dos fatores associados a estes padrões, bem como a análise da difusão das doenças e da etiologia destas;
- A análise da distribuição espacial, localização, difusão e regionalização dos equipamentos e recursos públicos para o tratamento de saúde, como hospitais, postos de saúde, entre outros;
- Os aspectos espaciais das interações entre as doenças e o sistema de atendimento de saúde.

A primeira abordagem apresentada por Gesler (1986) é a que mais se aproxima da natureza espacial da epidemiologia. Os padrões espaciais e a difusão de doenças são fatores geográficos que exigem uma análise apoiada em pressupostos da escola espacial da Geografia, atraindo, portanto, os métodos e técnicas da análise espacial e da cartografia. Além disto, as metodologias de análise de padrões espaciais de doenças devem contemplar inclusive o mapeamento das probabilidades de ocorrência de casos, incorporando informações sobre a significância estatística da distribuição espacial das doenças (King, 1979).

A investigação de eventos de mortalidade e morbidade no espaço geográfico com o intuito de explicar os padrões e as relações entre os dados de doenças e a sua localização, é o objetivo maior da análise espacial em saúde (Bailey & Gatrell, 1995). As possibilidades de aplicação de técnicas de análise espacial em saúde podem ser agrupadas em quatro grandes áreas (Lawson et al. 1999; Bailey, 2001; citados em Moraes Neto, 2001, p. 43 e 44):

- Construção de mapas de doenças e agravos à saúde que representem de uma forma mais próxima a distribuição real dos dados, livres de flutuações aleatórias não associadas à doença. Estes mapas são úteis na identificação de epidemias, no levantamento de hipóteses etiológicas e no monitoramento de agravos no tempo e no espaço;
- Análise ecológica de unidades espaciais (bairros, região administrativa, entre outros), associando por meio de técnicas de regressão, a incidência de doenças e os potenciais fatores de risco tomados como variáveis da unidade espacial;
- Identificação de áreas geográficas com risco significativamente alto ou não esperado de incidência de uma determinada doença;
- Identificação, avaliação e monitoramento de fatores ambientais relacionados à saúde como subsídio às ações de controle e prevenção destes fatores.

Entre as obras mais significativas da escola espacial da geografia voltadas ao mapeamento de doenças e epidemias, é obrigatória a referência de Cliff & Hagget (1979). A obra estabelece as bases da cartografia e das abordagens analíticas voltadas para dados de saúde integrando técnicas de análise espacial com métodos cartográficos de visualização de dados. A metodologia adotada pelos autores estabelece que a análise espacial de dados sobre doenças deve ser conduzida integrando-se seis categorias de técnicas:

- mapeamento exploratório dos dados,
- mapeamento probabilístico,
- análise de padrões e autocorrelação
- generalizações espaciais
- teste de hipóteses a partir de mapas
- análise de distribuição e dispersão espacial.

O *mapeamento exploratório dos dados* se refere aos procedimentos para exploração dos dados brutos utilizando-se a representação gráfica dos dados epidemiológicos por meio de mapas quantitativos. Para a categoria de mapas de pontos, os autores adotaram como exemplo os mapas baseados em densidade de pontos, círculos proporcionais e esferas proporcionais. Com relação à categoria de mapas baseados em áreas, Cliff & Hagget (1979) exploram os mapas coropléticos e, para a categoria de linhas, os mapas isopléticos. Dedicam os autores especial atenção ao problema da definição de intervalos de classe e às suas conseqüências na representação coroplética.

Na categoria do *mapeamento probabilístico* "(...) se analisa um mapa a partir da distribuição geográfica de uma doença, decidindo-se quais áreas apresentam taxas significativamente altas ou baixas (Cliff & Hagget (1979, p.25)". Neste caso, pixels ou células de um mapa, são classificados segundo as distribuições de probabilidades *Normal* e de *Poisson*. O mapeamento de probabilidades, segundo Gesler (1986), é útil também para o entendimento das relações entre taxas de incidências de epidemias e indicadores ambientais.

Outra possibilidade de se estudar os padrões espaciais das doenças de forma probabilística é por meio da identificação dos clusters ou grupos hierárquicos de áreas de alto risco (Grimson et al., 1981). O método consiste em ordenar as unidades geográficas de forma decrescente, segundo a taxa de incidência de uma doença. As duas unidades com maiores taxas são avaliadas no sentido de testar se elas são adjacentes ou não, devendo este processo ser

realizado até o último grupo, a fim de se obter finalmente o número de adjacências encontradas.

As análises de *padrões* e de *autocorrelação espacial* são técnicas incluídas na fase de mapeamento probabilístico. Diferem as possibilidades analíticas destas técnicas das anteriores, pela sua capacidade em auxiliar a interpretação da doença não apenas para áreas isoladas, mas segundo o relacionamento locacional e a interação espacial entre áreas. Estas técnicas permitem, segundo Cliff & Hagget (1979, p.33):

" (...) analisar o padrão das características espaciais de uma mapa como um todo (...), preservando a informação posicional de uma área em relação às outras (...). Por exemplo, se o objetivo não é apenas verificar se uma unidade geográfica tem significativamente uma alta incidência de uma doença, mas também, se todas as unidades de alta incidência se agrupam próximas uma das outras em uma parte específica do mapa (...) a análise de autocorrelação espacial pode ser utilizada para explicar este fato (...)"

As aplicações mais relevantes da autocorrelação são a identificação das formas de difusão espacial das doenças e o mapeamento das áreas de contágio entre unidades geográficas adjacentes (Gesler, 1986).

A quarta categoria de técnicas para análise espacial de casos de doenças se trata das *generalizações espaciais*. Os mapas epidemiológicos podem conter informações que dificultam a sua interpretação e também não estão diretamente associados aos dados que se quer trabalhar. Isto ocorre com frequência em mapas construídos em campos contínuos a partir de interpolação numérica de dados esparsos proveniente de unidades distantes entre si. A informação indesejada, denominada de ruído, deve ser eliminada por meio de filtragem ou de operadores de contexto. Cliff & Hagget (1979) esclarecem este fato ao afirmarem que:

"(...) Algumas doenças se comportam espacialmente de tal forma a resultar em mapas cuja distribuição espacial varia suavemente, produzindo um sinal

identificável. Entretanto, outras doenças variam rapidamente em curtas distâncias e podem produzir padrões espaciais com ruídos extremamente difíceis de serem interpretados (p.36).”

O recurso analítico utilizado para eliminar o ruído da distribuição e facilitar a interpretação do padrão espacial da epidemia é a filtragem espacial de suavização. Os algoritmos de filtragem mais comuns em geografia médica são a média móvel, o filtro da mediana e o filtro da moda.

Além das técnicas citadas acima, úteis na generalização espacial de doenças, se destaca também a simulação de superfícies de tendência, abordagem mais avançada e utilizada para identificar a tendência regional dos dados mapeados. A análise de tendência espacial é realizada a com base na estimativa de uma superfície (mapa isoplético) que melhor represente a distribuição bidimensional da série espacial de dados referentes à doença analisada. A superfície é gerada a partir de métodos polinomiais disponíveis em vários SIG e softwares de estatística espacial.

Existem três tipos de superfícies de tendência que podem ser geradas a partir de dados de saúde: as superfícies lineares, as superfícies quadráticas e as superfícies cúbicas. As superfícies lineares são as mais simples e gerais, revelando baixas taxas percentuais de variabilidade dos dados e indicando apenas uma tendência mais genérica da distribuição geográfica destes dados, geralmente contínua e em uma única direção.

Já as superfícies de maior grau, como as quadráticas e as cúbicas, são progressivamente mais complexas e geram mapas com maior resolução espectral, revelando por isto mais detalhes e um maior número de tendências direcionais nos dados. Como consequência se caracterizam por serem superfícies mais refinadas, se aproximando ao máximo da distribuição espacial real dos dados epidemiológicos.

Qualquer variável associada à uma determinada doença pode ser mapeada como superfície de tendência, desde que apresente valores pontuais localizados

por coordenadas espaciais. Esta técnica permite avaliar se existem corredores ao longo dos quais a doença possa se espalhar ou barreiras que impeçam sua expansão. Os mapas de superfícies de tendência podem elucidar as relações entre o espalhamento de doenças e outros fatores do espaço geográfico, como fluxo fluvial, linhas de tráfego e movimentos migratórios, entre outros (Gesler, 1986).

Angulo et al. (1977) estudaram a epidemia de varíola ocorrida em Bragança Paulista – SP em 1956 utilizando como recurso analítico a superfície de tendência. Os autores constataram que a difusão da cólera pela cidade foi melhor compreendida gerando-se uma superfície cúbica, cuja tendência seguiu o sentido nordeste-sudoeste. Esta mesma técnica de análise espacial foi utilizada por Kwofie (1976) para estudar a expansão da cólera na África Ocidental e por Efron & Morris (1975) na análise do comportamento espacial dos surtos de toxoplasmose ocorridos na população urbana de San Salvador, El Salvador.

A quinta categoria de técnicas de análise espacial que compõe a metodologia de Cliff & Hagget (1979) se refere ao *teste de hipóteses* realizado a partir da associação entre mapas. Os mapas são bancos de dados georreferenciados que além de se constituírem em meios de representação e visualização de dados espaciais, podem ser também combinados entre si para testar hipóteses sobre os efeitos causais de determinadas epidemias ou de sua dispersão.

A associação entre dois ou mais mapas representando diferentes variáveis espaciais pode ser conduzida por meio de superposição direta na forma de "overlay", e avaliando-se em seguida a correspondência areal entre ambos. A partir deste tipo de análise é calculada a área de superposição entre duas categorias de mapas distintos, expressando-se este valor como percentual em relação e a área total destas duas categorias. Trata-se da técnica de correspondência areal entre categorias de mapas (Unwin, 1981).

Também no teste de hipóteses é verificado se outras variáveis espaciais estão relacionadas à distribuição geográfica de uma determinada doença. Neste caso a análise de regressão é um procedimento eficiente, em especial quando se

deseja avaliar se a taxa de incidência de uma doença por unidade geográfica está relacionada à alguma variável socioeconômica ou ambiental (McGlashan, 1972).

A sexta e última categoria de técnicas de análise espacial, parte também da metodologia de Cliff & Hagget (1979), é a análise de *distribuição e dispersão espacial*.

“(...) O conceito de centralidade em uma distribuição espacial pode ser descrito com base em três parâmetros elementares da estatística: a média, a mediana e a moda (...) O centro geográfico da distribuição definido por um destes parâmetros está localizado na intersecção das posições dos parâmetros, nos histogramas de linha e coluna (p. 51)”.

A centralidade da distribuição espacial é um fator de grande relevância no estudo da dispersão de uma doença. Por ser mutável no tempo, pode indicar vetores direcionais de expansão, contribuir para a construção de modelos preditivos de futuros contágios e também, para a definição medidas preventivas para o combate de epidemias.

O recente desenvolvimento metodológico na área de sistemas de informação geográfica contribuiu para os avanços nas pesquisas sobre epidemiologia espacial (Becket al.,1995). Por meio de um SIG é possível integrar dados de doenças a dados ecológicos e se desenvolver modelos baseados em epidemiologia da paisagem. Com base neste pressuposto, Becket al. (1995) elaboraram modelos para mapeamento de áreas de alto risco de malária em Chiapas, México, utilizando o sistema Arc-Info.

O modelo foi construído a partir da associação entre mapas de casos confirmados da doença e mapas relativos a fatores ambientais, tais como umidade do ar, altitude, temperatura, precipitação e tipo de vegetação. Os autores produziram desta forma, mapas de suscetibilidade a ocorrência de habitats do mosquito *Anopheles albimanus* na costa leste do México.

As características da distribuição espacial da epidemia de cólera ocorrida em 1971, em Ibadan, na Nigéria, foram estudadas por Adesina (1981). O autor efetuou uma análise temporal dos casos comparando a situação do ano estudado com a curva de contaminação normal pelo vibrião na área. A cidade foi dividida em distritos sanitários e para cada um deles foi quantificado o número total de pessoas contaminadas diariamente. Em seguida, o autor obteve os valores dos parâmetros estatísticos da distribuição de frequência de casos por distrito sanitário. Finalmente foi gerado um mapa de difusão espacial do cólera para toda a área urbana.

Rushton et al. (1995) estudaram a taxa de mortalidade infantil em Des Moines, Iowa, EUA, com o objetivo de identificar os fatores geográficos a ela relacionados. Os autores organizaram uma base de dados espaciais composta por mapas das ruas e bairros da cidade, sobre os quais foram posicionados pontos correspondentes à residência materna. Estes mapas foram analisados em sistema de informação geográfica e posteriormente transformados em superfícies.

O padrão espacial da epidemia de *Dracunculiasis* ocorrida na República de Benin foi mapeado por meio de técnicas de análise espacial em SIG por Tempalski (1994). O estudo teve como objetivos monitorar e analisar as características espaciais desta doença destacando as cidades com alta incidência da epidemia. O autor utilizou o sistema de informação geográfica Arc-Info para definir as áreas-foco e testar se a dispersão espacial da doença se dava através de corredores, tais como estradas e rios.

O sistema de informação geográfica foi utilizado também por Tobias (1996) para estudar a distribuição espacial de casos de câncer em trabalhadores na cidade de Ottawa, Illinois, EUA. O projeto utilizou como fonte de dados espaciais os registros de casos na área urbana, organizados segundo o endereço e o bairro do paciente, que posteriormente foram introduzidos no Atlas GIS. Os autores empregaram técnicas de análise espacial, disponíveis no SIG, tais como análise de vizinhança e mapeamento de probabilidades de Poisson.

5.

SÍNTESE DA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM CARTOGRÁFICA E ANÁLISE ESPACIAL DE EPIDEMIAS DE DENGUE: APLICAÇÃO À MESOREGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP

5.1 – A ABORDAGEM DO PROBLEMA

Em geografia médica as epidemias de dengue têm sido abordadas em principalmente sob uma ótica corológica, uma vez que se busca explicar a incidência dos casos como produto das características ecológicas dos lugares onde eles têm se manifestado. Tal abordagem pode ser observada nos trabalhos de Costa & Natal (1998) e Marzochi (1994).

Entretanto, os paradigmas corológicos restringem significativamente a modelagem cartográfica e a análise espacial dos dados da epidemia. Geralmente, os trabalhos que adotam a visão corológica-ecológica em epidemiologia tendem, em parte, a pouco explorar a imagem gráfica das doenças, atendo-se com maior ênfase à exploração estatística dos dados provenientes dos lugares onde a epidemia tem se instalado, abordando-os como “caixa-preta”.

Não há pois, maiores inconvenientes nesta abordagem se não a dificuldade da implementação de funções de análise espacial para SIG e da construção de cartogramas e demais mapas que possam contribuir para a inferência espacialmente mais refinada sobre os fatores causais das doenças. Em contrapartida, a ótica da escola espacial tem conteúdos mais elásticos coerentes com as abordagens que buscam por meio do paradigma geométrico, a imagem gráfica da epidemia no formato de mapas temáticos.

Isto posto e destacando-se que esta pesquisa se propõe a apresentar uma metodologia para análise espacial de dados de saúde apoiada nos pilares da cartografia e dos sistemas de informação geográfica, achou-se coerente adotar

aqui os preceitos e paradigmas da escola espacial da geografia, materializados nas bases da mapemática, que reúne em uma mesma abordagem, a cartografia temática e as funções de análise espacial para SIG.

A metodologia proposta sob as égides acima relevadas, tem como ponto de partida a definição das dimensões espaciais do objeto de estudo. Entende-se aqui por objeto de estudo, um recorte da superfície terrestre cujas dimensões longitudinais (X) e latitudinais (Y) dependem da significância da substância espacial (z). Esta substância – aqui entendida como a incidência de casos de dengue, define um espaço onde Z assume valores anômalos, se comparados ao esperado para este espaço, tomando-se como referência espaços contíguos ou de dimensões areais mais amplas.

O procedimento metodológico sobre o qual a pesquisa foi edificada, baseou-se na utilização de funções de análise espacial disponíveis nos sistemas de informação geográfica Arc View, Arc View Spatial Analyst (ESRI, 1993) e Idrisi32 (Eastman, 1995). A escolha do espaço a ser palco deste experimento metodológico, baseou-se no critério de significância espacial da substância, sendo a substância estudada segundo uma amostragem espacial baseada em unidades municipais. Tomou-se a região de São José do Rio Preto como espaço amostral e dimensão espacial do experimento; a dengue como substância e, os 109 municípios que compõem a região, como instâncias geométricas do espaço. A localização deste espaço no estado de São Paulo é dada pela Figura 5.1.

A delimitação espacial e os municípios constituintes desta meso-região (Figuras 5.2 e 5.3), foram definidos por procedimentos clássicos adotados pelo IBGE para regionalização do Brasil. Embora seja sempre pertinente uma discussão dos conceitos de região, regionalização e delimitação de uma região, como preâmbulos à escolha desta unidade como objeto de estudo, não se optou aqui por tratar o problema desta forma.

Como a maioria das epidemias tropicais, a dengue tem estreito vínculo climatológico, e em especial, com os tipos de tempo, a sazonalidade pluvial e o ritmo térmico dos espaços onde a doença tem se mostrado altamente incidente.

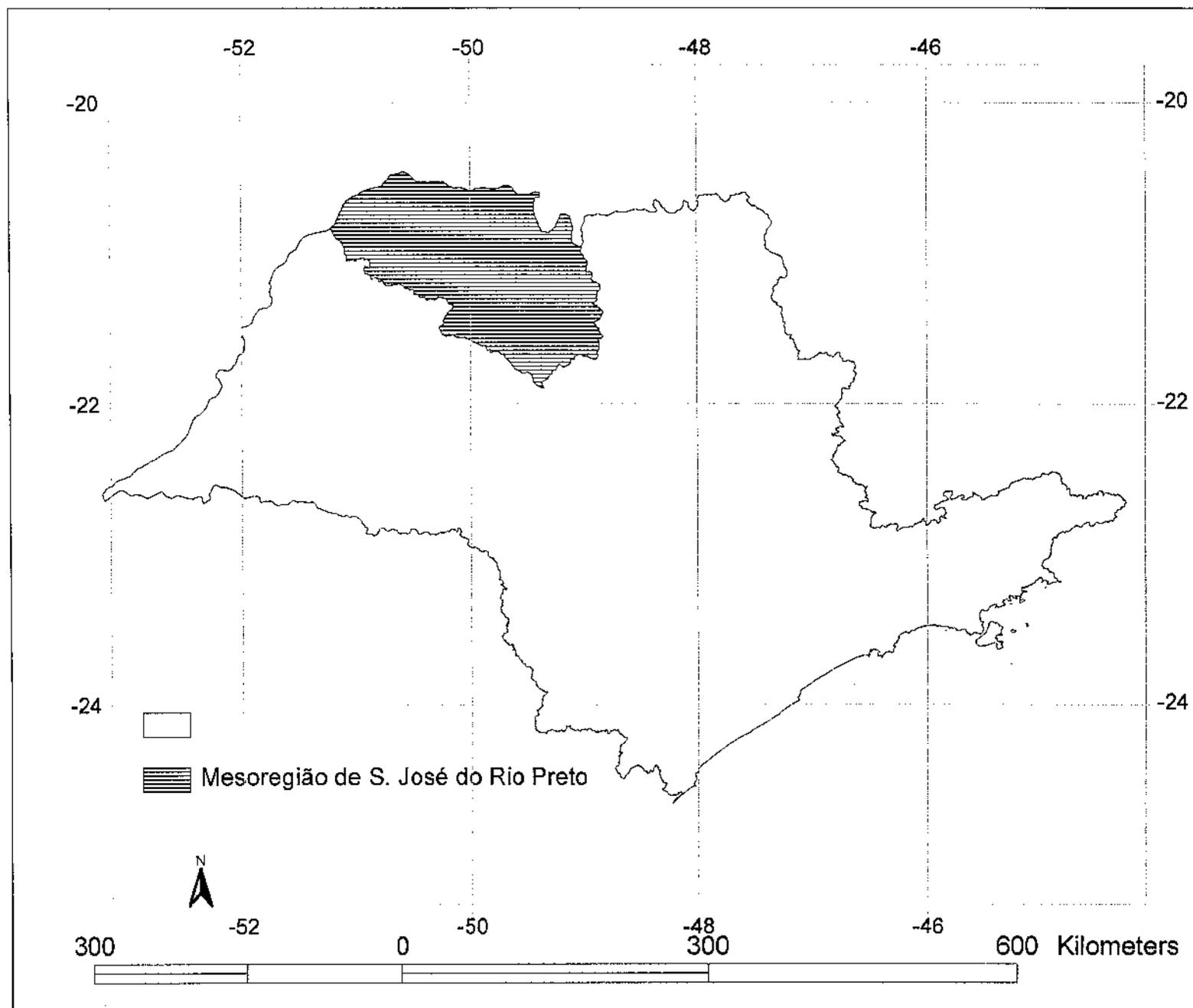


Figura 5.1 - Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

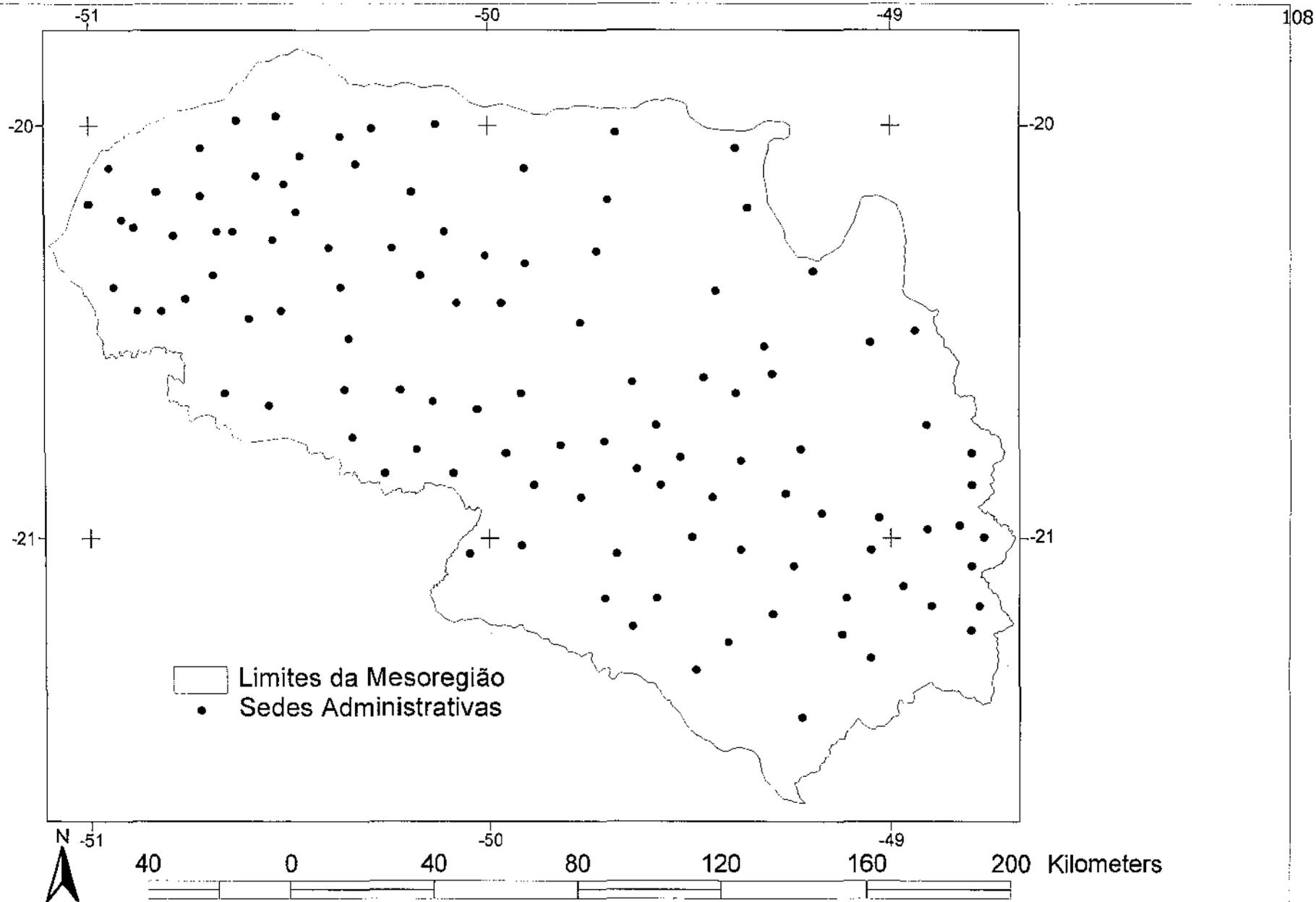


Figura 5.2 - Localização das sedes administrativas da mesoregião de São José do Rio Preto - SP
Fonte: IBGE (1997)

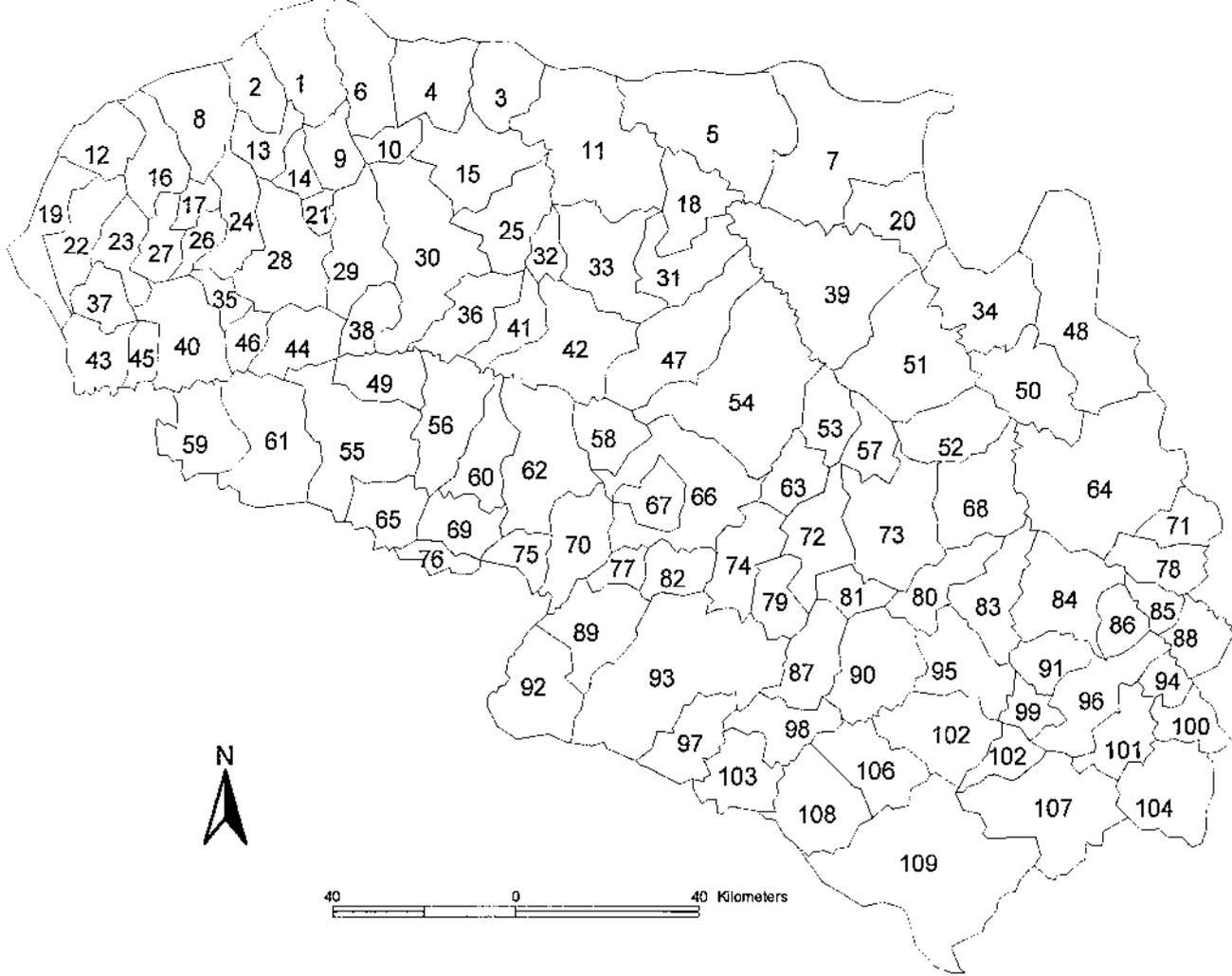
A mesoregião de São José do Rio Preto é reconhecidamente, sede dos mais elevados patamares térmicos do estado de São Paulo, cujos desdobramentos podem ser confirmados pelos indicadores epidêmicos da dengue para a região.

A luz da escola espacial da geografia, se trata uma região, de um agrupamento de municípios utilizados como unidades amostrais de eventos geográficos. Apoiando-se em paradigmas geométricos e cartográficos cuja preocupação maior é a *situação* e não o *sítio*, e no pressuposto magnânimo de que a *substância* existe como produto de sua *instância* geométrica no espaço, nos parece menos significativa a descrição detalhada dos atributos corológicos da área estudada do que a espacialidade manifestada pela epidemia e seus dados.

5.2 – ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS ESPACIAIS E EPIDEMIOLÓGICOS

Definida a substância a ser estudada, a abrangência e as dimensões do espaço e as instâncias de observação dos valores da substância, é organizada a base de dados espaciais, composta de duas categorias distintas em sua estrutura: a base de dados topológicos vetoriais e o banco de dados sobre os atributos locacionais, ou as características. A base topológica é composta dos seguintes arquivos digitais (Figuras 5.2 e 5.3).

- Arquivo vetorial baseado em entidades poligonais, armazenando os limites municipais (IBGE, 1997);
- Arquivo vetorial em entidades pontuais, armazenando as posições das sedes municipais (núcleos urbanos) (IBGE, 1997);
- Arquivo em formato raster discreto em linhas, correspondente à rede viária da região de São José do Rio Preto (DER-SP, 2003), posteriormente digitalizado em formato vetorial. Foram selecionadas neste material apenas as estradas pavimentadas, por se julgar que estas possuem o maior fluxo de bens, serviços e pessoas entre os núcleos urbanos, características diretamente relacionadas às propriedades de difusão e contágio espacial de epidemias de dengue.



MUNICÍPIOS

Municípios

	1 Populina		22 Sta. Fé do Sul		45 Maripólis		68 Guapiaçu		91 Catiguá
	2 Mesópolis		23 Três Fronteiras		46 Dirce Reis		69 Gastão Vidigal		92 Zacarias
	3 Mira Estrela		24 Urânia		47 Cosmorama		70 Macaúbal		93 José Bonifácio
	4 Indiaporã		25 Pedranópolis		48 Guaraci		71 Severinina		94 Palmares Paulista
	5 Riolândia		26 Santa Salete		49 S. J. da Iracema		72 Mirassol		95 Ibirá
	6 Ouroeste		27 Santana da P. Pensa		50 Altair		73 S. J. do Rio Preto		96 Catanduva
	7 Paulo de Faria		28 Jales		51 Nova Granada		74 Neves Paulista		97 Ubarana
	8 Santa Albertina		29 Estrela D'Oeste		52 Onda Verde		75 Monções		98 Mendonça
	9 Turmalina		30 Fernandópolis		53 Mirassolândia		76 Nova Luzitânia		99 Elisiário
	10 Guarani D'Oeste		31 Américo de Campos		54 Tanabi		77 União Paulista		100 Ariranha
	11 Cardoso		32 Parisi		55 General Salgado		78 Cajobi		101 Pindorama
	12 Sta. Clara D'Oeste		33 Álvares Florence		56 Magda		79 Jaci		102 Urupês
	13 Paranapuã		34 Içem		57 Ipiruã		80 Cedral		103 Adolfo
	14 Dolcinópolis		35 São Francisco		58 Sebast. do Sul		81 Bady Bassitt		104 Santa Adélia
	15 Macedônia		36 Meridiano		59 Guzolândia		82 Nipoã		105 Marapoama
	16 Sta. Rita D'Oeste		37 Nova Canaã Pta.		60 Floreal		83 Uchôa		106 Irapuã
	17 Aspásia		38 S. J. das D. Pontes		61 Auriflama		84 Tabapuã		107 Itajobi
	18 Pontes Gestal		39 Palestina		62 Nhandeara		85 Embauba		108 Sales
	19 Rubinéia		40 Palmeira D'Oeste		63 Bálsamo		86 Novais		109 Novo Horizonte
	20 Orindiuva		41 Valentim Gentil		64 Olímpia		87 Nova Aliança		
	21 Vitória Brasil		42 Votuporanga		65 Nova Castilho		88 Paraíso		
			43 Aparecida D'Oeste		66 Monte Aprazível		89 Planalto		
			44 Pontalinda		67 Poloni		90 Polírendaba		

Fig. 5.3 - Limites dos municípios da mesoregião de S. J. do Rio Preto.

A base cartográfica digital foi georreferenciada na projeção policônica de Lambert e estruturada no sistema de coordenadas geográficas. Esta proposta de referenciamento locacional é sugerida para uma abordagem regional, compatível com escalas inferiores a 1:250.000 (1:500.000, 1:1.000.000, e assim por diante). Já ao nível da área urbana (diferenciação de objetos em bairros ou ruas) ou micro-regional (diferenciação de objetos em municípios próximos e distritos), sugere-se a utilização de um sistema de referência locacional ortogonal, baseado no sistema de projeção UTM.

O segundo tipo de arquivo adotado como fonte de dados para esta pesquisa, refere-se aos atributos locacionais descritores das entidades geométricas. Os atributos locacionais têm o significado das *características* da matriz geográfica de Berry (1964), fornecendo dados relativos aos municípios que direta ou indiretamente estejam vinculados à epidemia. Neste aspecto, os atributos foram agrupados em duas categorias: os epidemiológicos e os demográficos.

A categoria dos atributos epidemiológicos, obtida no Centro de Vigilância Epidemiológica do Estado de São Paulo (CVE, 2002), é originalmente disponibilizada tanto por semana epidemiológica como pelo total anual de casos, ambos em base municipal. No sentido de se evitar a inclusão de casos confirmados em uma semana, notificados na semana seguinte e disponibilizados somente na terceira semana epidemiológica, optou-se por totalizar os dados semanais em quadrissemanas. Desta maneira, além de serem minimizados os efeitos do tempo decorrido entre a notificação e a sua publicação, esta estratégia contribui para a suavização na flutuação aleatória de casos isolados, técnica comum utilizada no tratamento estatístico de dados epidemiológicos.

Os atributos epidemiológicos foram então organizados em duas matrizes geográficas. A primeira, disponível no Anexo I, contém os dados brutos sobre o total de casos de dengue notificados por município, por quadrissemana epidemiológica no ano de 2001. A segunda matriz, apresentada no Anexo 2, revela os valores do coeficiente de incidência de casos de dengue, padronizados relação à população total residente no município e apresentados em número de

casos por 10.000 habitantes. Segue abaixo, a lista das características utilizadas na pesquisa e organizadas nos citados anexos.

- Total de casos de dengue autóctones notificados e confirmados por município no ano de 2001 (TOTAL)
- Total de casos de dengue autóctones notificados e confirmados por município e por quadrissemana epidemiológica de 2000 (QUAD 1 a QUAD 7);
- Coeficiente de incidência de casos de dengue por município no ano de 2001 (Inc_Total);
- Coeficiente de incidência de casos de dengue por município, por quadrissemana epidemiológica (Inc_Quad 1 a Inc_Quad 7).

Os atributos demográficos, obtidos na Fundação Seade (www.seade.gov.br), disponibilizados no Anexo 3, correspondem às seguintes características urbano-municipais:

- População total residente no município
- População Urbana
- Número de domicílios coletivos e improvisados
- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População entre 1991 e 2000
- Renda Per Capita Média do Município

Estas características são selecionadas entre outras já relacionadas em estudos epidemiológicos da dengue, que mostraram associações significativas entre indicadores de pobreza, urbanização e demografia urbana, com a incidência de dengue (Costa & Natal, 1998; Nogueira et al., 1999 e Teixeira et al., 2001). Estes atributos são utilizados na fase de associação entre mapas, buscando descobrir, agora sob uma ótica espacial, se estas associações verificadas em outras localidades também predominam na região de São José do Rio Preto.

5.3 – Os MÉTODOS BASEADOS EM MODELO DE OBJETOS

Após definidos os níveis geométrico e geográfico do espaço estudado, procede-se à aplicação da metodologia proposta, tendo como situação os 109 municípios da região. Na primeira fase desta aplicação são explorados os métodos monotemporais para mapeamento e exploração espacial de dados, baseados em modelos de objetos, tendo como entidade topológica de espacialização os polígonos municipais.

Diversos mapas coropléticos são construídos segundo diferentes técnicas de classificação de dados em intervalos, explorando-se em uma primeira aproximação, as possíveis associações de vizinhança e contiguidade entre municípios e delineando-se os clusters visualmente mais significativos. Também neste estágio da aplicação da metodologia, é construído um mapa binário para evidenciar os espaços de ocorrência e não ocorrência de casos.

Após finalizada a espacialização dos atributos epidemiológicos da dengue vinculados aos totais anuais, procede-se à aplicação de métodos multitemporais baseados em modelos de objetos, utilizando-se a série temporal dos dados por quadrissemana epidemiológica. Primeiramente, mapas espaço-tempo da epidemia são construídos no formato quantitativo em implantação zonal, com o intuito de se identificar o padrão de difusão espacial dos casos entre municípios contíguos, de uma quadrissemana para outra.

Este empilhamento cartográfico quantitativo zonal por instantes da linha do tempo serve como base para a posterior produção de um sequenciamento carto-temporal binário da epidemia, mostrando a dinâmica espaço-tempo do aparecimento ou desaparecimento de ao menos um caso por município. Com este método, é possível se estimar as dimensões territoriais da presença e da ausência dos casos, segundo fatias temporais totalizadas por quatro semanas epidemiológicas.

Ainda na análise espaço-tempo por objetos, é construído também um sequenciamento carto-temporal mais refinado, em legenda quaternária, com o objetivo de revelar as seguintes possibilidades evolutivas de difusão dos casos entre duas quadrissemanas consecutivas: municípios com casos novos, municípios com casos extintos e municípios com casos mantidos; além, é claro, daqueles onde a não ocorrência de casos foi permanecida. A partir deste sequenciamento é calculada a taxa de contágio espacial entre duas quadrissemanas, para todo o período de tempo estudado.

Produz-se em seguida, um modelo gráfico comunicando visualmente a ordem de mobilidade dos casos no espaço entre quadrissemanas subsequentes e entre municípios em contágio direto ou indireto. Este mapa especial constitui-se de uma implantação linear qualitativa direcional em vetores seqüenciais, associada à implantação pontual quantitativa, cujo diâmetro do ponto é proporcional ao tempo decorrido desde o primeiro caso no município.

O mapa modela a direção predominante da expansão da epidemia de dengue. A construção deste mapa está baseada na integração entre os mapas de sequenciamento binário e de sequenciamento quaternário, traçando-se em tela, os vetores em função da substituição dos municípios-casos no tempo.

Outro produto analítico cartográfico resultante do sequenciamento espaço-tempo baseado em objetos, que compõe a metodologia proposta, é o mapa da rede de autocorrelação espaço-tempo da epidemia de dengue baseada nas conexões entre sedes municipais. Por meio de implantação linear qualitativa, este mapa mostra os contatos entre as sedes durante a difusão dos casos da doença, criando uma teia, dentro da qual há maior probabilidade de contágio intermunicipal.

O último mapa produzido na fase da modelagem em objetos é o mapa da velocidade média de contágio por município, elaborado em implantação zonal no formato quantitativo. Os valores da sua legenda são obtidos pela seguinte relação:

$$V_{med} = (N_{T+1} - N_T) / \Delta T$$

onde

V_{med} é a velocidade média de contágio no município;

N_{T+1} é o número de casos na quadrissemana posterior;

N_T é o número de casos na quadrissemana anterior;

ΔT é o intervalo de tempo analisado

5.4 - OS MÉTODOS BASEADOS EM MODELO DE CAMPOS CONTÍNUOS

Após finalizada a etapa de experimentos utilizando-se modelos de objetos exatos, a metodologia sugere então a modelagem cartográfica baseada em modelos de campos contínuos. Primeiramente inicia-se a análise em um contexto monotemporal, trabalhando-se com os dados totais anuais atribuídos ao mapa dos pontos referentes às sedes municipais. Explora-se de início, a imagem gráfica da epidemia em mapas isopléticos, obtidos por interpolação numérica e comunicados graficamente em faixas corocromáticas correspondentes ao valor da variável coeficiente de incidência de casos por 10.000 habitantes. A interpretação deste mapa é feita de forma relativa, identificando-se os padrões morfológicos e areais das manchas ou nuvens de valores.

Prosseguindo-se nas etapas da metodologia de análise espacial e cartografia da epidemia de dengue aqui proposta, são geradas superfícies de tendência do 1º, 2º e 3º grau; bem como, calculados os parâmetros estatísticos referentes à cada superfície, e a partir destes, é escolhida aquela mais adequada a descrever o comportamento espacial dos dados de incidência da epidemia.

Ainda apoiando-se no modelo de campos contínuos, se busca então entender a difusão espaço-tempo da epidemia, tendo como apoio os métodos multitemporais baseados em modelos de campos. Produz-se o sequenciamento isopléticos espaço-tempo, apresentado em forma de coleção de mapas, cada um correspondendo a um instante da série temporal. Extraem-se do sequenciamento

isoplético, os valores de percentual em área ocupada por intervalo de isovalores de incidência de dengue, por quadrissemana. Esta estratégia analítica permite dimensionar a magnitude da mancha epidêmica no espaço geográfico, pelo menos em termos prováveis.

O sequenciamento isoplético - cuja estrutura digital se baseia em arquivos raster contínuos, onde a cada pixel está atribuído um valor z associado ao coeficiente de incidência de casos - permite que se determine o centro geográfico ponderado e raio padrão da epidemia em determinados instantes da série temporal. Este método possibilita a modelagem da expansão da epidemia no tempo, procedimento chave para prognósticos do alcance geográfico da doença em um instante futuro da série temporal.

5.5 - OS MAPAS DE PROBABILIDADES

A evolução do procedimento metodológico atinge então a fase estatística, quando se constrói mapas de probabilidades utilizando-se como referência teórica os modelos de distribuição de Poisson e de Laplace-Gauss. Os dados tabulados são analisados segundo os algoritmos destas duas distribuições, e posteriormente mapeados, culminando em imagens gráficas da probabilidade de ocorrência da doença por município.

No caso da distribuição de Poisson, se constrói um mapa em implantação zonal no formato ordenado, classificando cada município, entre os limites de probabilidade "*extremamente baixo*" e "*extremamente alto*". Ainda sob a ótica deste modelo de probabilidades, é gerado um mapa em implantação zonal no formato qualitativo, mostrando a probabilidade de ocorrência de um caso de dengue em um município, em relação à probabilidade esperada para este mesmo município tomando-se como base à média nacional.

Ampliando-se as possibilidades de mapeamento probabilístico, os dados sobre o coeficiente de incidência de dengue são analisados também pelo modelo

de Laplace-Gauss, ou distribuição Normal. Para este tipo de distribuição se constrói o mapa em implantação zonal no formato quantitativo.

5.6 - O MÉTODO DAS REDES GEOGRÁFICAS

A modelagem cartográfica da difusão espacial da epidemia de dengue é realizada tendo como referencial o modelo de redes geográficas. Entende-se que a difusão dos casos se dá preferencialmente pela rede rodoviária, cujos atributos mais significativos e catalizadores da difusão são a distância real entre os núcleos e a população total envolvida no segmento de rede que une estes núcleos. A implementação deste modelo se inicia pela construção da matriz de conectividade binária entre os 109 municípios, que informa a existência ou não de conexão entre pares de núcleos urbanos.

Uma segunda matriz, denominada de matriz de conectividade ponderada, é produzida a partir da matriz de conectividade binária. Esta outra estrutura matricial tem como principal informação os valores do peso atribuído a cada conexão existente entre municípios vizinhos. Calcula-se o peso por meio de um modelo potencial que leva em consideração a soma das populações dos municípios e a distância entre os mesmos por via rodoviária pavimentada.

A partir da matriz binária, se constrói o mapa do índice de nodalidade dos núcleos urbanos, em implantação pontual, com nível de mensuração quantitativo. A matriz ponderada é fonte de referência numérica e espacial para a construção do mapa do índice de potencial de contágio entre núcleos urbanos, para o qual, se utiliza simbologia gráfica baseada na implantação linear em formato quantitativo. Como produto cartográfico temático final, é gerado o mapa das zonas de suscetibilidade ao contágio, obtido a partir da integração dos mapas de nodalidade e de potencial de contágio.

6.

MAPAS MONOTEMPORAIS PARA O MAPEAMENTO DA EPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM MODELOS DE OBJETOS

Os dados epidemiológicos, assim como toda a gama de dados geográficos, são mais adequadamente organizados e armazenados para futuras análises espaciais em SIG, quando estruturados em tabelas ou matrizes geográficas. Entretanto, devido a sua linearidade, a linguagem numérica é voltada para "ler" e não para "ver" a informação geográfica. A visualização da informação geográfica é característica da linguagem de representação gráfica cujas expressões são os mapas, gráficos e diagramas (Santos, 1987).

Posto isto, é coerente sugerir que sob o ponto de vista da espacialidade da informação epidemiológica, esta deva também ser analisada dentro dos pressupostos da linguagem gráfica, já que tal meio de comunicação se baseia em um sistema de símbolos de leitura multidirecional e, portanto, espacial (Bertin, 1973; Bonin, 1975). O uso da espacialização da informação epidemiológica permite já de início, captar a "geografia" da doença, se identificando visualmente as relações de vizinhança, conectividade, concentração e dispersão, apenas para citar algumas das principais propriedades do mapa.

A análise exploratória dos dados epidemiológicos se inicia com o mapeamento geral do conteúdo das matrizes geográficas (Anexos 1, 2 e 3) por meio da visualização em mapas modelados segundo o paradigma dos objetos exatos. A adoção desta estratégia permite uma rápida associação espacial entre o valor de uma determinada característica epidêmica e o seu endereço administrativo - ou outra unidade agregadora de notificações epidêmicas, a depender da escala de abrangência da gestão do sistema de saúde e dimensão espacial da doença.

Em se tratando do município, a unidade de agregação, o polígono é a entidade mais coerente a ser utilizada como unidade básica de mapeamento, entre as que compõem o modelo de objetos. A transposição da tabela para o mapa de unidades de

agregação de dados de saúde não pode ser feita de forma direta – ou seja, a cada unidade, um valor de uma variável epidemiológica e a cada valor, um símbolo no mapa. Este procedimento resultaria em centenas de símbolos (um destinado a cada valor situado em uma unidade) o que inviabilizaria de todo, o poder de síntese visual e leitura espacial que proporcionam o mapa.

Por exemplo, quando se trabalha com o universo de dados da epidemia de dengue ocorrida na região de São José do Rio Preto proveniente de 109 municípios, com valores que variam de 1 a 6416 casos por município (Anexo 1), inevitavelmente devemos recorrer a *processos classificatórios* para construção de mapas em formato de objetos. A classificação das categorias do mapa é feita com base em intervalos muitas vezes subjetivos.

A imagem gráfica da epidemia visualizada em mapa depende do processo de classificação em intervalos de valores aplicado aos dados da matriz geográfica. O processo de classificação mais comum para o mapeamento de epidemias é o baseado em *intervalos iguais*. Nota-se pela série de dados de incidência de notificações de dengue que os valores variaram entre 0 e 356,99 casos por 10.000 habitantes (Anexo 2). Utilizando-se um fatiamento dos dados em 5 classes com intervalos iguais, o universo total dos casos é agrupado em intervalos semelhantes com amplitude igual a 71,378 casos. O número de municípios classificados, bem como os intervalos correspondentes a cada uma das 5 categorias são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Valores dos intervalos e número de municípios atribuídos a cada uma das classes, para a variável incidência de casos de dengue, utilizando-se a técnica de classificação em intervalos iguais.

Classe	Intervalo dos Dados Casos de Dengue em 10 Mil Habitantes	Número de Municípios Atribuídos à Classe
I	0,0 – 71,378	100
II	71,378 – 142,756	4
III	142,756 – 214,134	2
IV	214,134 – 285,512	1
V	285,512 – 356,890	2

Destaca-se pela análise da tabela que a classificação em intervalos iguais gera uma distribuição extremamente desigual no que se refere ao número de municípios atribuídos a cada classe de mapeamento. Enquanto a classe I agrupa 100 municípios, ou seja, 91,74 % das unidades geográficas, as demais classes aglutinam no máximo 4 municípios, isto é, apenas 1,83 % do total.

Este fenômeno se repercute na comunicação gráfica do mapa resultante, apresentado na Figura 6.1 que mostra extensa área de generalização relativa à classe I. O uso do método de intervalos iguais ou constantes é responsável muitas vezes pela geração de classes, às quais não é atribuído qualquer município. Portanto, para esta classe não haverá registro de casos de dengue. O mapa da Figura 6.1 permite destacar visualmente apenas casos de municípios com altas taxas de incidência de dengue, notadamente Mirassol (72) e Cajobi (78) na classe 5; Paulo de Faria (7) na classe 4; São José do Rio Preto (73) e Olímpia (64) na classe 3; e Populina (1), Fernandópolis (30), Riolândia (5) e Cajobi (91) na classe 2.

Outro método de classificação, baseado em intervalos constantes, também largamente utilizado na representação de dados epidemiológicos é a *freqüência constante* de unidades de observação por classe. Para todas as classes, são atribuídas quantidades mais similares de municípios de forma a distribuí-los nas categorias o mais equitativamente possível em relação à série de dados (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Valores dos intervalos e do número de municípios atribuídos a cada uma das classes para a variável incidência de casos de dengue, utilizando-se a técnica da freqüência constante de unidades geográficas por classe.

Classe	Intervalo dos Dados Casos de Dengue em 10 mil habitantes	Número de Municípios Atribuídos à Classe
I	0,0	55
II	0,0 – 4,69	15
III	4,69 – 10,05	13
IV	10,05 – 34,31	13
V	34,31 – 356,89	13

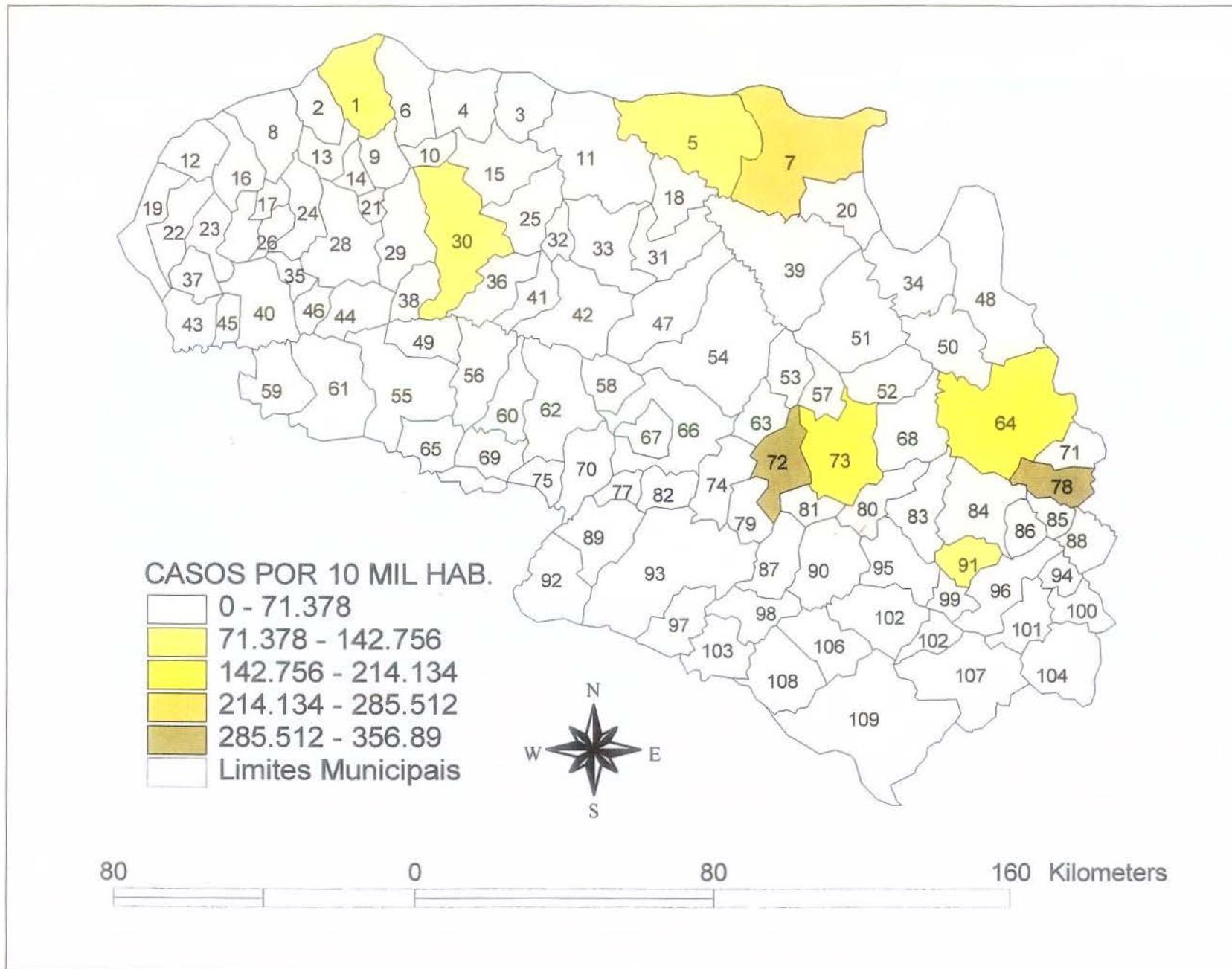


Figura 6.1 - Mapa da incidência de dengue por município em 2001, classificado pela técnica de intervalos iguais

A principal consequência favorável à representação dos dados epidemiológicos em mapas gerados com base neste processo é a otimização na distribuição eqüitativa dos dados em relação às unidades geográficas, se refletindo no balanço cromático mais equilibrado entre as cores dos polígonos (Figura 6.2).

É possível se observar no mapa a formação de grupos de municípios vizinhos, com valores de taxa de incidência próximos, podendo-se identificar áreas com potencial de contágio. Por meio deste método de classificação, pode-se resgatar do mapa alguns elementos que conduzirão a futuras análises espaciais.

Nota-se a formação de dois possíveis agrupamentos de municípios vizinhos, onde a taxa de incidência de dengue é alta em relação aos demais da região. O primeiro é composto por Mirassol (72), São José do Rio Preto (73), Neves Paulista (74) e Jaci (79); e o segundo, por Olímpia (64), Tabapuã (84), Catiguá (91) e Cajobi (78).

Também é possível se obter pela interpretação do mapa da Figura 6.2. a informação de que a noroeste da região há indícios importantes sobre a organização de outro grupo contíguo de municípios com elevada taxa de incidência de dengue, representado principalmente por Populina (1), Ouroeste (6), Indiaporã (4), Fernandópolis (30), Riolândia (5) e Paulo de Faria (7).

Entretanto, esta divisão de classes é definida de forma abstrata, apenas para tornar mais legível e esteticamente aceitável o conteúdo da legenda, não significando necessariamente que os dados relativos à epidemia distribuam-se exatamente desta forma. Se por um lado, o método facilita a leitura do mapa destacando rapidamente ao leitor os locais de maior incidência da epidemia, por outro, não se pode afirmar que cada classe seja indicadora de similaridade ou agrupamento de municípios – os clusters, uma vez que não se conhece até o momento a distribuição natural dos valores da série de observações municipais sobre a epidemia.

As duas técnicas de classificação de dados para mapeamento temático comentados acima têm em comum o fato de se basearem em intervalos constantes, seja esta constância definida pela amplitude das classes ou pela quantidade de unidades geográficas alocada a cada uma das classes. Além destes classificadores para mapeamento de objetos, existem aqueles que utilizam intervalos variáveis cujas classes têm amplitudes distintas entre si.

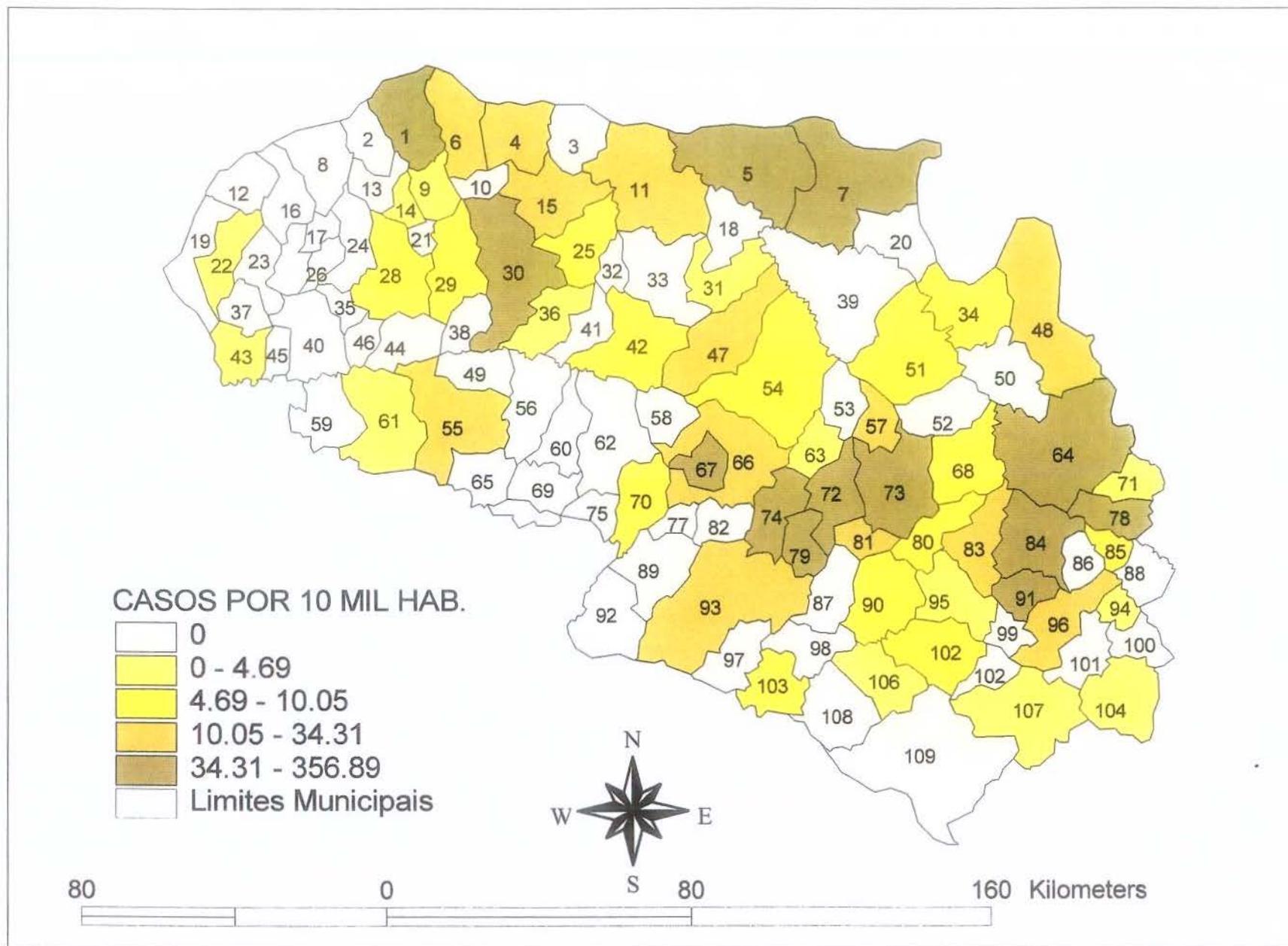


Figura 6.2 - Mapa da incidência de dengue por município em 2001, classificado pela técnica de frequência constante

Em geral, as classificações fundamentadas em intervalos variáveis tendem a representar com maior fidelidade a distribuição dos valores da série de observações, agrupando-as em classes cujos limites baseiam-se em rupturas naturais da série de dados epidemiológicos (Tabela 6.3). Estas rupturas são identificadas por meio da análise do diagrama de freqüência acumulada, onde são destacadas as variações mais bruscas existentes na curva, as quais são utilizadas como limites de cada classe.

Tabela 6.3 – Valores dos intervalos e número de municípios atribuídos a cada classe, para a variável incidência de casos de dengue, utilizando-se a técnica da ruptura natural do diagrama de freqüência acumulada da série de observações.

Classe	Intervalo dos Dados Casos de Dengue em 10 mil habitantes	Número de Municípios Atribuídos à Classe
I	0,0	55
II	0,0 – 20,0	37
III	20,0 – 119,0	12
IV	119,0 – 231,0	3
V	231,0 - 356,89	2

Tomando como exemplo a série de observações sobre a taxa de incidência de dengue nos municípios da região de São José do Rio Preto e analisando-se as rupturas do diagrama de freqüência acumulada, encontramos os seguintes limites para as respectivas classes e a quantidade de municípios à elas atribuídos (Tabela 6.3)

O mapa da Figura 6.3 foi elaborado tomando-se como referência o método dos intervalos variáveis, cujos valores e respectivas classes estão dispostos na Tabela 6.3. A leitura de conjunto deste mapa nos revela uma distribuição cromática menos equilibrada que aquela do mapa da Figura 6.2, permitindo observar alguns agrupamentos mais coesos de municípios.

Primeiramente é possível se destacar um alinhamento de municípios com altos índices de notificações de dengue no sentido oeste-leste, iniciando-se em Monte Aprazível (66), passando por Neves Paulista (74), Mirassol (72), São José do Rio Preto (73), atingindo até Olímpia (64) e Cajobi (78).

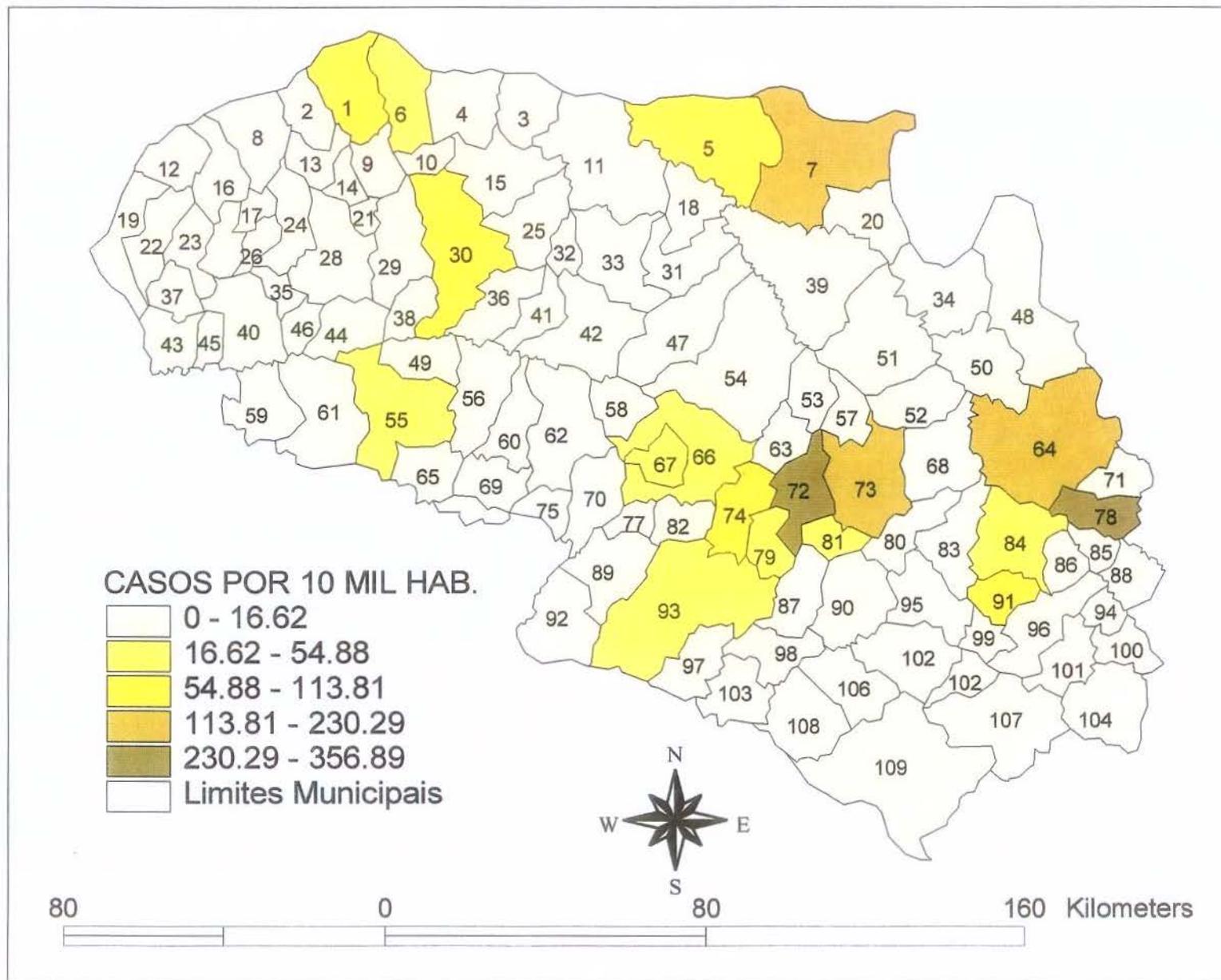


Figura 6.3 - Mapa da incidência de dengue por município em 2001, classificado pela técnica da RNH

É também perceptível pelo mapa, a formação de grupos contíguos de vários municípios com baixos índices na classe II, mas ocupando superfície expressiva na região estudada. A noroeste, este conjunto também se avizinha de municípios de médio índice, presentes no entorno de Fernandópolis (30), General Salgado (55) e Riolândia (5).

Um dos principais tipos de mapa produzido dentro de uma abordagem classificatória baseada em intervalos variáveis, é o mapa binário. Como é explícito pela terminologia, o conteúdo de um mapa binário caracteriza-se por apenas duas classes - *ocorrência e não ocorrência*.

Tomando-se como exemplo a série de dados relativa ao número de notificações de dengue, ocorrida em 2001, por município da região de São José do Rio Preto (Anexo 1), o mapa binário mostrará onde ocorreram casos de dengue e onde estes não ocorreram. A Tabela 6.4 apresenta os parâmetros da classificação binária para os dados de dengue.

Tabela 6.4 – Valores dos intervalos e número de municípios atribuídos a cada uma das classes para a incidência de casos de dengue utilizando-se a técnica de classificação binária.

Classe	Intervalo dos Dados Casos de Dengue	Número de Municípios Atribuídos à Classe
I	0	55
II	1 – 6.416	54

O mapa binário (Figura 6.4) tem importância destacada em operações de consulta espacial envolvendo vários mapas, uma vez que, é utilizado como “máscara” para analisar a co-ocorrência de valores de outras variáveis dentro da região binária. É o caso, por exemplo, de uma consulta para se determinar o perfil socioeconômico dos municípios onde ocorreram mais de 500 casos de dengue em um ano.

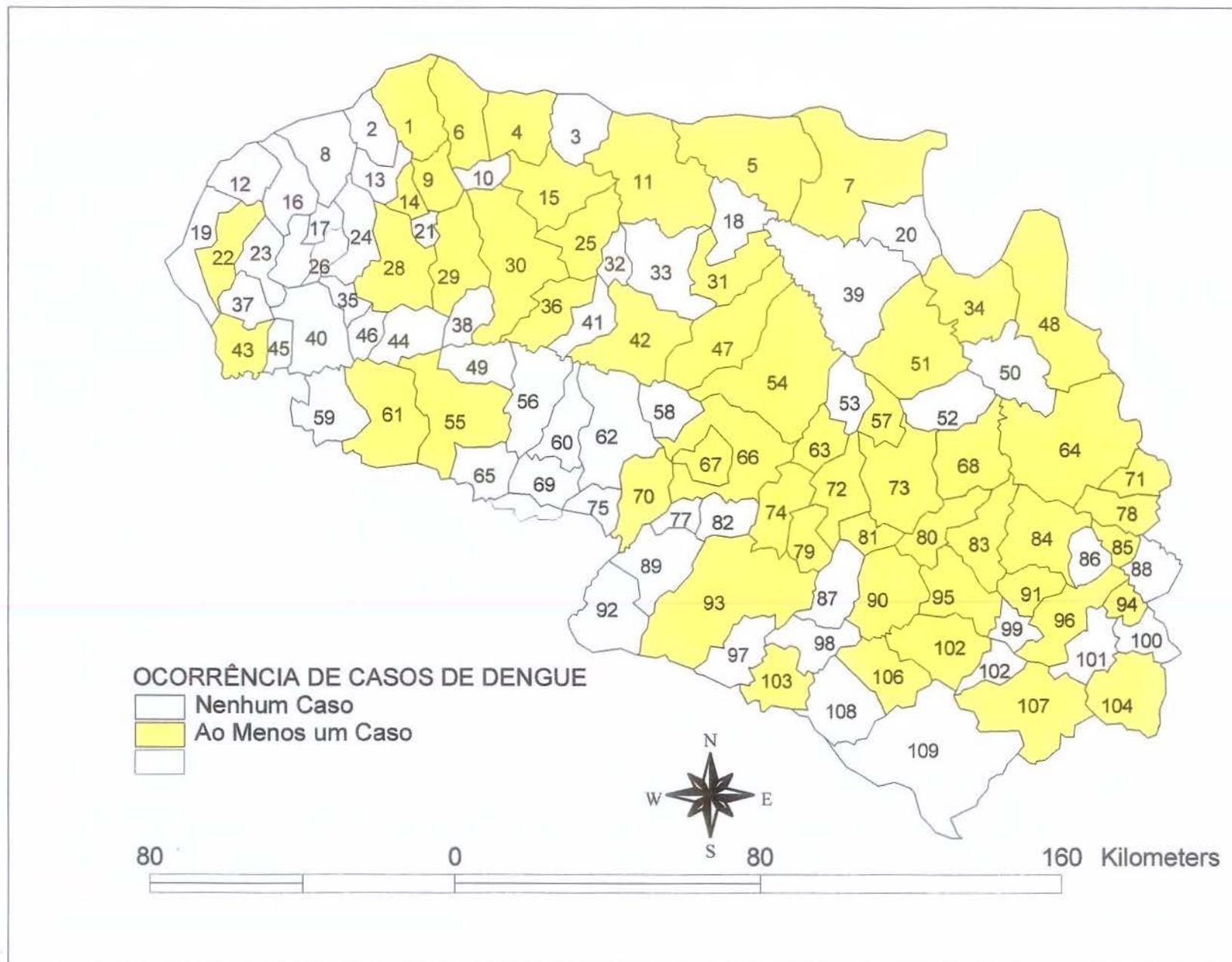


Figura 6.4 - Mapa binário de ocorrência de casos de dengue por município em 2001

O perfil sócio econômico é obtido de outros mapas da mesma região, combinados por lógica booleana à classe II do mapa binário. É fato que, o mapa binário permite sintetizar visualmente com rapidez os municípios onde foram notificados os casos e também, onde a epidemia não encontrou condições de se manifestar ou não foi estatisticamente significativa.

Outro método de classificação para mapas epidemiológicos mais sofisticado e menos subjetivo é aquele que delimita as classes com relação à média da série de dados. Para isto usa o desvio padrão como referência para a definição dos intervalos das classes. A série de valores da taxa de incidência de dengue por município da região de São José do Rio Preto apresenta um desvio padrão de 56,73 e média de 20,43 casos notificados por 10.000 habitantes. Este método fixa os intervalos de classe como múltiplos do desvio padrão, posicionando a média como uma classe específica e isolada que não é mapeada, pois serve apenas como referência para a identificação dos municípios cujos valores estão acima ou abaixo dela (Tabela 6.5)

Tabela 6.5 – Valores dos intervalos e número de municípios atribuídos a cada uma das classes para a variável *incidência de casos de dengue*, utilizando-se a técnica da média e do desvio padrão da série de dados epidemiológicos.

Classe	Intervalo Dos Dados Casos de Dengue em 10 mil habitantes	Número de Municípios Atribuídos a Classe
I	- 36,28 – 20,45	92
II	20,45	Média
III	20,45 – 77,19	9
IV	77,19 – 133,93	3
V	133,93 – 190,67	1
VI	190,67 – 365,89	4

A espacialização dos dados resultantes da aplicação de tal método, apresentada no mapa da (Figura 6.5), destaca as anomalias regionais em relação à média dos casos. Evidencia principalmente os municípios onde a incidência da epidemia foge da medida de tendência central dos dados. Este mapa é mais adequado para a localização de focos epidêmicos do que para a visualização ponderada dos dados.

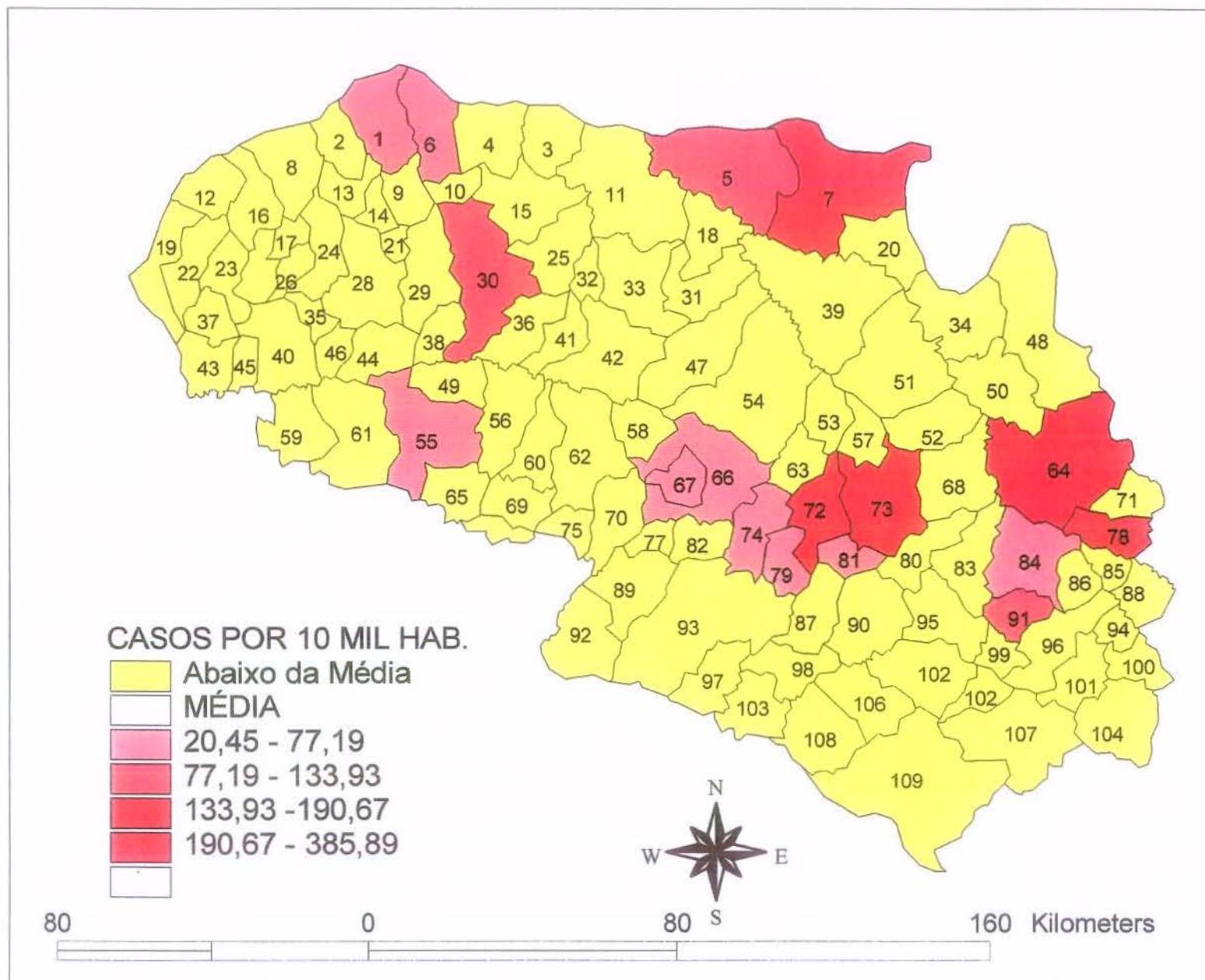


Figura 6.5 - Mapa da incidência de dengue por município em 2001 classificado em relação à média e o desvio padrão.

Identifica-se na Tabela 6.5 que a classe I, atribuída aos municípios com incidência de dengue abaixo da média regional, aglutina 92 municípios ou 84,4 % do total. É óbvio que a classificação dependerá do tipo de epidemia e da dispersão espacial da mesma, valendo lembrar que as classes são formadas com base na média amostral (região) e não com a média nacional ou mundial esperada para a epidemia. De qualquer maneira, dentre as técnicas discutidas, esta é a menos subjetiva, pois se baseia na combinação entre parâmetros estatísticos clássicos como a posição e a dispersão dos dados da série regional de observações de uma epidemia.

7.

MAPAS MULTITEMPORAIS DA EPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM MODELOS DE OBJETOS

A difusão de inovações e a difusão de epidemias estão entre os exemplos mais clássicos e evidentes da dependência entre tempo e espaço na análise geográfica. Ambos são processos que encerram a simultaneidade espaço-tempo. Sabe-se desde os anos 1960 que qualquer processo de difusão ocorre como efeito da vizinhança e a semelhança entre vizinhanças diminui com a distância (Brown & Moore, 1969).

No senso estrito, tempo e espaço têm sido representados cartograficamente de forma particular cabendo obviamente ao espaço, a mais diversificada das possibilidades de comunicação gráfica, cujos pressupostos já foram estabelecidos pela cartografia temática. É necessário, no entanto, esclarecer e superar as dificuldades que concernem à representação espaço-tempo integradas, já que é desta forma que se manifestam epidemias e da mesma maneira se difundem e estabelecem formas de contágio espacial.

7.1 – ABORDAGENS TOPOLÓGICAS ESPAÇO-TEMPO

Chrisman (1977) diferenciou duas formas representacionais tempo-espaço: a abordagem *absoluta* e a abordagem *relativa*. Dentro dos paradigmas da abordagem absoluta - que tem como principal preocupação a objetividade da visualização da informação espaço-temporal - os objetos se inserem em uma estrutura geométrica rígida e imutável no tempo, cuja principal função é registrar a presença ou a ausência destes objetos em diferentes instantes da linha do tempo.

A abordagem relativa tem maior subjetividade e estabelece que tempo e espaço são propriedades do objeto e devem ser medidos em relação a estes.

Assume, portanto, que a estrutura topológica deve ser suficientemente flexível para representar a dependência entre espaço e tempo e a mudança temporal do objeto. A principal utilidade desta abordagem é a interpretação de fluxos e processos, bem como, da mudança de padrões espaciais.

Espaço e tempo são por natureza contínuos. Para facilitar as medidas, estes foram subdivididos em unidades discretas de comprimento uniforme ou variável (Peuquet, 1994). A estratégia de partilhamento da continuidade das categorias espaciais e temporais é um ponto de extrema importância na representação cartográfica que assim foi comentada por Peuquet (1994):

"A segmentação do tempo e do espaço em unidades de medidas discretas conduz a questões de resolução e escala. Qual o tamanho ideal destas unidades de observação? A resposta dependerá do fenômeno estudado e das questões a ele relacionadas. Entretanto, nem sempre é possível se determinar este "ideal", nem tanto a escala compatível com o fenômeno, os quais são inerentemente multiescalares no tempo como no espaço. Um padrão espaço-temporal pode ser distinguido à uma resolução espacial, mas pode se assemelhar ao caos em outra resolução. Além disto, resoluções progressivamente altas ou baixas podem revelar diferentes padrões espaço-temporal de mudanças (p. 445)".

Focalizando a problemática espaço-tempo para os domínios do mapeamento de epidemias e destacando em especial, as categorias de séries temporais, os trabalhos de Chatfield (1980), Gottmann (1981) e Cliff & Haggett (1979), apresentam contribuições teóricas, abaixo sintetizadas.

As séries temporais epidêmicas podem ser divididas em três principais categorias: *tendências*, *sazonais* e *cíclicas*. As *tendências* revelam flutuações epidêmicas em longos períodos de tempo, observadas pela suavização das séries de eventos no tempo por meio de equações diferenciais ou médias móveis. É utilizada para mostrar as tendências de crescimento ou de declínio de uma epidemia.

As séries *sazonais* se reportam a casos de doenças cuja incidência não é constante no tempo, mas associada a fatores sazonais relacionados a eventos climáticos ou à variação anual de fatores do clima, como pluviosidade ou temperatura do ar. A leptospirose, determinadas viroses, a dengue e, inúmeras outras doenças tropicais, se comportam como séries temporais sazonais (Figura 7.1).

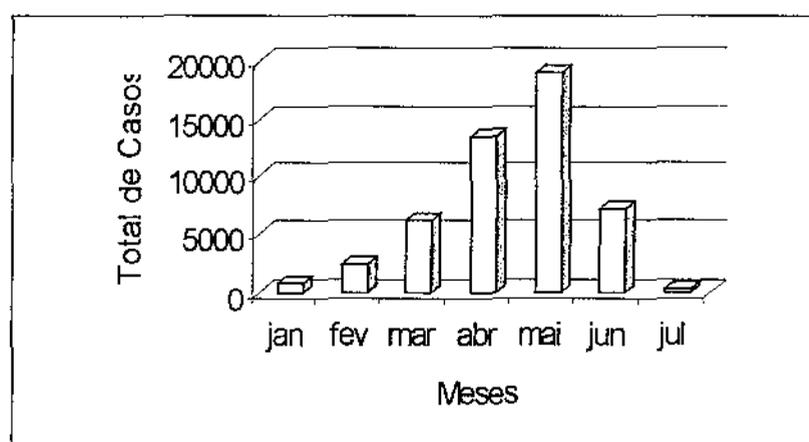


Figura 7.1 - Número de casos de dengue notificados na mesoregião de São José do Rio Preto, entre janeiro e julho de 2001. (Fonte, CVE-SP, 2002).

O diagrama da Figura 7.1 destaca a sazonalidade da série temporal de casos de dengue na área estudada, indicando a forte diminuição da ocorrência da epidemia a partir do mês de junho, quando após atingir 19.121 casos no mês anterior, totaliza no sexto mês do ano 7.259 casos e, em julho, o menor índice, 296 casos.

Este caráter sazonal está diretamente relacionada à magnitude dos elementos do clima que caracterizam esta área tropical do estado de São Paulo, marcada pela queda acentuada na pluviosidade de inverno, acompanhada da diminuição na temperatura média do ar em relação ao verão, embora esta última, não tão contrastante quando a umidade.

Diferentemente das flutuações sazonais cujos ciclos se reportam a situações ambientais ou astronômicas, as séries temporais *cíclicas* não apresentam ritmo anual de maior incidência de casos. Os ciclos evidenciam espaçamentos entre os eventos de maior incidência, resultantes de períodos de imunização, isolamento populacional ou até variações na taxa de natalidade da população infectada (Cliff & Haggett, 1979).

7.2 SEQÜÊNCIAS COROPLÉTICAS DE DADOS PARCIAIS

Os mapas multitemporais têm sido utilizados como modelos para o entendimento do espalhamento geográfico de eventos que têm dependência paritária espaço-tempo, pois mostram como unidades vizinhas são contagiadas entre si lateralmente ou diagonalmente. Os modelos multitemporais apoiados em múltiplos mapas baseiam-se na análise das relações topológicas no tempo - uma das aplicações da abordagem absoluta espaço-tempo (Chrisman, 1977).

Estas relações topológicas definem localizações *relativas* ao longo da linha do tempo com base em propriedades como mudança geométrica da posição, conectividade, contiguidade, vizinhança e tamanho de uma categoria (Peuquet, 1994). Estas mudanças relativas são identificadas pelo seqüenciamento dos mapas em intervalos de tempo - a série cartotemporal. A série cartotemporal pode revelar caminhos ou direções preferenciais de expansão da epidemia ou ainda, velocidades direcionais distintas a depender da influência de vizinhança favorável ao contágio.

A Figura 7.2 traz um exemplo de série cartotemporal baseada no sequenciamento de mapas binários, indicando por quadrissemana, os municípios onde ocorreram casos de dengue e os municípios onde o evento não foi confirmado. Permite este documento cartográfico espaço-tempo interpretar duas formas de manifestação da epidemia: o preenchimento dos vazios - municípios ainda não infectados em um determinado tempo, manifestados pela pulsação espacial e pelas direções preferenciais da epidemia em relação aos pontos anteriores da linha do tempo.

Nota-se na Figura 7.2 que, a partir da quadrissemana 2, o centro-oeste da mesoregião passa a ser contagiado tanto pela expansão proveniente de municípios situados ao norte - Riolândia (5) e Paulo de Faria (7), como por aqueles posicionados mais ao centro – Fernandópolis (30) e Votuporanga (42). Na 3ª e 4ª quadrissemanas se nota também outra dinâmica de preenchimento de vazios, orientada a partir dos núcleos de alta incidência – Mirassol (72) e São José do Rio Preto (73) com alinhamento predominante sudoeste-nordeste em relação a estes municípios, interligando desde José Bonifácio (93), a sudoeste, até Olímpia (64), a nordeste.

O sequenciamento cartográfico demonstra que na 5ª quadrissemana a epidemia preenche o maior número de unidades, permitindo visualizar uma elevada taxa de municípios contíguos entre si com casos notificados da doença.

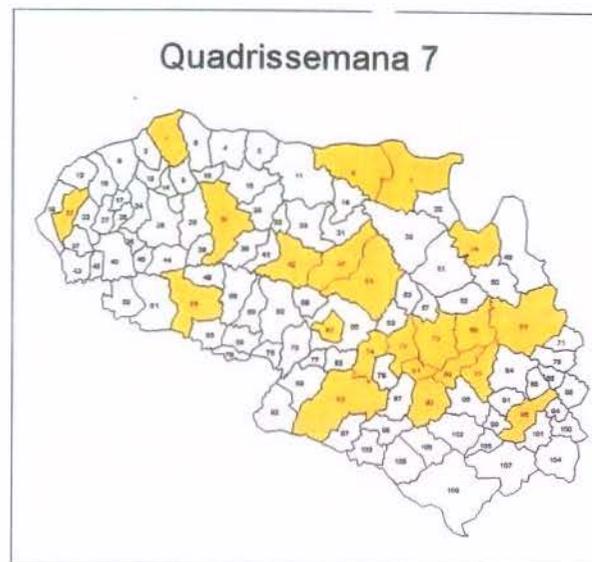
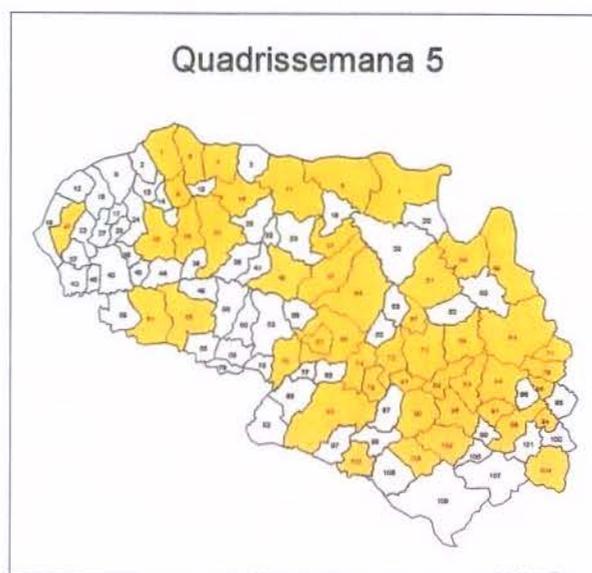
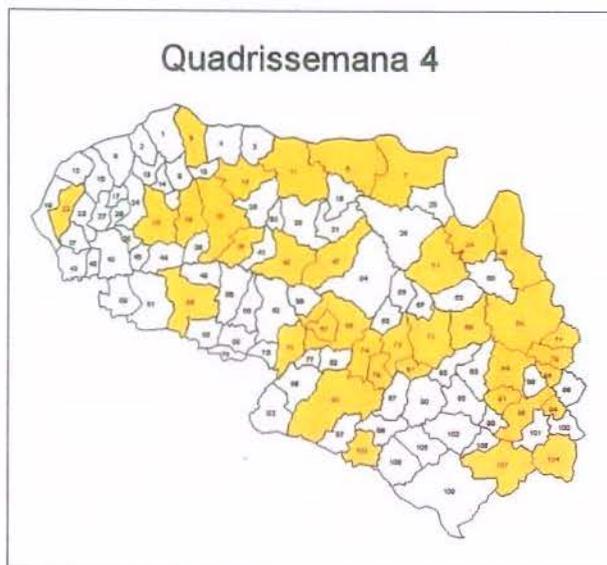
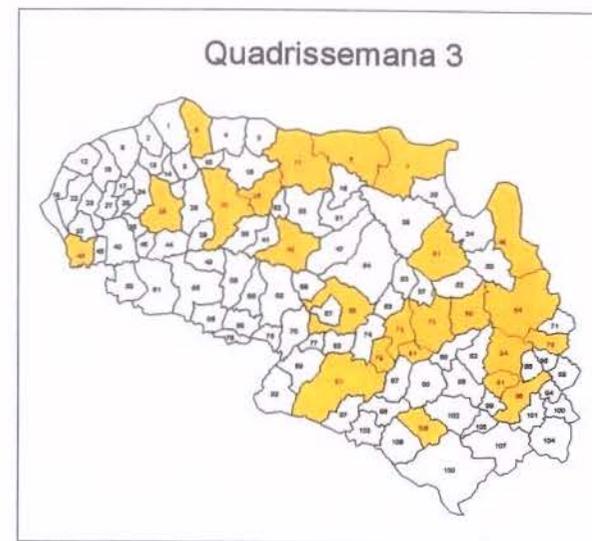
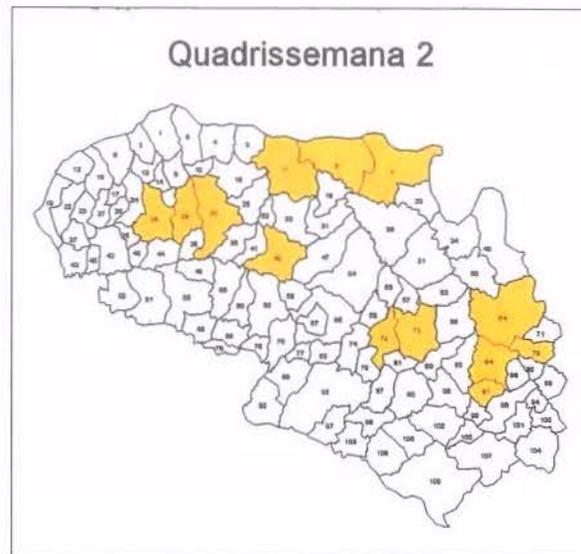
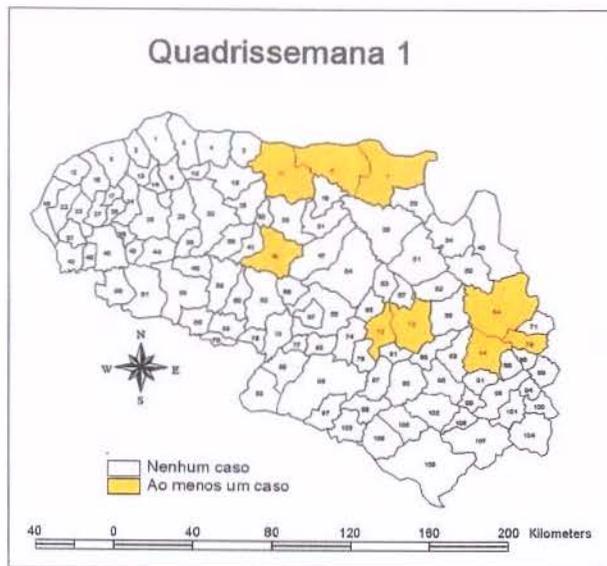


Figura 7.2 – Sequenciamento carto-temporal binário da epidemia de dengue.

Dos 55 municípios com pelo menos um caso de dengue apenas 3 (5,5 %) estão espacialmente isolados, 6 estão em contato com um município (11,0 %) e o restante, 46 municípios (83,5 %), estão contíguos a mais de dois outros municípios. Isto demonstra a elevada taxa de contiguidade espacial da epidemia na 5ª quadrissemana. O mapa binário da 6ª quadrissemana permite visualizar o início do recuo da epidemia com o enfraquecimento da contiguidade espacial manifestando-se já nos extremos noroeste, nordeste e oeste da mesoregião.

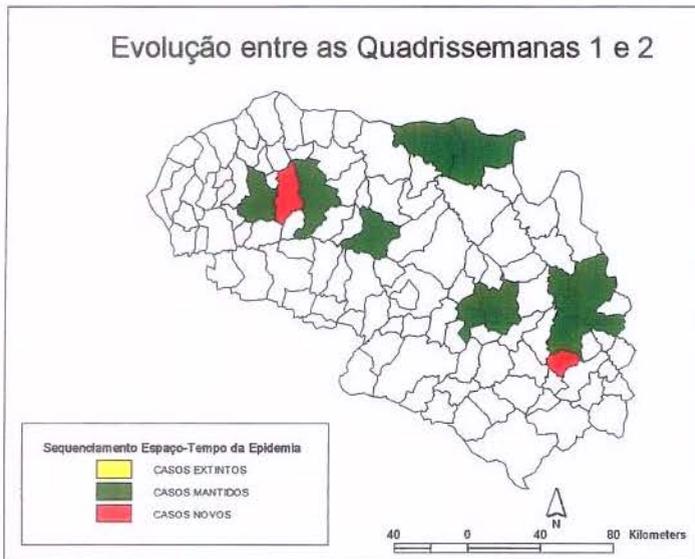
7.3 – SEQUÊNCIAS COROPLÉTICAS DE DADOS TOTAIS

O sequenciamento cartotemporal disponível na Figura 7.2, ao mesmo tempo em que possibilita a visualização evolutiva absoluta da presença ou da ausência da epidemia nas unidades municipais, não permite por outro lado, visualizar a dinâmica evolutiva dos municípios com *casos novos*, daqueles com *casos persistentes* e dos municípios que *não mais apresentam qualquer caso* na série espaço-tempo (Hagget, 1972).

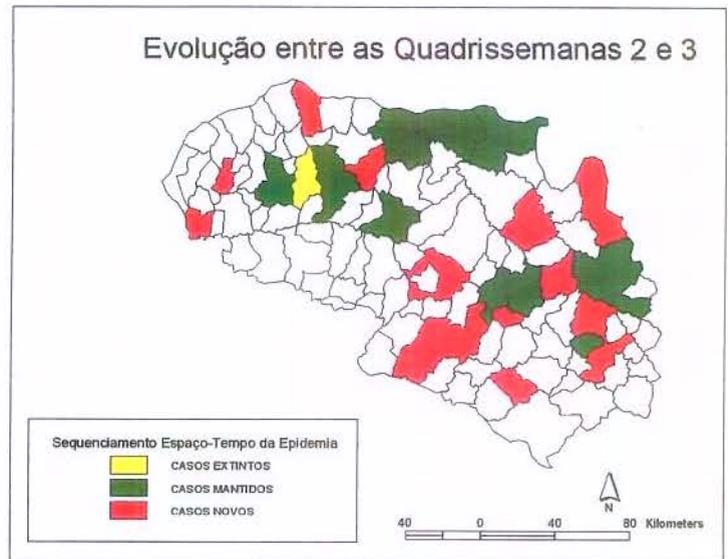
Para isto é necessária a construção de um modelo de sequenciamento dinâmico relativo que evidencie a substituição de casos-municípios no tempo e possibilite descobrir se a ocorrência de novos casos é função da distância a casos existentes em um instante imediatamente anterior na série espaço-tempo.

A epidemia de dengue da mesoregião de São José do Rio Preto registrou nas sete primeiras quadrissemanas 10.676 casos notificados em 55 unidades municipais, o que perfaz uma média de 27,7 notificações por município por quadrissemana. A dinâmica de contágio espacial e os agrupamentos espaço-tempo formados podem ser estudados a partir do mapeamento sequencial relativo, apresentado na Figura 7.3. Analisando-se a seqüência cartográfica se constata que da 1ª para a 2ª quadrissemana ocorrem novos municípios com casos, sendo que 100 % destes estão em contato com municípios anteriormente com notificações de dengue. A síntese desta análise se encontra na Tabela 7.1.

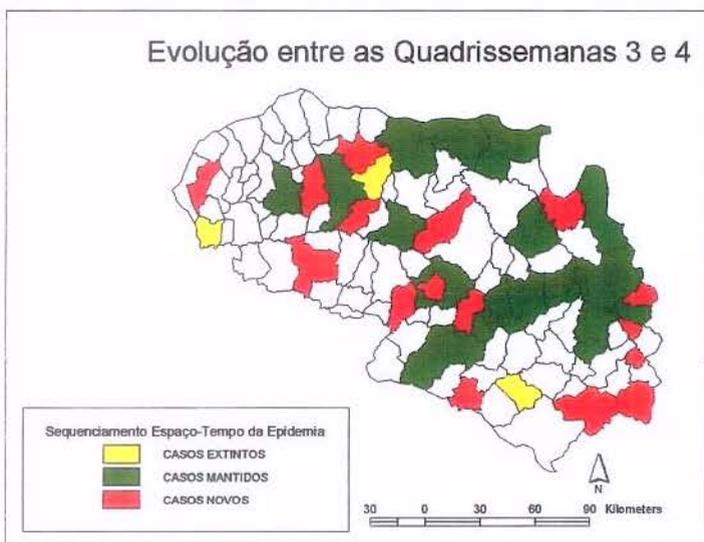
Evolução entre as Quadrissemanas 1 e 2



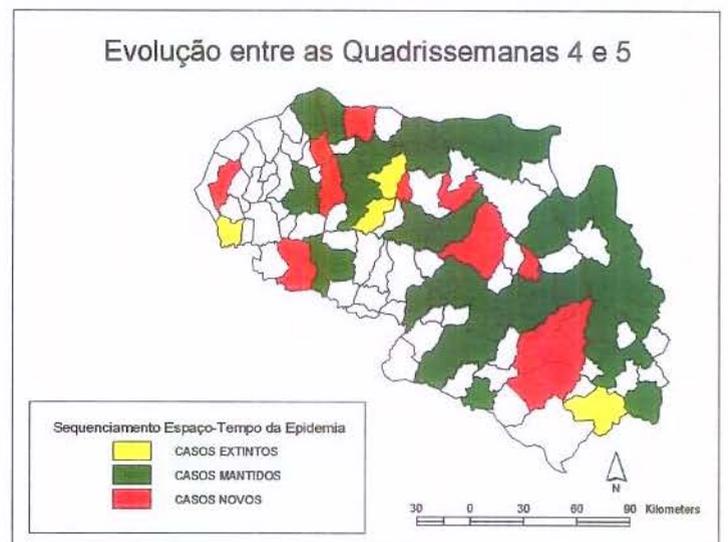
Evolução entre as Quadrissemanas 2 e 3



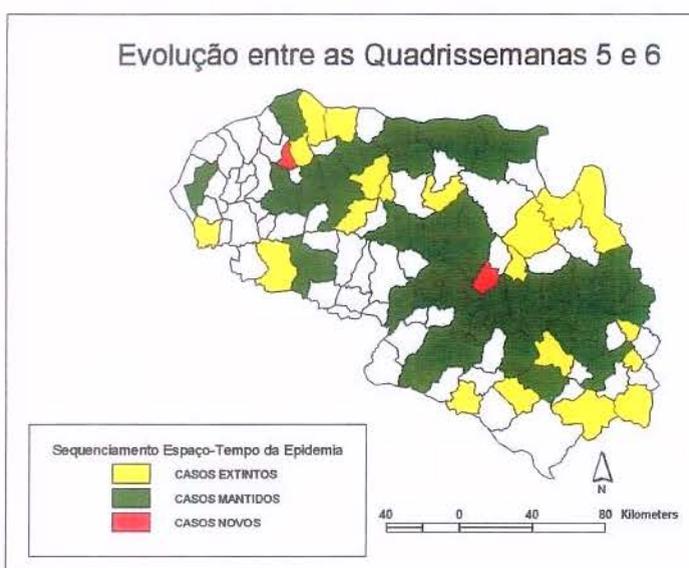
Evolução entre as Quadrissemanas 3 e 4



Evolução entre as Quadrissemanas 4 e 5



Evolução entre as Quadrissemanas 5 e 6



Evolução entre as Quadrissemanas 6 e 7

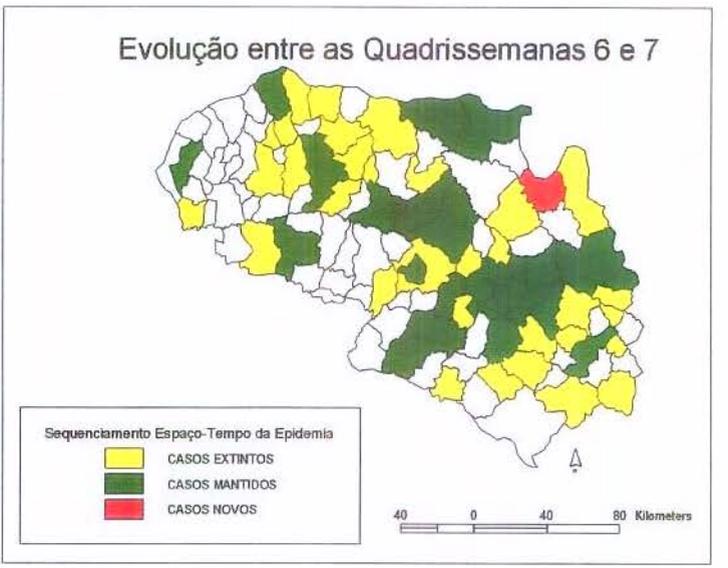


Figura 7.3 – Sequenciamento carto-temporal evolutivo da epidemia de dengue baseado na dinâmica entre casos novos, casos mantidos e casos extintos por município.

A passagem da 2ª para a 3ª quadrissemana mostra o surgimento de 12 novos municípios com casos de dengue, sendo que 6 destes (50,0%), estão contíguos à aqueles que já tinham casos registrados na quadrissemana anterior. A parte mais significativa se distribui no entorno de São José do Rio Preto (73) e Mirassol (72).

Tabela 7.1 – Total de municípios com casos novos contíguos a municípios com casos notificados em quadrissemana anterior e a taxa de contágio espacial correspondente.

Varição Quadrissemanal	Total de Municípios com Casos Novos	Casos Novos Contíguos à Casos Anteriores	Taxa de Contágio Espacial (%)
QUAD 2/QUAD 1	2	2	100,0
QUAD 3/QUAD 2	12	6	50,0
QUAD 4/QUAD 3	16	10	62,5
QUAD 5/QUAD 4	13	10	76,9
QUAD 6/QUAD 5	2	2	100,0
QUAD 7/QUAD 6	1	0	0
TOTAL	46	30	65,2

A evolução para a 4ª quadrissemana indica um ligeiro aumento na taxa de contiguidade marcando o surgimento de 16 novos casos, dos quais 10, ou 62,5 %, estão em contato com casos mantidos. Estes contatos são mais importantes no centro noroeste da mesoregião, principalmente nas proximidades de Fernandópolis (30). Entre a 4ª e a 5ª quadrissemanas a taxa de contágio se eleva a 76,9 %, uma vez que dos 13 casos novos, 10 manifestam-se contíguos a casos mantidos. Finalmente a partir da 6ª quadrissemana a epidemia mostra forte recuo na infestação, apresentando com apenas 2 novos municípios com casos, embora que ambos apareçam em contato a municípios-casos anteriores, ou seja, 100,0 % de contiguidade espacial.

Se a localização dos casos novos no mapa pode indicar que estes sejam frutos da proximidade a casos contíguos anteriormente manifestados - ou indicar também que em tais municípios estejam ocorrendo reinfestação de casos; a localização de casos mantidos de uma quadrissemana para outra pode revelar condições ecológicas propícias à reprodução do *Aedes Egypti*, associadas ao perfil demográfico e à geografia urbana destes municípios.

Além destas hipóteses propiciadas pela interpretação da seqüência cartográfica da Figura 7.3, outras também podem ser formuladas, entre elas, as estratégias de combate ao mosquito, o perfil educacional da população e por que não, às conexões espaciais intermunicipais efetuadas resultantes de migrações diárias da população.

7.4 – SÍNTESE DE SEQÜÊNCIAS CARTOGRÁFICAS EM VETORES ESPAÇO-TEMPO

Os sequenciamentos carto-temporais binário e dinâmico apresentados respectivamente nas Figuras 7.2 e 7.3, são documentos que podem servir de base para a construção de mapas de vetores seqüenciais de expansão de epidemias. Esta categoria especial de representação gráfica tem como propósito maior identificar a ordem de mobilidade dos casos no espaço entre quadrissemanas subsequentes e entre municípios em contágio direto ou indireto.

Entende-se por contágio direto aquele que envolve unidades cujos limites administrativos são comuns a um ou mais municípios. O contágio indireto é aquele que envolve dois ou mais municípios não contíguos, mas conectados remotamente pela rede de transporte de primeira ordem (rodovias por exemplo). Os vetores são construídos por meio de ligação entre pontos posicionados sobre a sede municipal, em uma seqüência ditada pelo intervalo de observação da evolução temporal dos casos (Figura 7.4).

As dimensões dos pontos são escolhidas de forma a comunicar ao leitor a ordem de aparecimento do primeiro caso por município, sendo os pontos maiores obviamente atribuídos a 1ª quadrissemana, e assim por diante.

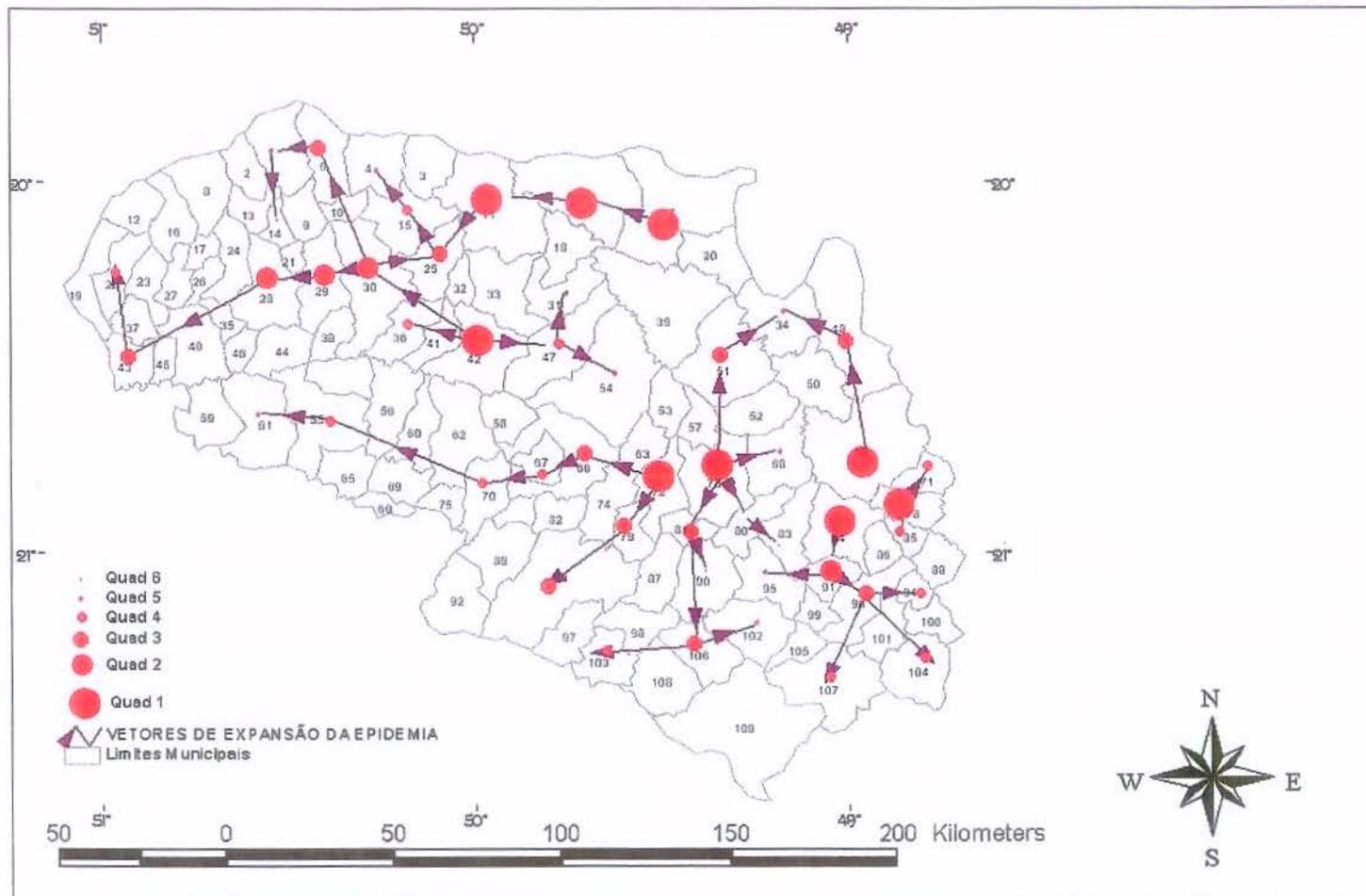


Figura 7.4 – Mapa dos vetores de difusão espaço-tempo da epidemia de dengue, baseados na contiguidade espacial entre quadrissemanas consecutivas.

O seqüenciamento das ligações entre os pontos é efetuado da 1ª para a 2ª quadrissemana, nesta ordem, até a 6ª quadrissemana. O traçado dos vetores de ligação sugere possíveis direções preferenciais de difusão espaço-temporal da epidemia.

O arranjo espacial dos vetores de difusão mostra a formação de um bloco situado a noroeste da mesoregião, cuja origem, está associada aos municípios de Paulo de Faria (7), Riolândia (5) e Cardoso (11). A partir destes núcleos a expansão se dá em um alinhamento direcionado a sudoeste, passando por Pedranópolis (25), Fernandópolis (30), Estrela D'Oeste (29), Jales (28), atingindo os extremos de Aparecida D'Oeste e Santa Fé do Sul (22).

Outro agrupamento também notável no mapa tem origem nos núcleos de São José do Rio Preto (73) e Mirassol (72), apresentando seqüências de vetores diversas. A seqüência vetorial mais significativa parte de Mirassol em direção oeste passando por Monte Aprazível (66) e Poloni (67) atingindo sua extremidade em Auriflama (61). A sul, os vetores atingem José Bonifácio (93), Irapuã (106) e Adolfo (103). Destaca-se também outra direção preferencial iniciando-se em São José do Rio Preto atingindo até Nova Granada (51) e Icém (34).

O último bloco se situa no entorno de Olímpia (64) e Tabapuã (84) de onde direcionam a sul os vetores que atingem Itajobi (107) e Santa Adélia (104), passando por Catanduva (96) e Catiguá (91). O modelo de expansão construído a partir da interpretação do mapa da Figura 7.4 pode ser aplicado a diferentes epidemias com o objetivo de testar hipóteses de possíveis formas de contágio e de espalhamento do número de pessoas infectadas.

Os mapas de autocorrelação espaço-tempo são construídos com o intuito de se visualizar possíveis *clusters* de associação entre casos, tempo e lugares (Figura 7.5). Este mapa mostra por meio de ligações, os núcleos que se mantiveram unidos de forma contígua durante a evolução da epidemia. As maiores correlações espaciais ocorrem em locais de maior adensamento da rede triangular formadas pela conexão entre sedes municipais.

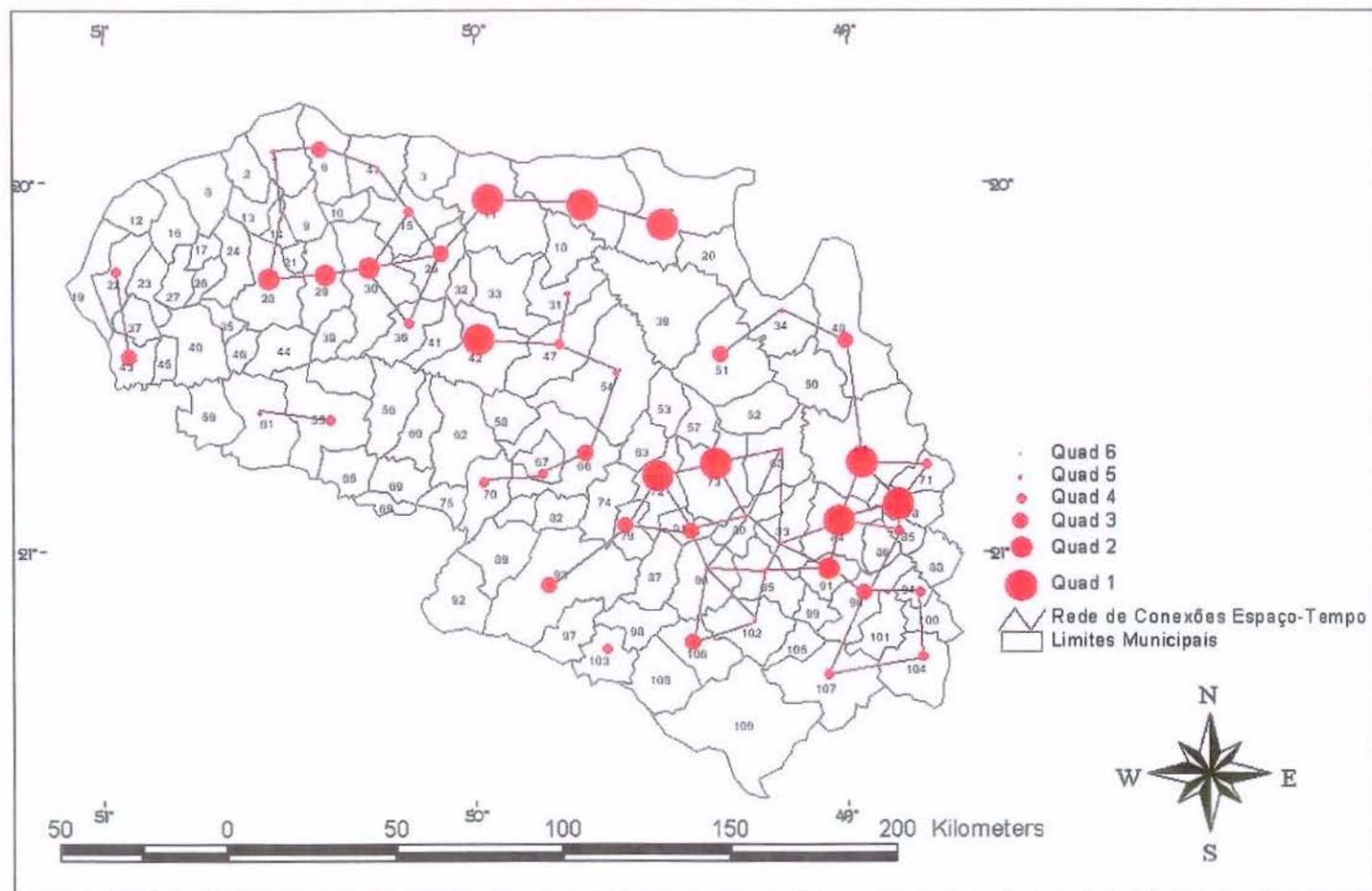


Figura 7.5 – Mapa da rede de conexões espaço-tempo e malhas de autocorrelação espacial da epidemia de dengue, com base nas seis primeiras quadrissesimas de 2001.

No mapa da Figura 7.5 nota-se a existência de um cluster situado a noroeste da mesoregião, formado por Jales (28), Estrela D'Oeste (29), Fernandópolis (30), Votuporanga (42), Pedranópolis (26) e Populina (1). Também são perceptíveis dois outros clusters espaço-tempo: um posicionado no entorno de São José do Rio Preto (73) incluindo os municípios de Mirassol (72), Bady Bassit (81), Jaci (79), Guapiaçu (68); e outro ao redor de Olímpia (64), do qual fazem parte inclusive Tabapuã (84), Catanduva (96), Catiguá (91) e Cajobi (78).

7.5 – MAPAS DE VELOCIDADE MÉDIA DE CONTÁGIO

As abordagens espaço-tempo aplicadas à epidemiologia permitem, inclusive, estimar a velocidade média de contágio por unidade geográfica em um determinado intervalo de tempo e comparar as curvas cumulativas da incidência da epidemia em uma população (Figura 7.6).

Estas curvas, segundo Cliff & Haggett (1979), têm forma sigmoideal com dois pontos de inflexão que dividem-na em três fases: a *fase lenta*, caracterizada pelo início da infestação e contaminação, a *fase rápida* seguinte, quando a epidemia se manifesta com grande espalhamento e contágio e a *fase final*, quando há o recuo do número de casos por habitante, fruto de medidas de combate ou devido ciclicidade natural do agente causador.

Estas curvas podem ter formas relativamente distintas a depender das localidades geográficas às quais estão associadas. Tais características diferenciais podem ser utilizadas para análise dos fatores ecológicos ou demográficos envolvidos nas diferentes velocidades de contágio verificadas nestas localidades. A Figura 7.6 mostra exemplos dos distintos comportamentos destas curvas de velocidade de contágio.

As localidades de Jales (28) e Cajobi (78) são exemplos de curvas rápidas que atingiram a totalidade logo nas quadrissemanas iniciais; Mirassol (72) e Olímpia (64) estão em posição intermediária apresentando menor velocidade que

as primeiras e, por fim Potirendaba (90), embora revelando velocidade rápida, atinge-a apenas nas quadrissemanas finais.

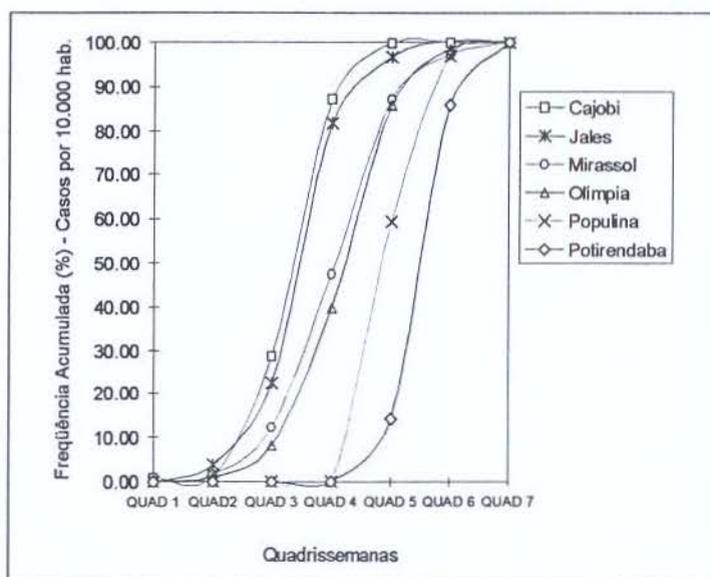


Figura 7.6 – Curvas de velocidade média de contágio por dengue baseada na frequência acumulada de casos dengue por 10.000 habitantes, para 6 municípios da mesoregião de São José do Rio Preto.

As localidades de Jales (28) e Cajobi (78) são exemplos de curvas rápidas que atingiram a totalidade dos casos logo nas quadrissemanas iniciais; Mirassol (72) e Olímpia (64) estão em posição intermediária apresentando menor velocidade que as primeiras e por fim, Potirendaba (90) que embora apresente velocidade rápida, atinge-a apenas nas quadrissemanas finais.

Além do diagrama da Figura 7.6, é possível construir mapas de velocidades médias de contaminação. Este documento posiciona graficamente no plano cartográfico, diferentes espaços classificados segundo a rapidez com que a epidemia contagia os habitantes locais. A legenda pode ser expressa pela razão entre casos confirmados em relação à população residente, por dia da série temporal estudada (Figura 7.7).

A Figura 7.7 apresenta o mapa da velocidade média relativa de contaminação para a mesoregião estudada. O fato mais relevante destacado neste mapa refere-se ao conjunto de municípios contíguos e alinhados na direção sudoeste-nordeste tendo ao centro as localidades de São José do Rio Preto (73) e Mirassol (72), que apresentam alta velocidade de contágio se comparada à média regional.

No restante dos espaços, percebe-se isoladamente alguns casos significativos cujas características locais contribuem de forma diferenciada para a existência da alta velocidade de contágio verificada. Citam-se os exemplos de Fernandópolis (30), Populina (1) e Poloni (67), como evidências de manifestações isoladas que merecem estudo aprofundado para explicar as origens geográficas do fenômeno.

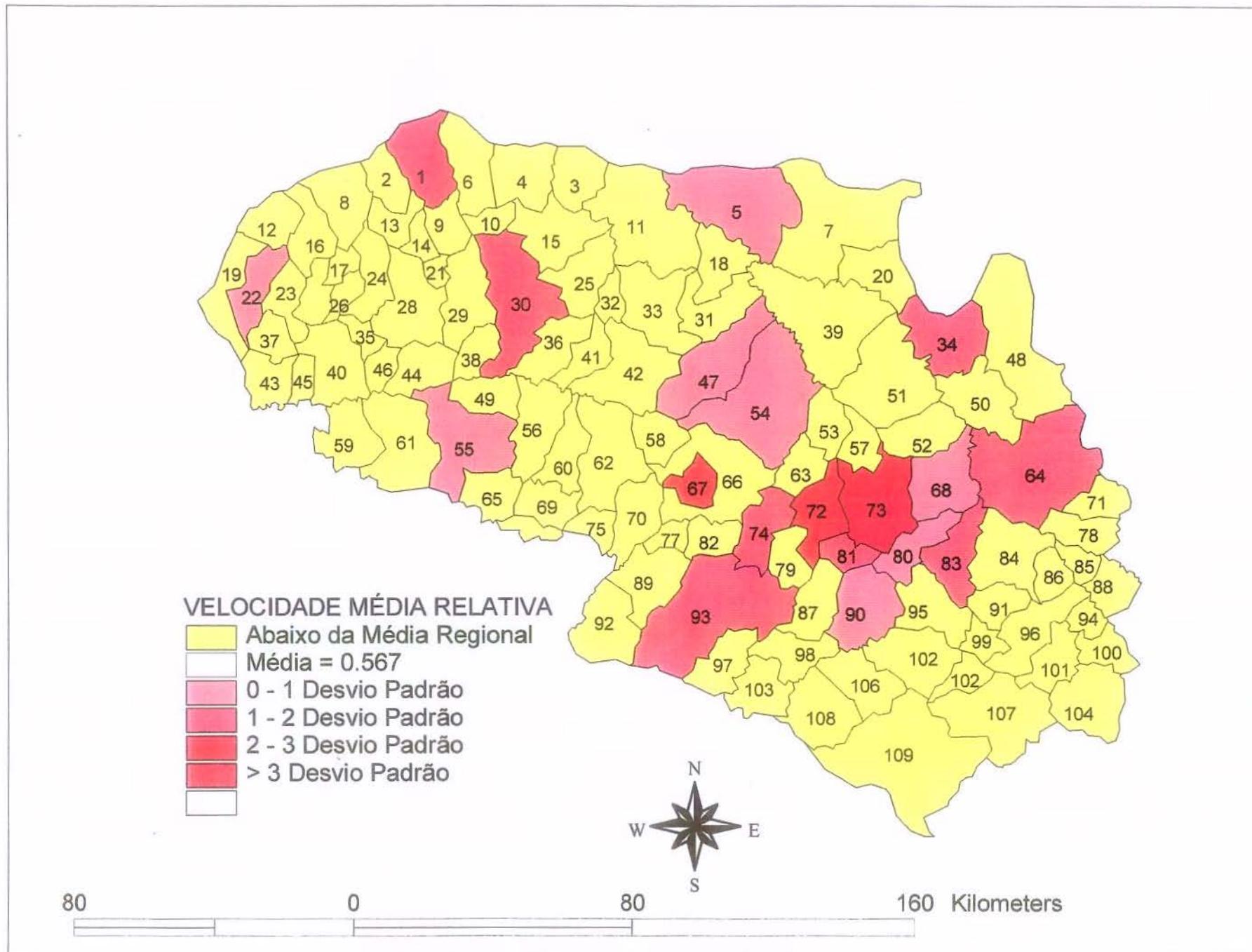


Figura 7.7 - Mapa da velocidade média relativa de contaminação por dengue, por município em 2001.

8.

MAPAS MONOTEMPORAIS DA EPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM MODELOS DE CAMPOS CONTÍNUOS

8.1 – MAPAS ISOPLÉTICOS MONOTEMPORAIS

A representação baseada em objetos tem sido amplamente utilizada para a construção de mapas de variáveis demográficas, socioeconômicas e de saúde pública. O principal atrativo daquela categoria de estrutura é que a unidade geográfica amostral é utilizada também para a espacialização dos dados, a zona ou o polígono municipal.

A rede de polígonos formada por esta estrutura preserva a imagem dos domínios territoriais da unidade de observação, o que proporciona ao leitor do mapa um certo sentido de exatidão, previsibilidade e similaridade com o mundo real. Por esta razão os objetos são os mais difundidos em diversas disciplinas e áreas de pesquisa que adotam dados espaciais em sua abordagem.

Contudo, sabe-se que diversas categorias de dados geográficos têm distribuição espacial contínua e probabilística, cujas variações são multidirecionais se assemelhando a superfícies. Além dos dados climáticos e topográficos já devidamente exemplificados e conhecidos na literatura geográfica, os dados de doenças ou epidemias assumem, em alguns casos, a estrutura de campos contínuos, e por isto, podem ser também representados como mapas de isolinhas ou *isopléticos*.

As epidemias cujos agentes transmissores estão vinculado ao ar - como as viroses em geral ou as epidemias de que se não se conhece com exatidão a distribuição espacial e a etiologia, mas apenas probabilidades isoladas – se incluem entre exemplos de situações adequadas aos campos contínuos. A rigor, todo tipo de dado de saúde é factível de ser cartografado em mapas isopléticos.

O mapa isoplético é construído a partir de processos de interpolação de dados georreferenciados para alguns pontos do espaço. Atualmente, inúmeros softwares disponibilizam funções de interpolação de superfícies, cuja principal tarefa é a geração de novos valores de dados para vazios situados entre pontos com valores conhecidos.

Por ser construído com base em uma superfície numérica estimada segundo modelos euclidianos, os mapas isopléticos podem conter em alguns locais valores superestimados ou subestimados. Este tipo de mapa não é para ser lido ponto a ponto, mas para ser interpretado nas suas tendências gerais de concentração ou dispersão com base principalmente nas diferenças de distância entre as isolinhas.

O mapa da Figura 8.1 mostra um exemplo de mapa isoplético de valores da taxa de incidência de dengue por 10.000 habitantes construído a partir da interpolação pelo método da mínima curvatura. O mapa apresentado na Figura 8.2 trata-se de uma composição integrando o mapa em objetos ao mapa isoplético da Figura 8.1. Esta composição permite que se interprete a doença também pela lógica fuzzy, já que cada objeto tem ao fundo a variação contínua de superfície.

A representação isoplética produz uma imagem gráfica da epidemia na forma de "nuvens" ou "manchas" contínuas que se espalham pelo espaço geográfico com morfologia e orientação particulares, a depender dos intervalos de dados adotados. Os mapas das figuras 8.1 e 8.2 mostram que as manchas correspondentes aos valores situados no intervalo 121 – 200 casos e também acima de 200 casos por 10.000 habitantes, se alongam de leste a oeste concentrando-se entre os municípios de Mirassol, São José do Rio Preto e Olímpia, destacando aí uma região de alta incidência de casos.

Os mapas das figuras 8.2 e 8.2 também esclarecem que a concentração das altas incidências diminui mais rapidamente em direção a oeste que a noroeste, onde a localidade de Fernandópolis se destaca isoladamente com elevada incidência de casos.

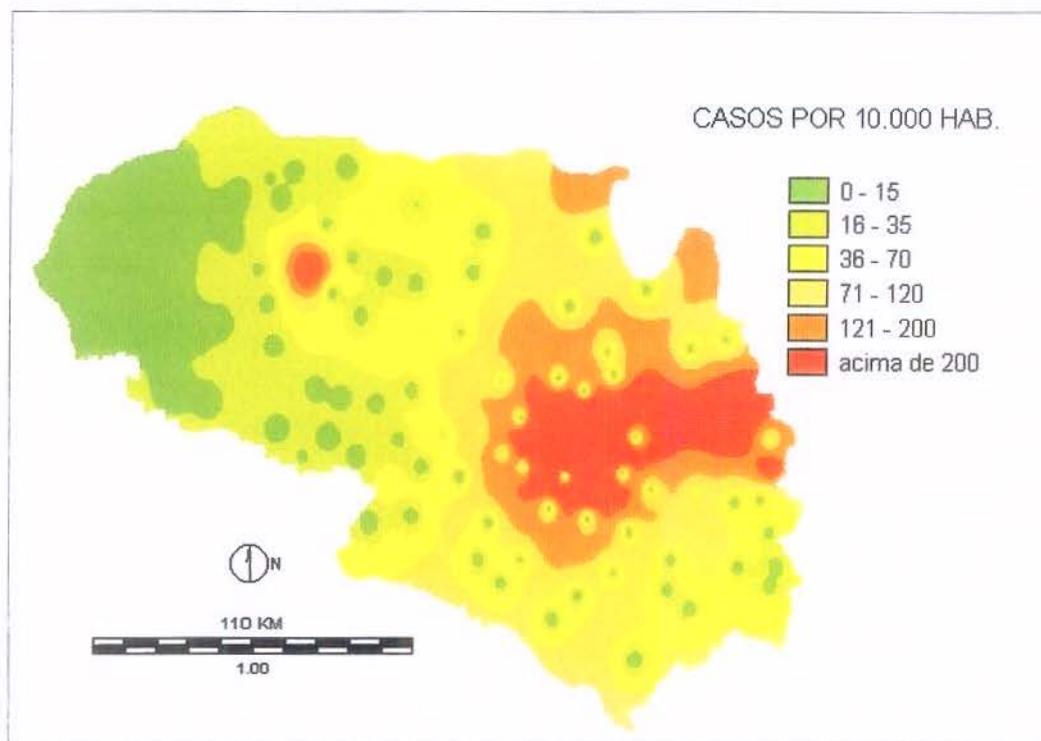


Figura 8.1 – Mapa isoplético monotemporal da incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes, por município em 2001.

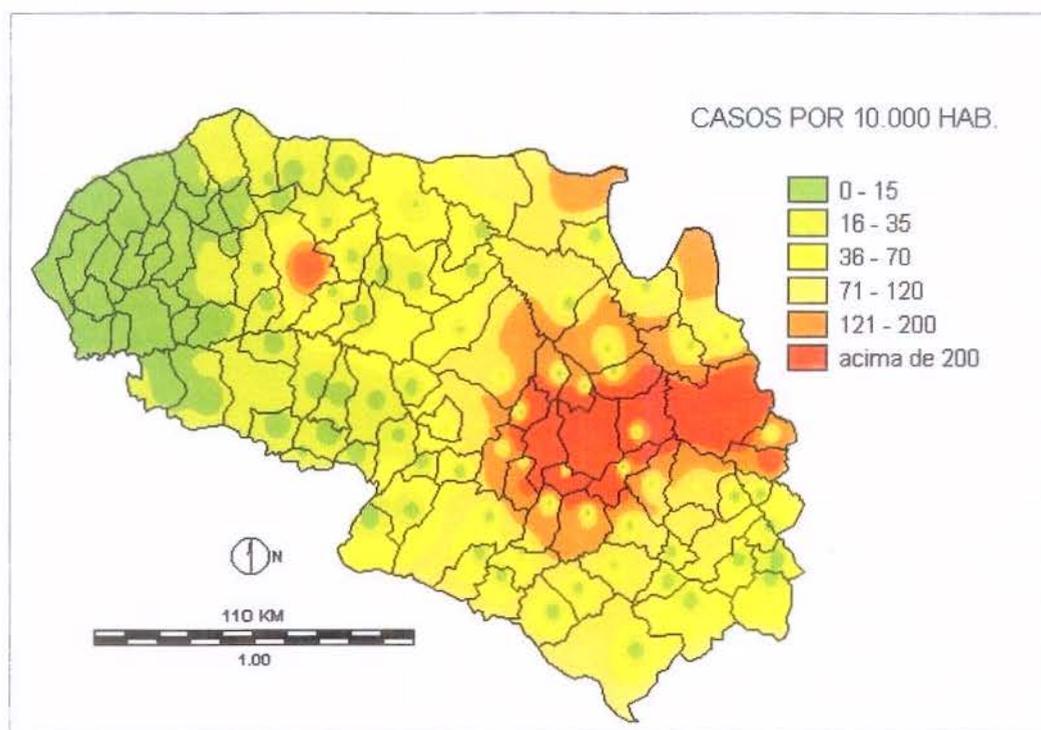


Figura 8.2 – Sobreposição do modelo de objetos (limites administrativos) ao mapa isoplético monotemporal da Figura 8.1.

A norte da região de maior incidência, a diminuição dos valores na superfície é menos perceptível, principalmente pela presença naquele quadrante de municípios com destacada incidência em relação aos demais, como é o caso de Paulo de Faria (7) e Riolândia (5).

Cabe ressaltar por outro lado que, o processo de interpolação pode gerar situações de anormalidade na superfície, constatadas na Figura 8.1 pelas formas circulares em tons de verde, cujo significado está associado à presença de municípios onde não foram notificados casos de dengue. Entretanto, a leitura deste mapa se faz de forma global e multidirecional confrontando-se tais locais à vizinhança ou à distância de regiões de alta incidência de casos.

8.2 – MAPAS DE SUPERFÍCIES DE TENDÊNCIA

A análise de tendência de dados epidemiológicos está relacionada à construção de uma superfície que melhor represente a distribuição bidimensional da série espacial de dados referentes à epidemia. A determinação da superfície é feita a partir de métodos polinomiais disponíveis em vários SIG e também em softwares de estatística espacial.

Existem três tipos de superfícies de tendência que podem ser geradas a partir de dados de saúde: as superfícies lineares, as superfícies quadráticas e as superfícies cúbicas. As superfícies lineares são as mais simples e gerais, revelando baixas taxas de variabilidade dos dados e indicando apenas uma tendência genérica da distribuição geográfica destes dados. Esta categoria de superfície geralmente é contínua e tem uma única direção.

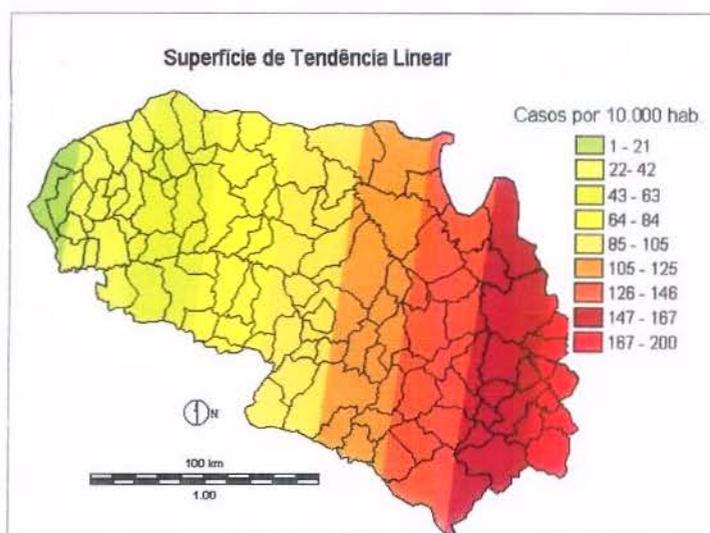
Já as superfícies de maior grau – as quadráticas e as cúbicas, são progressivamente mais complexas, gerando mapas com maior resolução espectral e por isto, revelam mais detalhes e maior número de tendências direcionais nos dados espaciais. Como consequência, caracterizam-se como superfícies mais refinadas, se aproximando ao máximo da real distribuição espacial dos dados epidemiológicos.

Os mapas das superfícies de 1^o, 2^o e 3^o graus obtidas a partir dos dados de incidência de casos de dengue por município, são mostrados, respectivamente, nas figuras 8.3 a, 8.3 b e 8.3 c. Os valores dos parâmetros estatísticos correspondentes às estas superfícies encontram-se na Tabela 8.1.

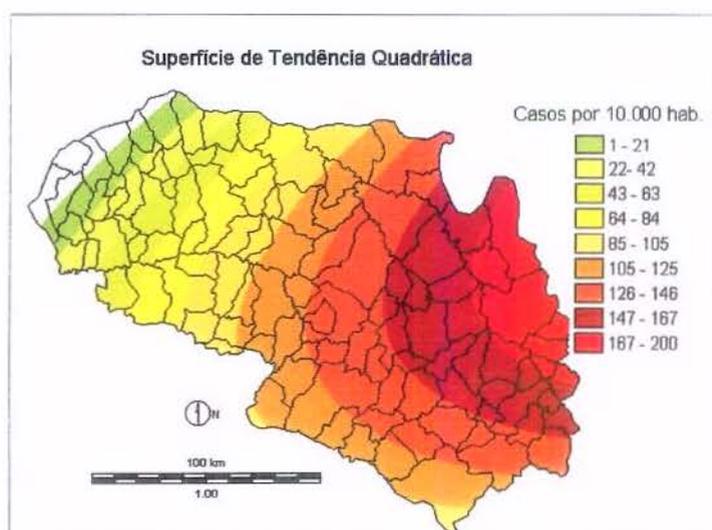
Tabela 8.1 – Parâmetros estatísticos referentes às superfícies de tendência geradas para os dados de incidência de notificações dengue por 10.000 habitantes na mesoregião de S.J. do Rio Preto.

Superfície	R² (%)	F	Coefficientes
Linear	44,94	243.740	X1 =0,5340 X2 = 0,0005 X3 =-0,0002
Quadrática	59,21	173.413	X1 =0.1554 X2 = 0,0015 X3 =-0,0004
Cúbica	60,63	102.194	X1 =-0,191 X2 = 0,0024 X3 =-0,0019

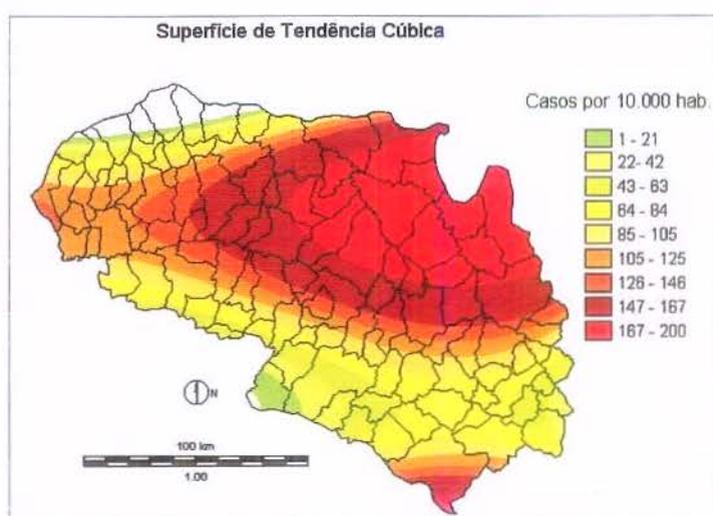
As superfícies apresentadas na Figura 8.3 contêm morfologia e densidade de pontos de inflexões muito distintos entre si merecendo alguns comentários. A superfície linear (Figura 8.3a) - caracterizada por intensa regularidade, orientação predominantemente constante das isolinhas e ausência de mudanças de inflexão, tem direção de caimento de sudeste a noroeste. O padrão espacial desta superfície apenas mostra ao leitor em uma primeira aproximação, que a incidência da epidemia de dengue diminui gradativamente para noroeste - principalmente devido à localização de municípios de alta incidência, como Mirassol (72), S.J. do Rio Preto (73) e Olímpia (64), no centro-leste da região.



(A)



(B)



(C)

Figura 8.3 – Mapas de superfícies de tendência linear (A), quadrática (B) e cúbica (C); para os dados de incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes em 2001

Os dados da Tabela 8.1 mostram que a superfície linear responde por 44,94 % da variabilidade total dos casos.

Explicando 59,21 % da variabilidade dos dados de incidência de dengue na área estudada, a superfície quadrática contém tanto elementos da superfície linear (no extremo noroeste da mesoregião) como da própria superfície quadrática, destacados no centro leste (Figura 8.3b). A análise morfológica desta superfície mostra um divisor de dados marcado pela inflexão constante em alinhamento ENE-WSW com valores máximos nas localidades de S. J. do Rio Preto (73) e Olímpia (64).

As curvaturas associadas aos intervalos 105-125 e 126-146 atingem ao norte os municípios de Riolândia (5) e Paulo de Faria (7), importantes pólos de incidência da doença. A partir do intervalo 85-105 um ponto de inflexão marca a tendência a retilinidade da superfície, o que mascara de certa forma, a alta a incidência de casos da doença em Fernandópolis (30) e Votuporanga (42).

A superfície de tendência cúbica (Figura 8.3c) se ajusta com maior fidelidade à distribuição espacial da doença. Os valores da Tabela 8.1 destacam que esta é a superfície que melhor explica a variabilidade dos dados, com $R^2 = 60,63$. Como morfologia mais complexa, marcada por diferentes pontos de inflexão e mudanças de taxas de variação lateral dos dados, o mapa da Figura 8.3c mostra um alinhamento de divisores de leste para oeste, perfazendo aí um "alto" de valores acima de 105 casos por 10.000 habitantes.

Este patamar mais elevado coincide de certa forma com a localização de municípios onde a incidência é mais significativa, incluindo Olímpia (64), S.J. do Rio Preto (73), Mirassol (72), Votuporanga (42), Fernandópolis (30), Cardoso (11), Riolândia (5) e Paulo de Faria (7). Também indica a superfície cúbica uma rápida queda na incidência de casos em direção ao sul e ao extremo noroeste.

Os três modelos de superfícies apresentados na Figura 8.3 constituem-se em instrumentos importantes para a suavização das curvas de isovalores da epidemia, bem como, para se conhecer as tendências regionais dos dados e os resíduos locais em relação à tendência geral da superfície.

9.

MAPAS MULTITEMPORAIS DA EPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM MODELOS DE CAMPOS CONTÍNUOS

9.1 – SEQÜENCIAMENTO ESPAÇO-TEMPO DE MAPAS ISOPLÉTICOS

O sequenciamento espaço temporal de mapas isopléticos é um procedimento de grande validade quando se quer avaliar a difusão de uma epidemia abordando-a como uma nuvem móvel no espaço geográfico. Dada a exatidão e a rigidez do modelo de objetos, que dá às bordas de expansão epidêmica uma configuração retelinizada, é mais difícil identificar neste modelo a dinâmica de espalhamento dos novos casos no tempo de forma contínua.

A abordagem relativa do binômio espaço-tempo, quando estruturada em mapas isopléticos de diferentes instantes da linha do tempo, relativiza ao tempo, simultaneamente, a dimensão horizontal contínua e a dimensão vertical da epidemia. Entende-se por dimensão horizontal, a lateralidade da difusão definida pela borda da nuvem em um determinado instante da série temporal. Via de regra, a lateralidade avança sob influência dos casos novos e, nesta borda, o valor da incidência de casos tende a ser menor quando comparado aos valores dos pontos situados em áreas nucleares da epidemia. A dimensão vertical é dada pelas isolinhas de "altura" dos valores da epidemia, que a depender do instante da série temporal, assumem posições distintas e áreas de abrangência maiores ou menores para um mesmo intervalo de dados. (Tabela 9.1).

A combinação entre as dimensões horizontais e verticais do sequenciamento cartográfico isoplético cria uma "pulsção espacial" com velocidade e morfologia que dependem do tipo de epidemia ou de ciclicidade da doença. A pulsção espacial pode ser utilizada como referência para construção de modelos epidemiológicos preditivos e também para o traçado de vetores de difusão indicando o sentido preferencial de expansão. A Figura 9.1 sintetiza uma seqüência isoplética de 6 quadrissemanas.

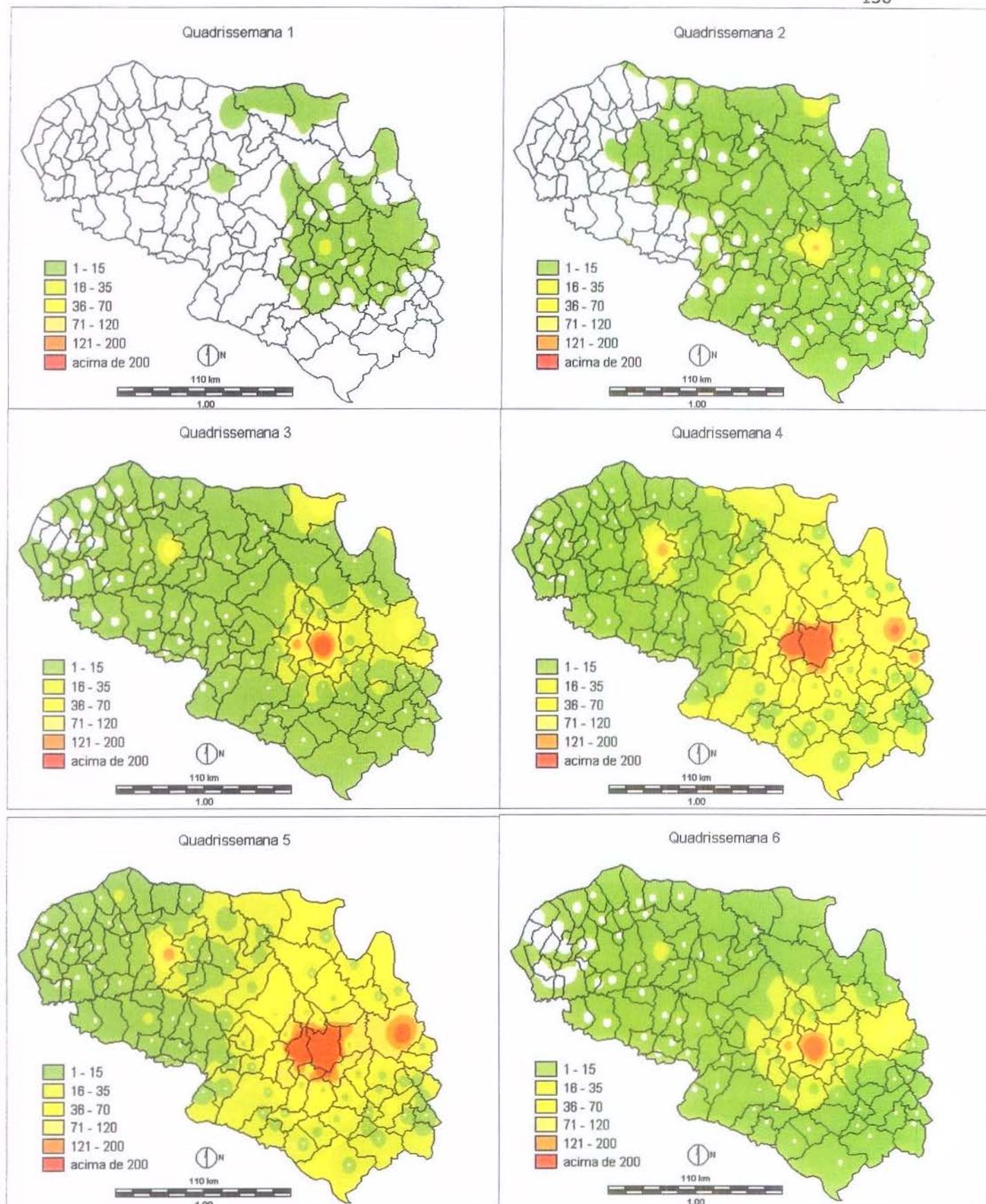


Figura 9.1 – Seqüência isoplética espaço-tempo da incidência de casos de dengue por 10.000 habitantes nas seis primeiras quadrisessemana em 2001.

A seqüência cartográfica isoplética da Figura 9.1 mostra que a partir da 1ª quadrissemana - instante em que a epidemia se encontra em fase inicial, surge um pico de maior incidência na localidade de Mirassol (72), classificado no intervalo de 16 a 35 casos por 10.000 habitantes. Ainda neste momento da série espaço temporal, há uma mancha ao redor daquele município correspondente a valores mais baixos de incidência, delimitando nuvem ligeiramente expandida a leste e a norte.

Este pico passa a expandir-se já na 2ª quadrissemana, quando engloba S. J. do Rio Preto. Neste momento aparecem indícios de picos também no extremo norte em Paulo de Faria (7). Nota-se ainda uma rápida expansão das baixas incidências, principalmente no centro-oeste ao redor de Fernandópolis (30) e Votuporanga (42). Na 3ª quadrissemana aquele pico principal já parece se consolidar formando uma nuvem mais definida e contígua, acompanhada da expansão da faixa entre 16 e 35 casos.

A partir da 4ª e 5ª quadrissemanas, a nuvem correspondente às altas incidências de casos parece expandir-se com notoriedade mostrando consolidação da epidemia, principalmente na 5ª quadrissemana. Destaca-se um corredor de oeste a leste contendo altos valores alinhando Mirassol (72), São José do Rio Preto (73) e Olímpia (64), onde são estimados índices acima de 71 casos por 10.000 habitantes, atingindo em alguns locais isolados até o extremo de 200 casos. Além desta informação, deve-se mencionar que, na 4ª e 5ª quadrissemanas a nuvem correspondente aos isovalores situados entre 36 – 70 casos passa a ocupar expressiva superfície, predominando-se nos espaços situados a leste e a norte da mesoregião.

A 6ª quadrissemana marca o momento do recuo da epidemia, quando após 5 quadrissemanas de expansão nota-se o início da contração espacial indicando semelhança à situação verificada na 3ª quadrissemana, retornando a maior incidência de casos aos núcleos iniciais da epidemia localizados em Mirassol, S.J. do Rio Preto, Olímpia e Fernandópolis. Esta pulsação espacial interpretada a partir do sequenciamento isoplético pode ser confirmada pela Tabela 9.1. Nesta tabela

são mostrados os percentuais em área ocupada por nuvem de isovalores em relação à área total da região, por quadrissemana.

Tabela 9.1 – Percentual em área ocupada, por superfície limitada por isovalores de incidência de notificações de dengue, em relação à área total da região, segundo a quadrissemana.

Intervalos de Superfície	Quadrissemanas						
	Quad 1	Quad 2	Quad 3	Quad 4 (%)	Quad 5	Quad 6	Quad 7
1 a 15	25,1	69,3	78,9	45,1	38,5	79,4	76,2
16 a 35	0,2	1,7	11,8	30,9	30,4	11,6	1,4
36 a 70	0,0	0,4	2,6	14,7	19,2	2,2	0,5
71 a 120	0,0	0,2	0,8	4,5	6,3	1,1	0,2
121 a 200	0,0	0,1	0,4	1,6	2,1	0,4	0,1
> 200	0,0	0,0	0,3	2,0	2,7	0,0	0,0
TOTAL	25,3	71,7	94,8	98,8	99,2	94,7	78,4

Na Tabela 9.1, em negrito estão destacados os valores correspondentes aos maiores percentuais em área ocupada por intervalo de isovalores em cada quadrissemana. Na 5ª quadrissemana ocorreu a maior frequência de valores máximos dos intervalos de incidência de caos, enquanto as nuvens de valores mais baixos concentraram-se até a 4ª quadrissemana. Percebe-se ainda que a nuvem de valores situados entre 1 – 15 casos por 10.000 habitantes teve dois picos - na 3ª e na 6ª quadrissemanas, indicando a contração espacial da epidemia a partir desta última.

9.2 – CENTRO GEOGRÁFICO PONDERADO E RAIOS PADRÃO DA EPIDEMIA

Os mapas baseados em campos contínuos analisados sob uma perspectiva espaço-tempo se constituem essencialmente em modelos numéricos matriciais

estruturados em formato contínuo, sobre os quais aplicam-se técnicas ou processos de classificação para facilitar a comunicação visual dos dados ao leitor.

A seqüência isoplética espaço tempo da Figura 9.1 é composta de um conjunto de modelos digitais cuja distribuição espacial de valores depende do instante da série temporal ao qual está associado. Estes modelos podem ser analisados de forma sintética de tal maneira que um índice possa ser extraído de cada modelo a cada instante da série. Dois exemplos mais importantes deste tipo de índices são o *raio padrão* (RP) e o *centro geográfico ponderado* (CGP) da epidemia. Tais índices espaço-tempo quando utilizados em conjunto contribuem para o entendimento da dispersão da epidemia (Cliff & Haggett, 1979).

Calculando-se CGP e RP para cada mapa da Figura 9.1, pode-se monitorar a centralidade espacial da epidemia de dengue a partir do traçado da trajetória do centróide durante a série temporal. Além disto, conhecendo-se a distância entre os centróides em diferentes instantes da série, é possível estimar a velocidade de espalhamento da epidemia em uma determinada direção.

Os vetores de mobilidade espacial do centro geográfico da epidemia são traçados sobre o mapa base da área estudada a partir da conexão dos centros geográficos, cujos valores encontram-se na Tabela 9.2. O mapa assim construído (Figura 9.2) é útil no monitoramento do contágio espacial e também no planejamento das ações de prevenção ao aparecimento de novas áreas infectadas.

Tabela 9.2 - Valores das coordenadas geográficas, na projeção policônica de Lambert, do centro geográfico ponderado; do raio padrão e da velocidade de dispersão, estimados para sete quadrissemanas da epidemia de dengue analisadas.

Quadrissemana	Latitude	Longitude	Dispersão Espacial (%)	Raio Padrão (km)	Velocidade Média ⁽¹⁾
1	20° 35'	49° 19'	40,84	57,3	-
2	20° 38'	49° 40'	71,61	101,4	10,5
3	20° 37'	49° 44'	138,05	156,2	2,1
4	20° 36'	49° 46'	215,46	282,0	1,1
5	20° 39'	49° 39'	226,40	312,6	- 3,4 ⁽²⁾
6	20° 40'	49° 34'	140,62	196,9	- 2,3
7	20° 41'	49° 35'	77,0	107,8	- 0,5

(1) – Em quilômetros por semana epidemiológica

(2) – Os valores negativos referem-se à mudança de direção da velocidade.

Os dados apresentados na Tabela 9.2 confirmam as imagens apresentadas no mapa da Figura 9.2. Destaca-se o fato de que a 4ª e 5ª quadrissemanas apresentaram os maiores valores de raio padrão e índice de dispersão espacial. Para o raio padrão, nota-se que o valor observado para 5ª quadrissemana cresceu 554 % em relação ao início da epidemia e para a dispersão espacial, igualmente exponencial, o crescimento foi 545 % superior a 1ª quadrissemana.

A existência de uma pulsação espacial é atribuída geralmente, a ciclicidade sazonal de algumas epidemias. Além deste fator que poderia ser comprovado apenas com dados evolutivos provenientes de uma mesma localidade, os dados da Tabela 9.2 confirmam essencialmente as dimensões espaço temporais da epidemia. A informação espacial mais relevante é que, o raio e a dispersão são variáveis do tempo distribuindo-se de forma desigual no espaço e, devido às particularidades urbano-geográficas de alguns municípios e à variabilidade da fluidez da rede regional de transportes, apresenta forte anisotropia.

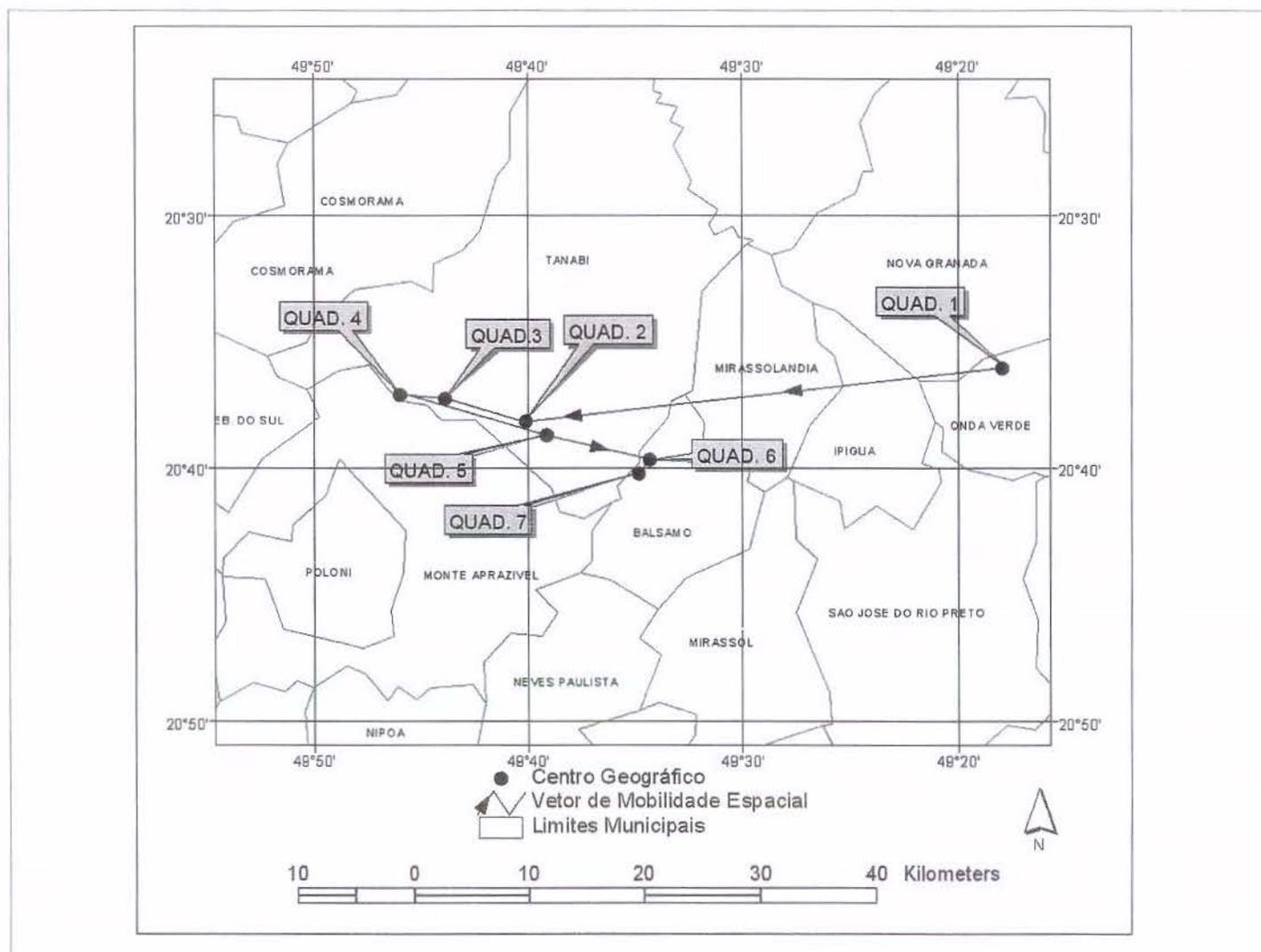


Figura 9.2 – Mapa dos vetores de mobilidade espacial e da posição do centro geográfico ponderado da epidemia de dengue nas seis primeiras quadrissemanas de 2001.

O mapa da Figura 9.2 não deixa dúvida de que, da 1ª para a 2ª quadrissemana, a migração do centro geográfico da epidemia de dengue dirigiu-se para WSW (oeste-sudoeste). A partir daquele momento, a partir da linha espaço-tempo percebe-se um leve redirecionamento do vetor de mobilidade espacial, para WNW (oeste-noroeste), mantido assim até a 4ª quadrissemana. Neste ponto de máximo avanço do centro geográfico em relação ao início da epidemia, ocorreu o início da retração espacial, marcada por um retorno em direção ESE (leste-sudeste) até a 6ª quadrissemana.

As velocidades referentes ao deslocamento do centro geográfico, de uma quadrissemana para outra, são desiguais, indicando a existência de uma explosão inicial, confirmada pela velocidade de 10,5 km/quadrissemana entre a 1ª e a 2ª quadrissemanas, seguida por uma desaceleração nas etapas seguintes, quando as velocidades estimadas situaram-se em 2,1 km/quadrissemana e 1,1 km/quadrissemana epidemiológica (Tabela 9.2). Os valores posteriores denotam a mudança direcional das velocidades, com variações que sugerem desaceleração gradual até a 7ª quadrissemana.

10.

MAPAS DA EPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM MÉTODOS DE ANÁLISE DE REDES GEOGRÁFICAS

Nas seções anteriores deste estudo, ênfase mais acentuada foi dada à análise das relações entre as substâncias e suas instâncias no espaço geográfico. Tanto os dados referentes à incidência de dengue, como os dados absolutos anuais e quadrissemanais – as *substâncias*, foram sempre contextualizados e relativizados de acordo com posições espaciais – as *instâncias*.

As substâncias e as instâncias também foram abordadas neste texto, em sua manifestação dinâmica segundo fragmentos temporais, de forma a permitir a interpretação espaço-tempo da dengue, fundamental para entender o processo de difusão espacial. Neste nível se pôde compreender a mobilidade de intensidades de substância entre diferentes instâncias espaciais.

Resta agora, averiguar as conexões entre os lugares dentro de uma rede geográfica, de tal forma a confirmar se a estrutura espacial – os arranjos, as hierarquias, a morfologia da distribuição dos eventos de dengue e as concentrações locacionais da epidemia; podem ser também analisados a partir fluxos populacionais potenciais entre diferentes instâncias.

Esta preocupação não é infundada, já que, parte das epidemias de alto contágio e permeabilidade entre diferentes territórios tem seus picos de difusão espacial governados muitas vezes por contatos entre diferentes populações, em geral potencializados de acordo com as redes de mobilidade espacial. Não é necessário entrar em maiores detalhes para comprovar tal afirmação, bastando lembrar a magnitude da difusão espacial da SARS, ocorrida em considerável parte do mundo no início de 2003, cuja expansão intercontinental foi favorecida pela rede de transporte aéreo. Não é fato novo, a associação entre a expansão de doenças endêmicas como a malária e a febre amarela e a mobilidade de pessoas infectadas por transporte rodoviário ou aeroviário no Brasil. Igualmente também,

não é descoberta recente, a penetração e difusão do cólera nos anos 80 nas regiões norte e nordeste do país, favorecida pelo transporte fluvial e marítimo da porção setentrional de nosso país.

Seguindo tal linha de raciocínio, pode-se estudar também a dengue sob a ótica da rede de conexão entre núcleos urbanos, por transporte rodoviário. Inicialmente, como base para a análise, é apresentado na Figura 10.1 o mapa das conexões urbanas manifestadas pela rede rodoviária pavimentada da meso-região de São José do Rio Preto.

O mapa da Figura 10.1 pode ser tratado como um mapa de eixos de contágios reais entre diferentes grupos populacionais habitando territórios municipais distintos. As ligações entre os nós e também, os segmentos lineares da rede, são estruturas de espaços por onde se realizam fluxos de mercadorias, pessoas, valores, informações e inovações. Seja devido aos serviços diferenciais disponibilizados, seja pela oferta de postos de trabalho ou pela multiplicidade e especialidade comercial, alguns nós da rede atraem para si maior contingente populacional, cujo fluxo se dá principalmente por meio de uma migração diária realizada por conexão rodoviária. Por estas razões, a rede de contágio da Figura 10.1 é real e não apenas potencial. Um exemplo de rede de contágio potencial baseada na contiguidade e na menor distância euclidiana entre núcleos urbanos, é apresentada na Figura 10.2.

Os segmentos que definem a rede da Figura 10.2 não existem concretamente no espaço geográfico e nem é através deles que se materializam os fluxos de pessoas e objetos. Entretanto, este tipo de rede ao ser lida por meio de seus triângulos, ou regiões nodais, permite interpretar maiores ou menores densidades de conexões. Os espaços onde são mais frequentes triângulos menores indicam alta densidade de conexões e, portanto, maior o potencial de contágio espacial. Em contrapartida, as baixas densidades estão reveladas pelas áreas com triângulos de maior superfície.

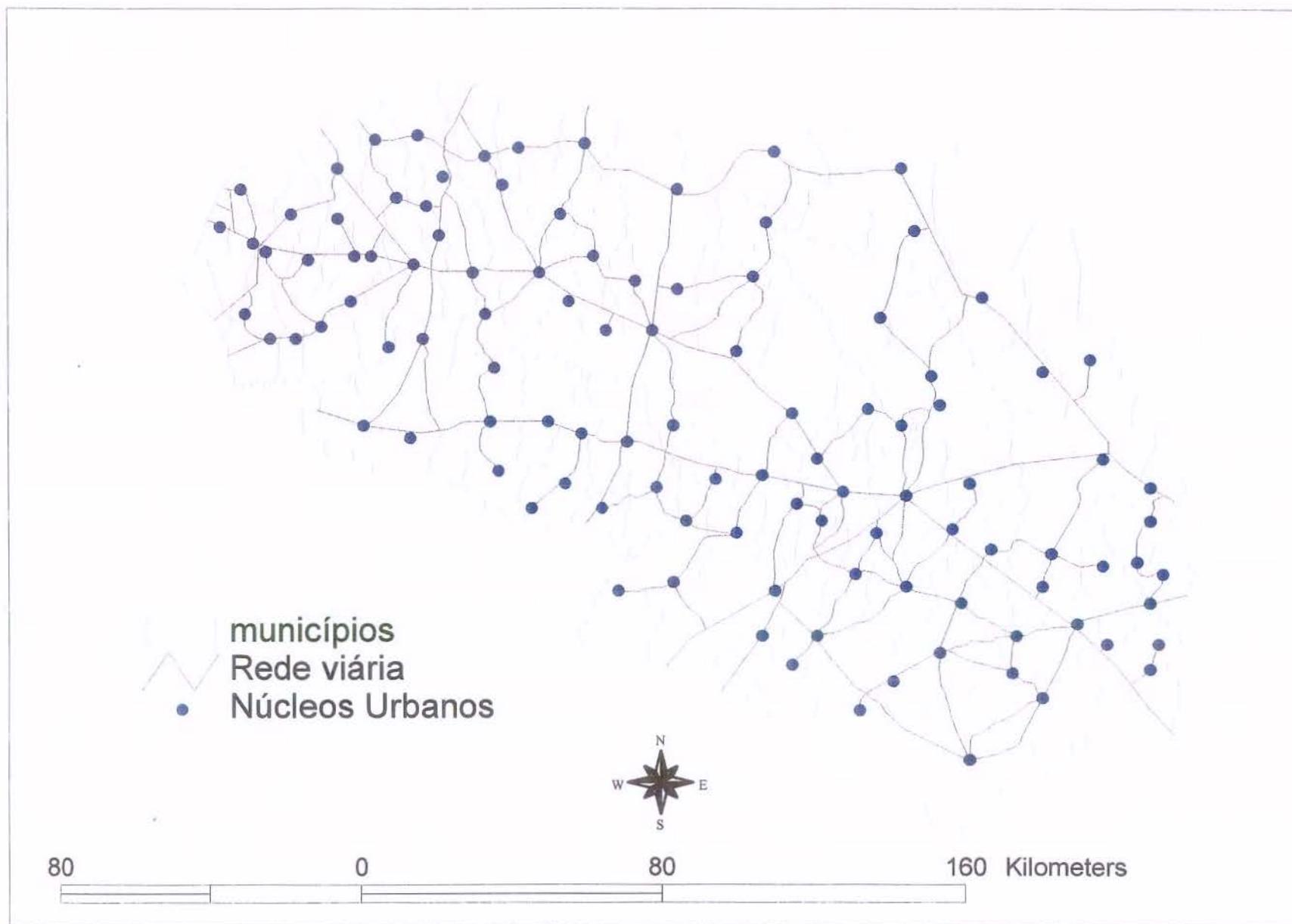


Figura 10.1 - Mapa de localização dos núcleos urbanos em relação à rede viária pavimentada

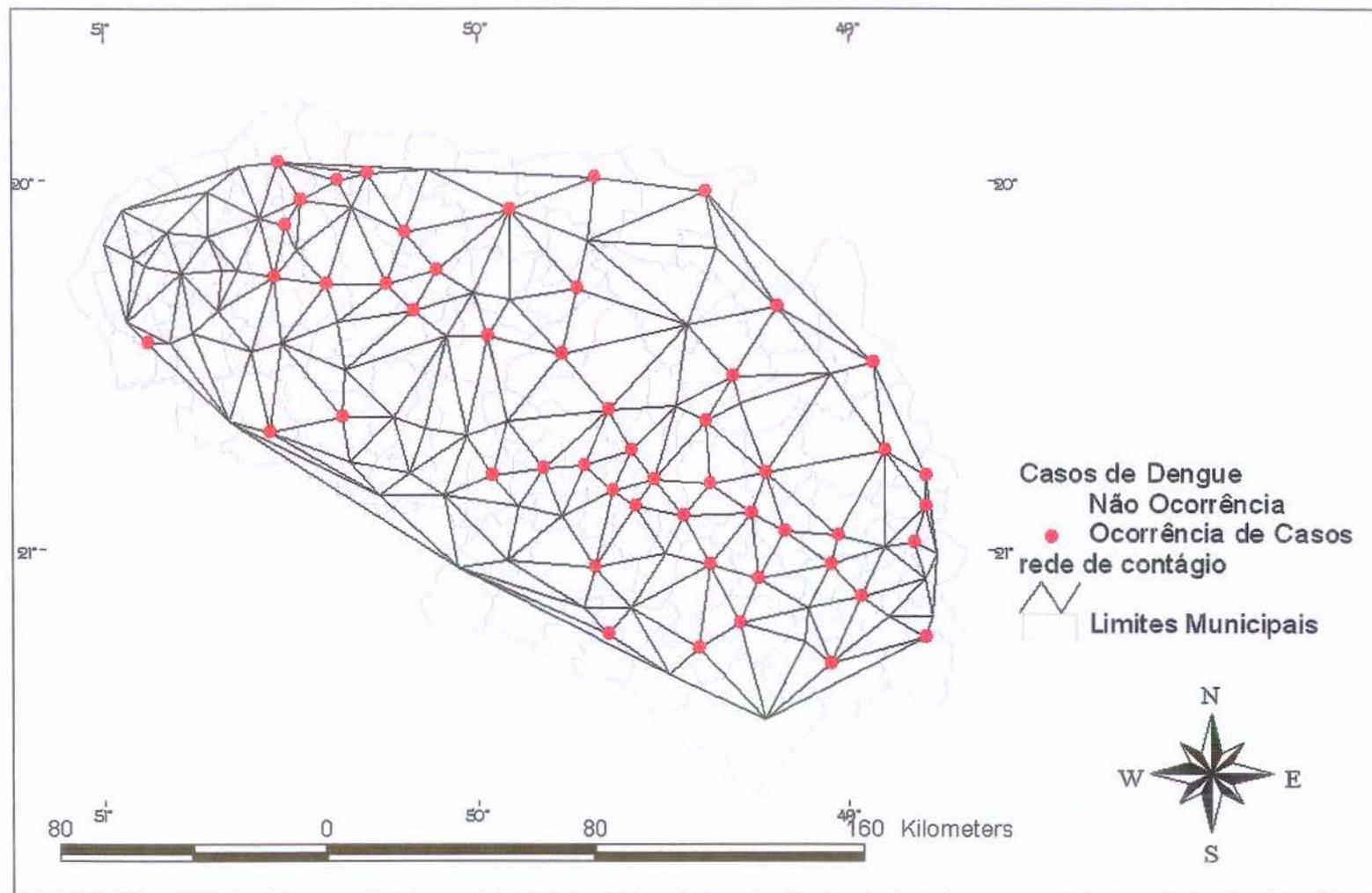


Figura 10.2 – Mapa da rede irregular triangulada (TIN) de contágio potencial entre núcleos urbanos que apresentaram casos de dengue em 2001.

Ao se associar esta estrutura de densidades triangulares à nuvem de pontos representando os núcleos urbanos onde foram notificados de dengue, se percebe que estes surgem em áreas de maior densidade de conexões, ou seja, onde predominam os triângulos menores. Por outro lado, em áreas onde a rede é menos densa – os triângulos apresentam maior superfície, se tem a menor frequência de municípios com casos da doença. Há, portanto, fortes indícios de que o contágio espacial entre os nós da rede seja um fator relevante para se estudar a espacialidade da dengue.

Entretanto, o modelo de rede apresentado no mapa da Figura 10.2 permite que se visualizem os caminhos reais de contágio populacional entre os núcleos - o que pode conseguido de forma complementar, pela leitura do mapa da Figura 10.1. Neste mapa, as distâncias entre os núcleos urbanos manifestam-se analogamente ao terreno por meio de uma estrutura vetorial topológica em linha, a qual define a rede viária.

A primeira investigação a ser conduzida na análise de redes geográficas sob a ótica da geografia médica é o mapeamento da conexão binária entre os nós da rede, isto é, identificar para cada núcleo urbano, quais e quantos são os outros núcleos que estão em contato direto com ele. Caso haja contato direto por via rodoviária, atribui-se à conexão o valor 1, caso contrário, valor 0 (zero). O procedimento mais utilizado para este fim é a construção da matriz de comparação binária, cujos detalhes já foram comentados neste trabalho.

O somatório de todos os valores (0 ou 1) de uma mesma linha (ou coluna) resulta em um índice de extrema importância, denominado *índice de nodalidade*. (Figura 10.3). Este parâmetro quantifica um nó da rede segundo a quantidade de outros nós que estão a ele conectados, em qualquer tipo de rede geográfica - rodoviária, aérea, telecomunicações, ou outra forma de conexão entre lugares. Teoricamente, quanto maior a nodalidade de um núcleo urbano, maior o potencial de contágio deste com outros nós da rede e, por isto, mais suscetível estaria ele a receber ou difundir novos casos de doenças.

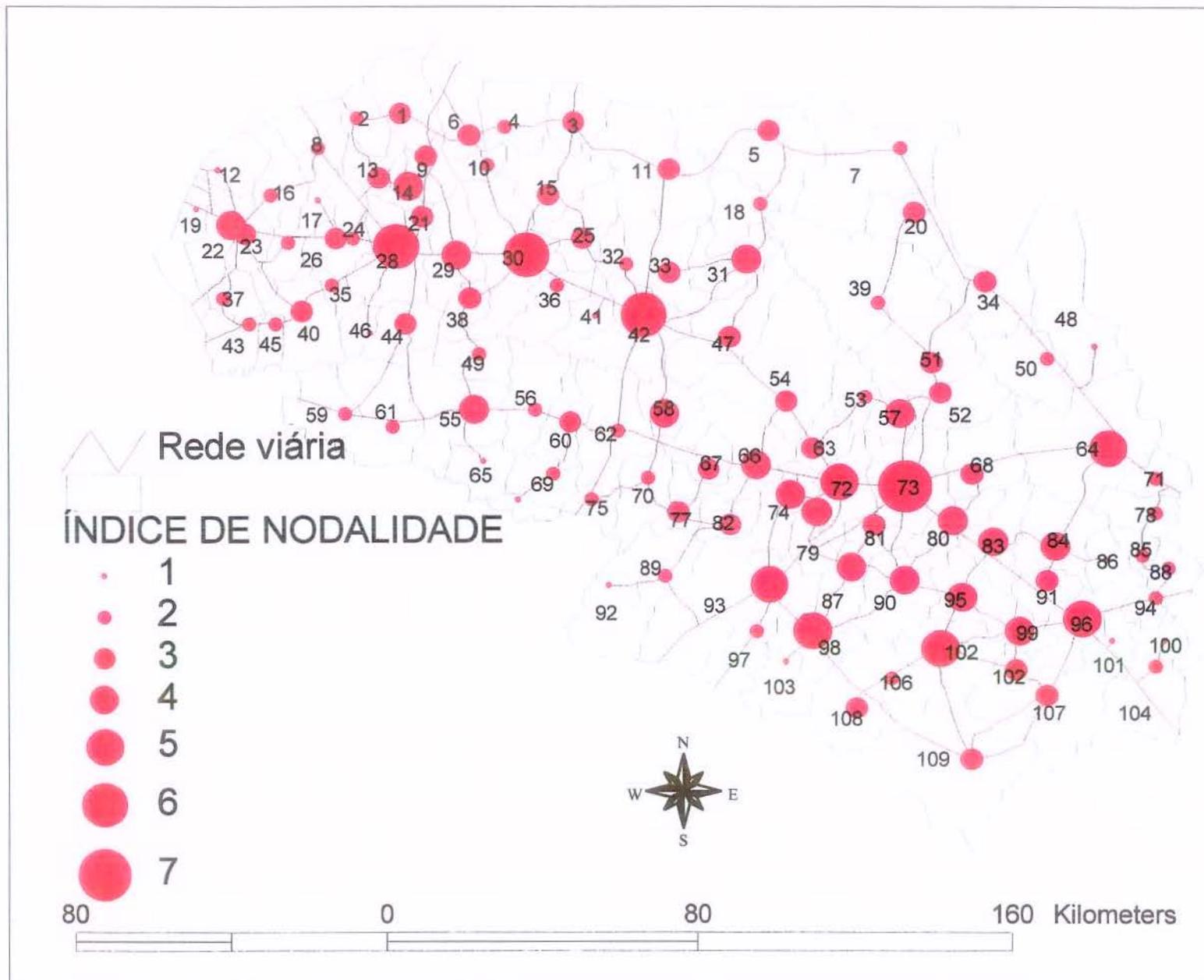


Figura 10.3 - Mapa do índice de nodalidade dos núcleos urbanos

O índice de nodalidade de um núcleo é um referencial para se estimar a intensidade de conexão de uma cidade às demais vizinhas, traduzindo-se em um parâmetro que revela o potencial de interações entre as populações urbanas dentro de uma rede. Este tipo de informação geográfica, além de fornecer elementos para se estudar a regionalização econômica e a difusão de inovações, é, sobretudo, indicador de locais de elevado contágio espacial entre diferentes populações - muitas vezes manifestado por atividades comerciais ou de migração diária para o trabalho.

Na Figura 10.3 destacam-se como núcleos urbanos de alta nodalidade (n), S. José do Rio Preto (73, n=7); Fernandópolis (30, n=6); Votuporanga (42, n=6); Jales (28, n= 6); Mirassol (72, n=5); Olímpia (64, n=5) e José Bonifácio (93, n=5). Estes núcleos urbanos estão conectados diretamente a no mínimo 5 outros situados em sua zona de influência, criando assim, a base de uma estrutura de interação espacial entre lugares, onde se presume haver maior suscetibilidade à dispersão epidêmica.

É fundamental lembrar, entretanto, que embora o índice de nodalidade seja produto de comparações entre lugares vizinhos e/ou contíguos, ele hierarquiza cada núcleo urbano com relação aos demais da rede regional. É igualmente importante em geografia médica se estimar também o comportamento vetorial destas conexões reveladas pela nodalidade urbana.

Questões como “- qual a direção e o sentido preferencial da dispersão?”; ou então, “- qual a magnitude, em termos de intensidade relativa, da dispersão epidêmica em uma determinada direção?”, ou até, “- quais núcleos urbanos têm maior ou menor acessibilidade e dentro da rede? ”; são indagações cujas respostas dependem da ponderação de cada segmentos de ligação entre os nós, em relação a todos os segmentos da rede.

O *índice de potencial de contágio* do nó em relação a toda a rede é calculado também a partir da matriz binária ponderada. Por exemplo, se existe conexão direta por rede viária entre dois nós desta rede, diz-se que seu valor é 1. Mas, qual é a intensidade desta ligação em relação à outras que também são

unitárias? O ponto central que proporciona resposta a esta questão é o peso atribuído à cada conexão binária de valor 1.

A depender dos objetivos do mapeamento e da análise espacial – sejam eles, econômicos, políticos, ou de saúde pública; e também, a depender dos pressupostos metodológicos e filosóficos da abordagem utilizada, existirão diferentes pesos a serem atribuídos às conexões entre nós da rede. Citamos aqui, como exemplo que se aproxima da noção de contágio entre populações infectadas e não infectadas, o peso baseado no modelo potencial.

Seja P_A a população residente na área urbana (nó) A; P_B a população residente na área urbana B, ambos na mesma rede e em contato direto. Seja D_{AB} a distância no terreno entre A e B por rodovia (no caso de se adotar a rede viária como referência para dispersão epidêmica). O índice de potencial de contágio (IPC_{AB}) entre A e B pode ser estimado pela relação:

$$IPC_{AB} = \frac{P_A + P_B}{D_{AB}^2} \quad (10.1)$$

Quanto maior a soma das populações residentes em A e B, e menor a distância entre estas localidades, se espera que mais intenso seja o fluxo neste segmento da rede e, por conseguinte, maior o potencial de contágio entre A e B. O valor de IPC_{AB} é atribuído ao segmento de linha que une estas duas localidades. O mapa da Figura 10.4 apresenta os segmentos de linha entre municípios diretamente conectados pela matriz binária classificados segundo o IPC.

O arranjo das conexões dispostas no mapa da Figura 10.4, composto de segmentos de diferentes magnitudes, sugere uma estrutura similar aos circuitos espaciais. De sudeste a noroeste, na porção central do mapa, detectam-se quatro pólos importantes de alta acessibilidade e contágio espacial, representados respectivamente por São José do Rio Preto (73), Votuporanga (42), Fernandópolis (30) e Jales (28).

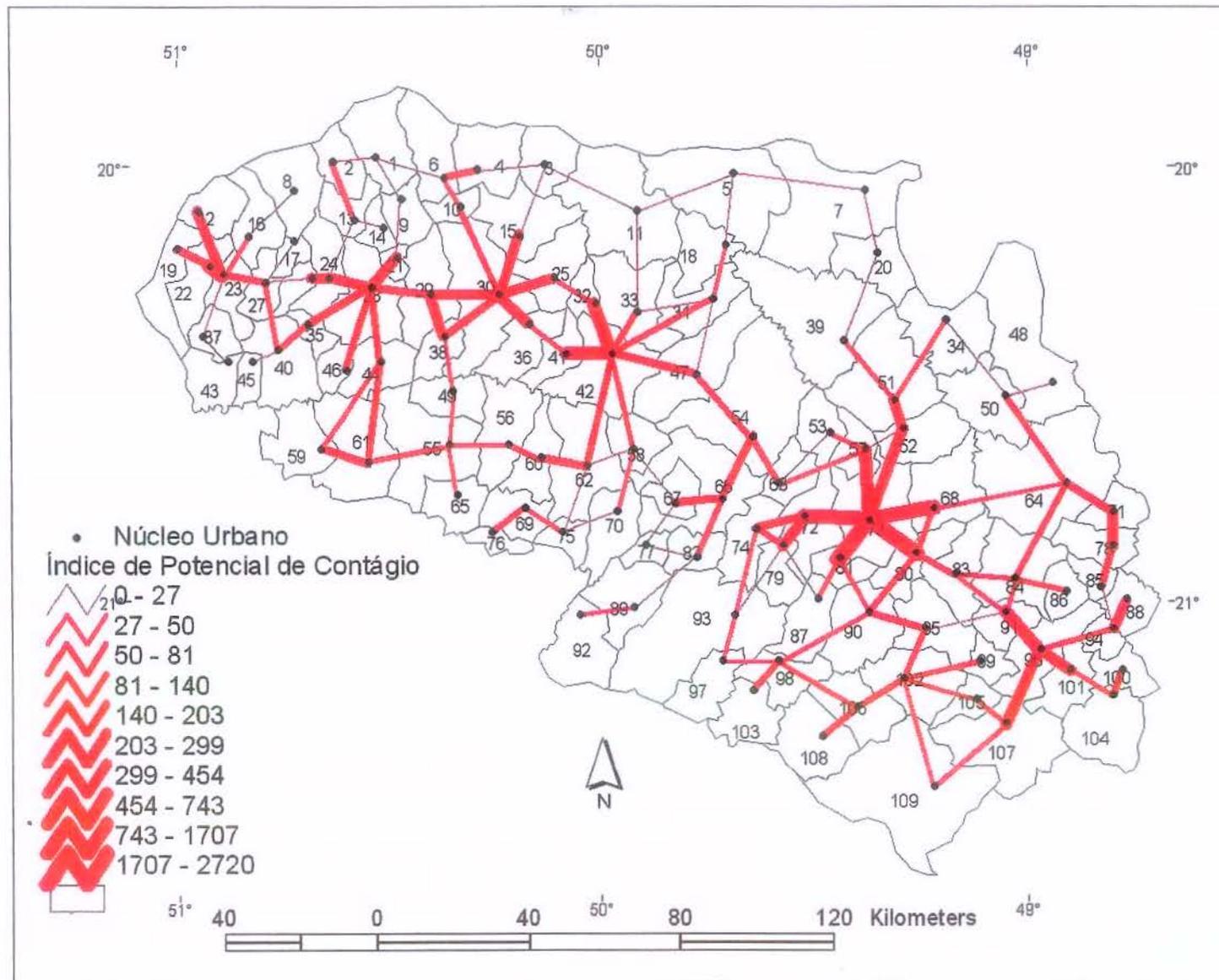


Figura 10.4 – Mapa do índice de potencial de contágio entre núcleos urbanos

O aspecto irradiante que caracteriza as intensidades e as direções dos contágios interurbanos em relação a um determinado núcleo, define também espaços de contatos populacionais que seguem orientações predominantes a depender do município considerado. Para efeito de comparação entre diferentes unidades geográficas, pode-se ajustar os valores do índice de potencial de contágio ao nó da rede.

Como cada nó tem diversos segmentos de reta com diferentes valores, a depender da direção considerada. Atribuindo-se a média ponderada destes valores ao nó, se pode construir um outro mapa onde é visualizado o potencial de contágio ajustado ao núcleo urbano (Figura 10.5).

Esta estratégia de análise cartográfica facilita a interpretação visual do mapa da Figura 10.4, uma vez que, se vê a distribuição do índice potencial de contágio sem a necessidade de se interpretar os valores espacializados em linhas. Além do mais, as nuvens de pontos de diferentes magnitudes conduzem o leitor a inferir sobre densidades e variações horizontais das intensidades pontuais.

Comparando-se os mapas das figuras 10.4 e 10.5, constata-se que existem nós da rede que, por estarem em contato direto com o maior número de outras localidades, possuem alto valor de índice de nodalidade. Todavia, alguns outros que têm baixos valores de IPC, seja por estarem isolados dos demais ou por manterem contato com municípios com pequenos valores de população, e às vezes, por estas duas razões associadas.

Combinando-se os mapas das figuras 10.4 e 10.5, se obtém melhor discriminação entre os núcleos urbanos da rede e principalmente, se pode elaborar um mapa de suscetibilidade ao contágio.

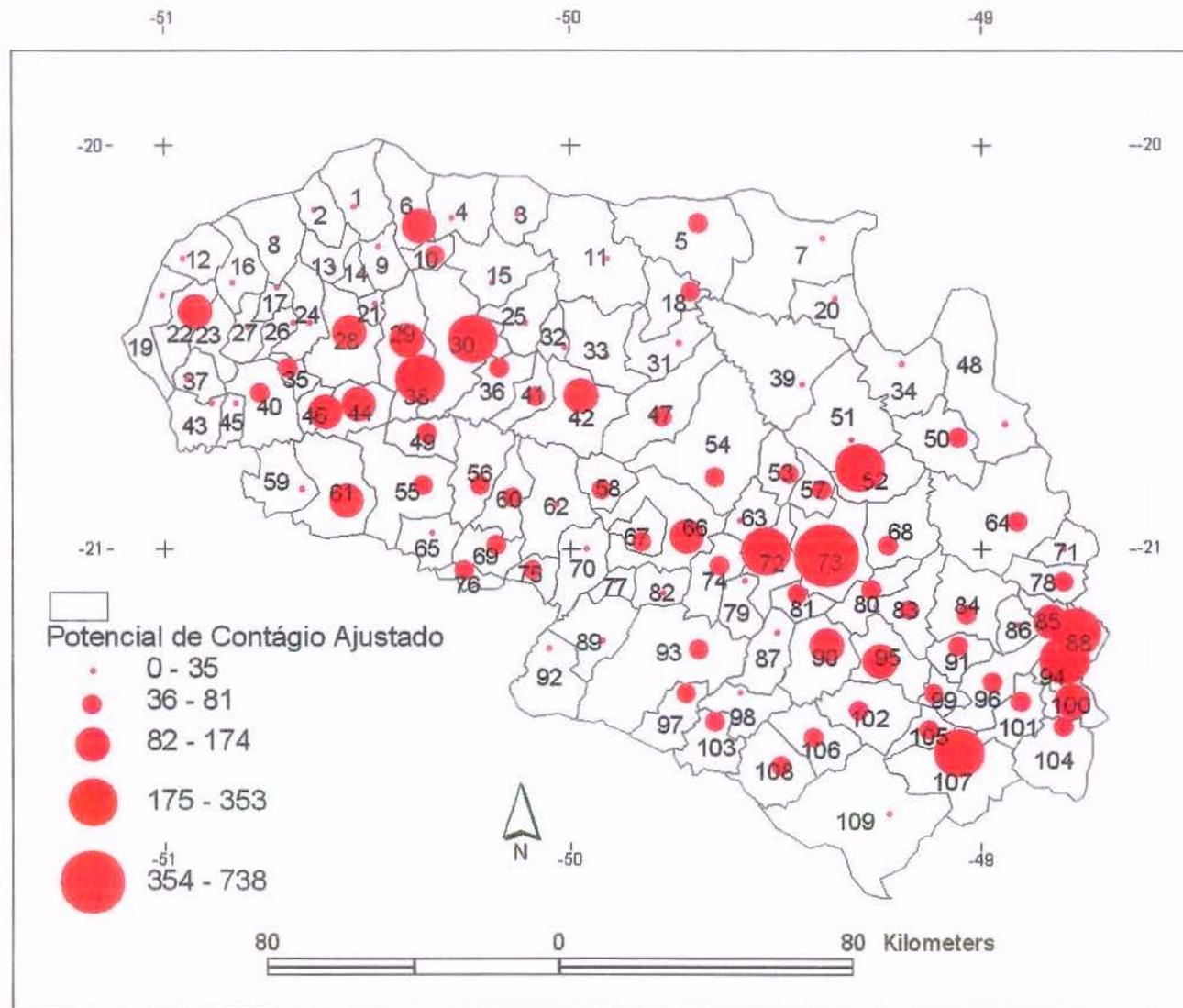


Figura 10.5 – Mapa do índice de potencial de contágio ajustado ao núcleo urbano, com base na soma ponderada dos vetores direcionais do IPC .

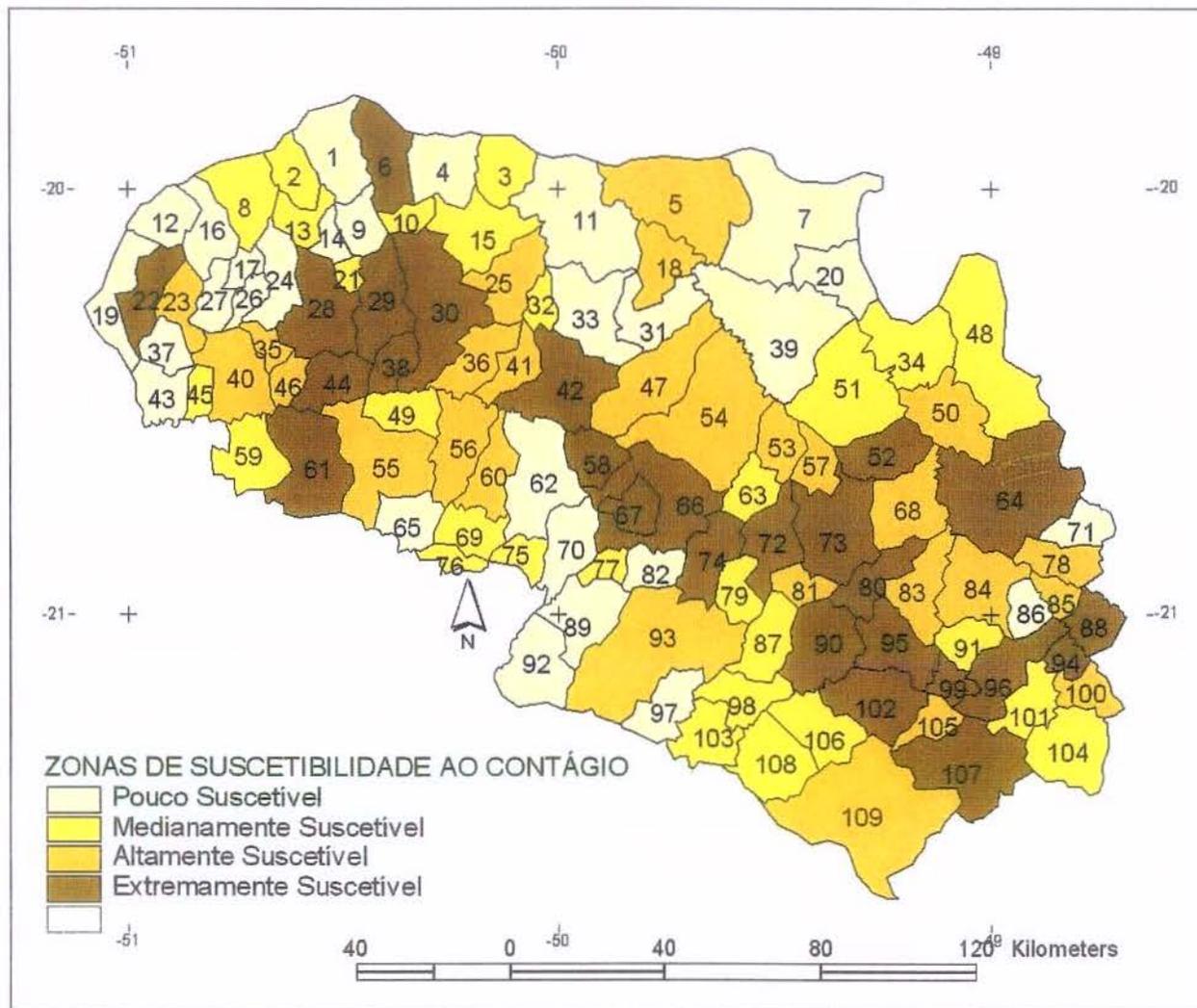


Figura 10.6 – Mapa das zonas de suscetibilidade ao contágio populacional, baseadas na nodalidade e no potencial de contágio ajustado.

A composição destes dois mapas em um único mapa permite ao leitor interpretar a distribuição espacial dos núcleos que, ao mesmo tempo têm alto índice de nodalidade e alto índice de potencial de contágio. Tal mapa composto é construído em implantação zonal e nível de mensuração ordenado, cujo tema é a espacialidade das zonas de suscetibilidade ao contágio, classificada em quatro categorias: pouco suscetível, medianamente suscetível, altamente suscetível e extremamente suscetível (Figura 10.6).

A organização espacial deste mapa composto deixa nítida, visualmente, a existência de autocorrelação espacial entre os lugares, já que, principalmente para categorias "extremamente suscetível" e "altamente suscetível", há uma forte contiguidade espacial - o que reforça e sustenta a proposta de zonalidade sugerida ao mapa.

A etapa seguinte e, talvez a finalizadora de todas as análises espaciais, é o estudo das relações entre alguns dos mapas de indicadores da doença produzidos até este momento da aplicação da metodologia e mapas de indicadores socioeconômicos.

11.

MAPAS DA ESPIDEMIA DE DENGUE BASEADOS EM DISTRIBUIÇÕES DE
PROBABILIDADES

A grande maioria das epidemias têm sido melhor explicadas, por meio de modelos baseados em abordagens estocásticas. O desafio mais importante da geografia médica e por que não, da cartografia médica, é o de classificar inúmeras unidades geográficas segundo a chance de ocorrer um determinado número de casos ou uma taxa de incidência específica de casos em relação ao esperado para população geral.

O mapa de probabilidades é um documento imprescindível para a tomada de decisões quanto às formas de combate ou de prevenção das doenças. A característica mais relevante dos mapas probabilísticos é capacidade de indicar localidades onde é alta ou baixa a incidência de notificações em relação a um valor provável esperado. Conhecidos os locais onde é alta a incidência de casos, pode-se averiguar pistas referentes à etiologia da doença com base em fatores geográficos destes locais.

Questões como – “Por que neste município o número de casos da doença é significativamente mais alto que o esperado para a região ou para o estado?”- são formuladas a partir da interpretação do mapa de probabilidades. A pergunta é válida também na sua forma complementar, isto é, a busca das razões pela quais ocorre baixa incidência em alguns municípios, em relação ao esperado para região. Os modelos estatísticos mais utilizados para a construção de mapas de probabilidade baseiam-se na distribuição de Poisson e na distribuição Normal (Laplace-Gauss).

11.1 - MAPAS BASEADOS NA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

A distribuição de Poisson trata-se de um caso particular de distribuição binomial adequada a eventos independentes entre si, raros e medidos em número infinito de unidades. A unidade de medida é contínua (tempo ou espaço), mas a variável aleatória é discreta, isto é, medida em números inteiros. Por exemplo, contextualizando a definição para o escopo da epidemia de dengue, as unidades de medida seriam as infinitas posições do espaço geográfico como as coordenadas, regiões, pontos ou os objetos correspondentes a polígonos municipais. A variável aleatória é o número de casos de dengue e o evento é o número de casos de dengue ocorrido em um determinado município. O modelo de Poisson baseia-se em três condições prioritárias, sob as quais deve ser aplicado (Cliff & Haggett, 1979, p. 25):

- Que não existam interações entre as unidades geográficas
- Que não exista a possibilidade de agrupamento de casos dentro de uma unidade geográfica
- Que não exista a tendência de unidades geográficas vizinhas apresentarem características similares com relação aos casos

A distribuição de Poisson assume que “cada unidade geográfica é independente das restantes e tem a mesma chance de ocorrência de um caso que as demais unidades (Cliff & Haggett, 1979, p.25)”. Portanto este modelo pode ser testado também para averiguar se a ocorrência dos casos é aleatória e não apresenta correlação espacial ou contágio entre unidades vizinhas. O não preenchimento de alguma das três condições acima estipuladas indica certamente, a existência de dependência locacional e a influência de vizinhança nos casos, que podem ser confirmadas pela localização das altas e baixas incidências e pelos arranjos espaciais apresentados.

O modelo matemático de Poisson permite que se estime a probabilidade de ocorrer um certo número de casos de uma doença em um município em relação à média de casos esperada para a região. Seja então X , o número de casos de dengue, K o número de casos para o qual se quer saber a probabilidade de ocorrência no município A , e λ a média de casos esperada para este município com relação à região, ao estado ou ao país.

A distribuição de probabilidade de Poisson é dada pela relação:

$$P(X=K) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^K}{K!}$$

Onde, $e = 2,7183$ e $K = 0, 1, 2, \dots, n$.

A distribuição de Poisson é um modelo matemático adequado à estimação de eventos cuja ocorrência é rara, isto é, quando X assume valores geralmente baixos. Em geografia médica esta distribuição é muito utilizada para a estimativa da probabilidade de ocorrência de doenças de baixa incidência populacional ou, como na maioria das vezes, para o mapeamento das probabilidades de mortes associadas a determinadas doenças.

Nas doenças em que a taxa de morbidade é muito alta em relação à taxa de mortalidade e a incidência de casos em relação à população total é alta – como é o caso da dengue em na região estudada - o uso da distribuição de Poisson é pouco indicado. Para este tipo de situação em que se tem λ (média) muito alta, a distribuição de Poisson tende a comportar-se como uma distribuição de Normal (Laplace-Gauss). Cliff & Haggett (1979) argumentam que “para $\lambda > 30$, a distribuição de Poisson se aproxima de uma distribuição Normal com a mesma média e variância (p. 29)”. Apenas na situação em que os dados referentes a uma quadrissemana, apresentaram um número pequeno de casos de dengue, é que se deve utilizar o modelo de Poisson. O mapa de probabilidades baseado no modelo de Poisson é construído com base em tabela de números de casos de dengue esperados (λ) e observados (K) por município. Primeiramente se determina o valor

esperado, tomando-se amostrais delimitadas espacialmente de forma multiescalar, isto é, com referência a algumas das diferentes magnitudes espaciais de registro de ocorrências de casos: a regional, a estadual, a nacional ou até a mundial.

Na 2ª quadrissemana da epidemia de dengue ocorrida em 2001 na mesoregião de São José do Rio Preto, foram totalizados 247 casos notificados em uma população de 1.337.580 habitantes, o que resulta em uma média esperada para a mesoregião de 0,000184. O valor de λ para cada município é obtido multiplicando-se o valor 0,000184 pela população residente e o resultado é o número de casos esperado para cada município naquela quadrissemana. A Tabela 11.1 apresenta como exemplo os valores de λ , X e a probabilidade de Poisson (p) para os municípios que durante a 2ª quadrissemana apresentaram ao menos um caso de dengue.

Tabela 11.1 – Valores dos parâmetros X e λ e p da distribuição de Poisson para os municípios que apresentaram ao menos um caso de dengue na 2ª quadrissemana de 2001.⁽¹⁾

Município	População ⁽²⁾	X	λ	p
S. J. do Rio Preto	323.627	142	59,54	1,0000
Paulo de Faria	8.511	30	15,66	0,9995
Tabapuã	10.154	23	1,86	1,0000
Mirassol	43.851	21	8,06	0,9999
Fernandópolis	59.026	11	10,86	0,5959
Olímpia	44.879	8	8,25	0,5576
Votuporanga	69.863	4	12,85	0,0041
Cajobi	9.943	2	1,82	0,7252
Riolândia	7.644	2	1,40	0,8334
Estrela d'Oeste	8.109	1	1,49	0,5611
Cardoso	11.458	1	2,10	0,3796
Catiguá	6.728	1	1,23	0,6518
Jales	43.784	1	8,05	0,0028

⁽¹⁾A lista completa com 109 municípios e os respectivos valores, se encontra no Anexo 3.

⁽²⁾IBGE, 1997.

Os dados da Tabela 11.1 mostram, por exemplo, que os municípios que apresentaram o maior número de casos não são necessariamente, aqueles em que a probabilidade foi igualmente superior. Constata-se que Votuporanga - onde 4 casos ocorreram naquela quadrissemana - apresentou uma probabilidade de 0,0041; enquanto Riolândia, que no mesmo período registrou 2 casos, atingiu um nível de probabilidade de 0,8334. O mesmo é constatado comparando-se Fernandópolis (11 casos, $p=0,5959$) e Catiguá (1 caso, $p=0,6518$), por exemplo.

Há, portanto, uma diferença perceptível entre os números absolutos de ocorrência de casos observados e a probabilidade de ocorrência dada pela distribuição de Poisson. Tal disparidade é explicada pelo valor esperado para o município (λ) - que considera a relação entre a frequência observada e o número médio de casos observados na região com um todo. Nas localidades de S. J. do Rio Preto, Mirassol e Tabapuã, onde o número de casos observados foi suficientemente superior ao esperado, a probabilidade atingiu o máximo ou esteve muito próxima deste valor.

O mapa das probabilidades de Poisson, disponível na Figura 11.1, indica que os agrupamentos de municípios contíguos ("clusters") apresentam organizações espaciais distintas em função dos níveis de probabilidade definidos por este modelo de probabilidades. Ao nível "extremamente alto" de risco de casos de dengue, foram atribuídas localidades que em geral apresentaram baixa contiguidade. Exceto S.J. do Rio Preto (73) e Mirassol (72); Paulo de Faria (7) e Riolândia (5) - que são respectivamente contíguos entre si - os demais municípios classificados nesta categoria manifestam-se espacialmente de forma isolada.

Estes últimos agrupam-se aos anteriores na mesma categoria, em função das características do modelo de Poisson, que prevê um número de casos muito baixo para municípios com pequenos valores de população residente.

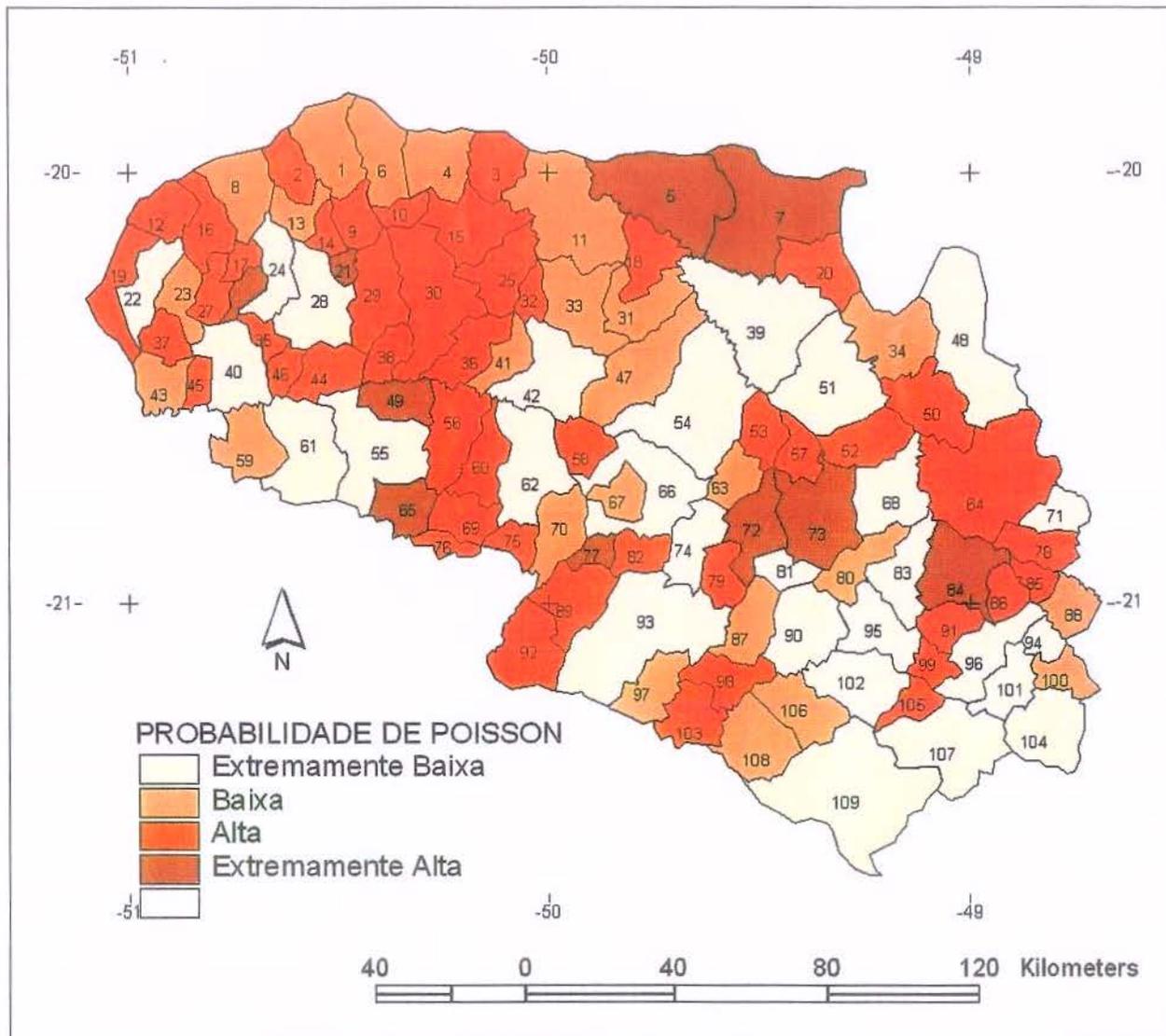


Figura 11.1 – Mapa da probabilidade de ocorrência de casos de dengue por município baseado no modelo de Poisson, para os dados da 2ª quadrissemana de 2001.

Desta forma, aqueles municípios onde a frequência de casos (X) e o valor esperado (λ) são baixos, passam a integrar a mesma categoria das localidades de alto risco.

Já com relação à categoria de alto risco, se observa claramente a formação de "clusters" indicando contágio espacial entre municípios. Presume-se, que a incidência de casos não é apenas resultado de características intrínsecas a cada unidade geográfica, mas fruto também, de uma tendência horizontal manifestada na contiguidade municipal.

Este tipo de situação é rapidamente visualizado no mapa da Figura 11.1, no entorno de Fernandópolis (30), onde 11 municípios estão contíguos espacialmente e para os quais, se espera pelo modelo de Poisson, uma chance entre 50 % e 75% da ocorrência de casos de dengue. Igualmente, destaca-se o comportamento da área envolvente à Olímpia (64), que aglutina espacialmente em contato direto 8 municípios nesta mesma categoria de probabilidades.

Além da manifestação zonal de contiguidade municipal destacada acima, são notáveis também, manifestações lineares de contágio espacial para este mesmo intervalo de probabilidade. Exemplificam-se aí, os alinhamentos formados entre Nipoã (82) e Zacarias (92), de NE-SW; entre Magda (56) e Nova Luzitânia (76), de N-S; de Pontalinda (44) a Sta. Clara d'Oeste (12), de SE-NW; e finalmente, entre Mirassolândia (53) e Altair (50), de E-W.

A não observância de casos de dengue em um município em uma série espacial e temporal de eventos não significa, à luz do modelo de Poisson, que este não tenha alto risco de ocorrência da doença, pois o valor esperado é definido por meio de uma ponderação entre o observado e a média amostral tomada da região com um todo.

Pode-se também mapear as probabilidades de ocorrência de uma doença utilizando-se como parâmetro de referência, escalas cartográficas menores, que incluem um número maior de observações. Este procedimento permite avaliar a relação entre os padrões espaciais da probabilidade local da doença e a média esperada em outras escalas.

Tomando-se como referência o Estado de São Paulo, com população residente de 36.270.632 (2002) e número de casos atingindo 51.668 em 2001, a probabilidade estadual calculada é da ordem de 0,0014. Já para o Brasil, onde 240.000 casos foram notificados em 2001 e a população girava em torno de 173.000.000 habitantes (2002), a probabilidade ao nível nacional é de 0,0013. Com relação ao comportamento mundial da doença é estimada uma probabilidade de 0,0012 (Tabela 11.2).

A Tabela 11.2 apresenta como destaque, os municípios que apresentaram incidência de número de casos de dengue superior às médias regional, estadual, nacional ou mundial, de acordo com valores estimados de K e λ para estas escalas geográficas. Os dados confirmam que a meso-região de São José do Rio Preto tem entre 500% e 600% mais chance de incidência de doença que o esperado para as escalas de registro estadual, nacional e mundial. Tal fato, é justificativa magnânima para se estudar o comportamento das probabilidades ao nível municipal com relação ao esperado em diferentes escalas.

Tabela 11.2 – Valores da média de ocorrência de casos de dengue por 10.000 habitantes na mesoregião de S. J. do Rio Preto, no Estado de São Paulo, no Brasil e no Mundo, em 2001.

Unidade Geográfica	População Total	Casos de Dengue	Média (por 10.000 hab)
		Confirmados	
M. R. de S. J. do Rio Preto	1.337.580 ⁽¹⁾	10.676 ⁽⁴⁾	79
Estado de São Paulo	36.276.632 ⁽²⁾	51.668 ⁽⁴⁾	14
Brasil	173.000.000 ⁽¹⁾	240.000 ⁽⁵⁾	13
Mundo	6.300.000.000 ⁽³⁾	80.000.000 ⁽⁵⁾	12

(1) – IBGE

(2) – Fundação Seade

(3) – www.census.gov/main/popclock.html

(4) – CVE-SP

(5) – www.funasa.gov.br

A Tabela 11.3 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos da distribuição de Poisson para os municípios com incidência mais elevada da mesoregião, comparados aos valores dos parâmetros provenientes de diferentes escalas geográficas da dengue. Dos 109 municípios estudados, 23 (21,1%) têm taxa de incidência superior à esperada para o estado e 25 (22,9%) apresentam taxa superior à esperada mundialmente. Os valores negativos presentes na Tabela 11.3 referem-se a municípios nos quais a incidência de casos foi menor que a esperada para a região ou o estado de São Paulo. Entretanto, estas localidades foram mantidas na tabela por possuírem incidência superior a média esperada para outras escalas geográficas de análise, como a nacional ou a mundial.

A Figura 11.2 disponibiliza a distribuição espacial dos municípios que apresentaram taxa de incidência acima ou abaixo do esperado em relação ao Brasil. Este mapa revela forte concentração locacional de municípios cujos índices são superiores ao esperado para o Brasil, sugerindo inclusive, a existência de autocorrelação espacial.

Os casos agrupam-se em três classes espacialmente bem definidas. A mais extensa, composta por nove municípios, situada na área de influência de S.J. do Rio Preto, é formada por José Bonifácio (93), Jaci (79), Neves Paulista (74), Monte Aprazível (66), Poloni (67), Bady Bassitt (81), Ipiguá (57) e Mirassol (72) e S.J. do Rio Preto. Neste conjunto de unidades a incidência média é de 91,6 casos por 10.000 habitantes.

Outra classe de municípios aparece a noroeste da região, onde a média das incidências é da ordem de 51,1 casos por 10.000 habitantes. Composta 4 municípios - Fernandópolis (30), Macedônia (15), Ouroeste (6) e Populina (1), esta classe indica também uma tendência a autocorrelação espacial da epidemia, mas com extensão menos significativa que a classe mencionada anteriormente.

Município (*)	Casos Observados (A)	Casos Esperados (B)				Proporção entre A e B (%)			
	K	$\lambda_{\text{Região}}$	$\lambda_{\text{S Paulo}}$	λ_{Brasil}	λ_{Mundo}	Região	São Paulo	Brasil	Mundo
Mirassol	1574	346	61	57	53	355	2480	2661	2870
Cajobi	307	78	14	13	12	294	2093	2262	2458
S. J. do Rio Preto	6432	2556	453	421	388	196	1550	1700	1880
Olímpia	772	354	63	58	54	152	1320	1428	1558
Paulo de Faria	198	67	12	11	10	118	1125	1231	1330
Riolândia	87	60	11	10	9	45	691	770	867
Catiguá	69	53	9	9	8	30	667	667	763
Fernandópolis	543	466	83	77	71	17	554	605	665
Populina	32	35	6	6	5	-9	433	433	540
Neves Paulista	58	66	12	11	10	-12	383	427	480
Onda Verde	18	23	4	4	3	-22	350	350	500
Tabapuã	51	80	14	13	12	-30	271	333	333
Jaci	14	25	4	4	4	-36	264	292	325
Bady Bassity	29	64	11	11	10	-44	250	250	250
Monte Aprazível	62	142	25	24	22	-55	164	164	190
Poiloni	26	37	7	6	6	-56	148	158	182
General Salgado	28	83	15	14	12	-66	87	100	133
Ouroeste	13	42	8	7	7	-69	63	86	86
José Bonifácio	51	203	36	33	31	-76	25	67	67
Ipiguá	5	21	4	3	3	-75	42	55	65
Orindiuva	6	28	5	5	4	-79	20	20	50
Macedônia	6	28	5	5	4	-79	20	20	50
Cosmorama	10	57	10	9	9	-82	0	11	11
Guaraci	11	68	12	11	10	-84	-8	0	10

Tabela 11.3 – Valores dos parâmetros da distribuição de Poisson para os municípios com incidência de casos mais significativa da mesoregião de S.J. do Rio Preto e para diferentes escalas geográficas da dengue.

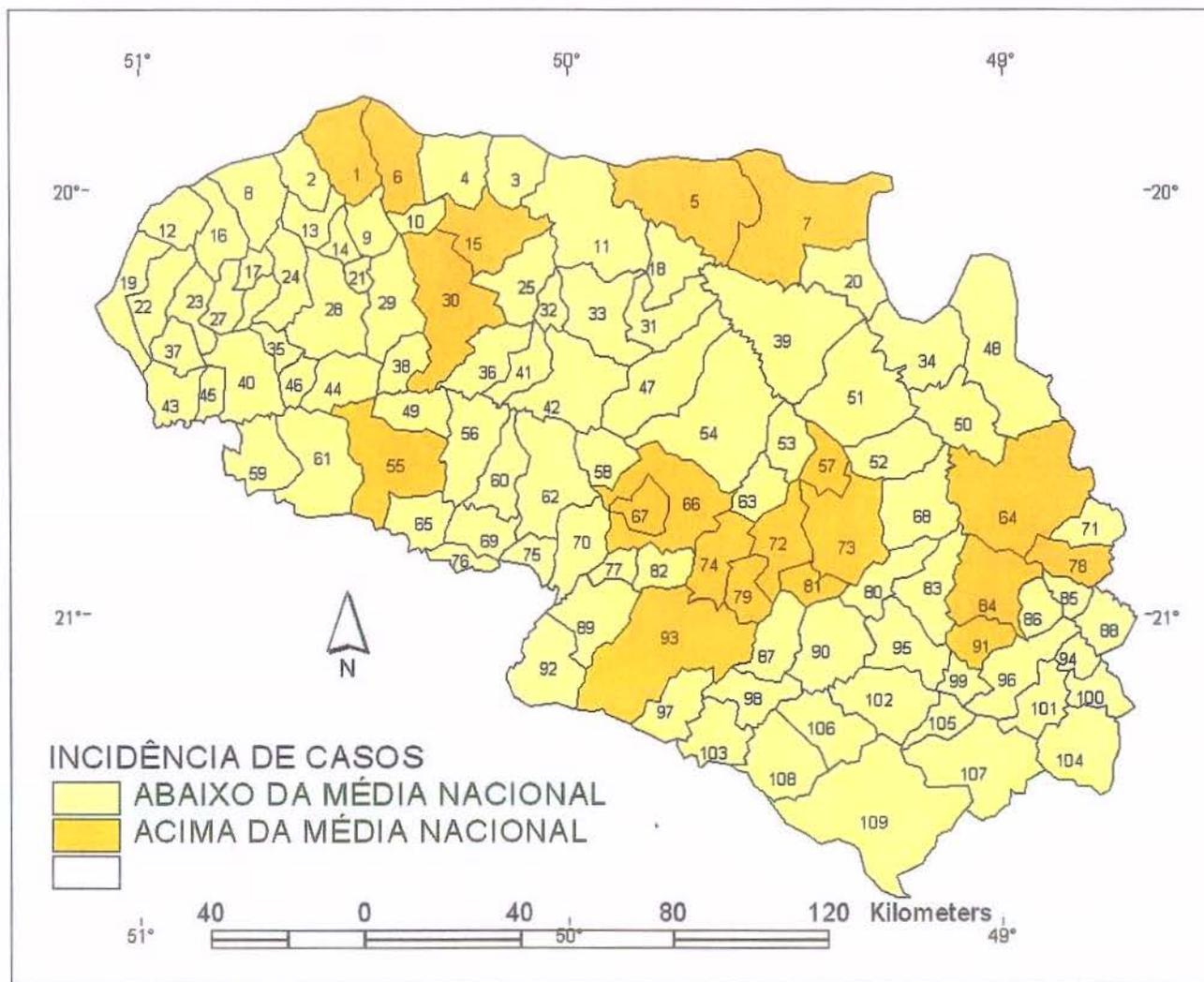


Figura 11.2 – Mapa da incidência relativa de casos de dengue por município, tomando como referência a média esperada para o Brasil..

A terceira classe significativa de municípios, cuja incidência excede à média nacional, é formada por aqueles situados a leste da área, onde estão incluídos Olímpia (64), Cajobi (78), Tabapuã (84) e Catiguá (91). Esta classe mostra também indícios de autocorrelação espacial, com a mais elevada média de incidência entre todos os grupos, ou seja, 158,4 casos por 10.000 habitantes.

A organização espacial destes diferentes agrupamentos espaciais, pela sua morfologia e contiguidade, reforça a tese de contágio espacial para explicar a expansão da epidemia de dengue. Ao mesmo tempo, permite que se formulem hipóteses ecológicas sobre a alta incidência de casos nestes conjuntos de unidades geográficas, que por se associarem em vizinhança contígua, apontam para a noção de região epidêmica.

11.2 – MAPAS DE PROBABILIDADE BASEADOS NA DISTRIBUIÇÃO DE LAPLACE-GAUSS

A distribuição de Laplace-Gauss, também conhecida como distribuição Normal, é utilizada em situações nas quais os valores da série de dados de uma variável tendem a se concentrar em torno de um determinado valor. Ao contrário da distribuição de Poisson, a distribuição Normal é adequada a valores não discretos vinculados a um número infinito de observações. Por meio deste modelo de distribuição se pode determinar a probabilidade da variável assumir valores em um intervalo $[X_1, X_2]$ ou acima de um valor X_i qualquer.

O gráfico desta distribuição geralmente assume o aspecto de um "sino", sendo o eixo das abscissas destinado a registrar os valores de variável e o eixo das ordenadas utilizado para o posicionamento da frequência de ocorrência destes valores. A forma da curva de distribuição normal baseia-se em dois parâmetros: a média (μ), que determina a posição central do pico máximo e o desvio padrão (σ), que informa a dispersão da curva em relação à posição da média.

Para simplificação dos cálculos a distribuição normal pode ser construída na sua forma reduzida, denominada de *distribuição normal padrão*. A curva normal padronizada é definida pela relação:

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{ou} \quad P(X) = \mu + z\sigma \quad (11.2)$$

onde X é o valor da variável aleatória sobre o qual se quer saber a probabilidade de ocorrência e z é um escore por meio do qual se obtém o valor da probabilidade. Tomando como exemplo os dados da epidemia de dengue e substituindo-os na Equação 11.2, tem-se então:

- X – um determinado valor de incidência de casos de dengue em um município: por exemplo, Olímpia: 172,02 casos por 10.000 habitantes;
- μ - média variável X na mesoregião, ou seja, $\mu = 20,46$ casos por 10.000 habitantes;
- σ - desvio padrão amostral para os dados da mesoregião; isto é, $\sigma = 57,00$.

Aplicando-se a Equação 11.2 com os valores exemplificados acima, obtém-se $z = 2,658$. Este valor corresponde à distância de X à média em números de desvio padrão. O nível de probabilidade correspondente (p) é conhecido identificando-se para cada z o valor correspondente de p . O valor de p é encontrado em tabelas referentes à distribuição normal padronizada, as quais estão disponíveis em quaisquer livros básicos sobre probabilidade e estatística, ou ainda, podem ser calculados diretamente meio de inúmeros softwares estatísticos.

No exemplo acima se encontra para $z=2,658$ um valor de $p=0,0030$, ou um nível de probabilidade de 0,3 %. A probabilidade pode ser conhecida pela relação $1 - p$, ou seja, $1 - 0,0030$, ou $P(X) = 0,997$. A Tabela 11.4 traz a relação dos dez municípios com maiores valores de $P(X)$ e p .

Tabela 11.4 – Valores dos parâmetros da distribuição normal para os dados de incidência de casos de dengue em dez municípios mais significativos em termos de valores de p . (*)

Município	Taxa de Incidência ⁽¹⁾	z	p	P
Mirassol	356,89	5,87	0,0001	0,9999
S. J. do Rio Preto	198,25	3,10	0,0001	0,9999
Cajobi	308,76	5,03	0,0001	0,9999
Paulo de Faria	230,29	3,66	0,0001	0,9999
Olímpia	172,02	2,64	0,0041	0,9959
Riolândia	113,81	1,62	0,0548	0,9452
Catiguá	102,56	1,43	0,0763	0,9237
Fernandópolis	91,82	1,24	0,1068	0,8932
Populina	72,06	0,89	0,1846	0,8154
Neves Paulista	68,87	0,84	0,1996	0,8004
$\mu^{(2)}$	20,46			
$\sigma^{(2)}$	57,00			

(*) A lista completa com os dados de todos os municípios encontra-se no Anexo 4.

⁽¹⁾ Em casos por 10.000 habitantes.

⁽²⁾ Referente ao total de 109 municípios da mesoregião.

A principal aplicação do mapeamento de probabilidades de Laplace-Gauss é a espacialização de zonas de com altos valores de P . A Figura 11.3 traz o mapa das probabilidades de Laplace-Gauss mostrando tais zonas no âmbito da incidência de casos de dengue na meso-região de S. J. do Rio Preto.

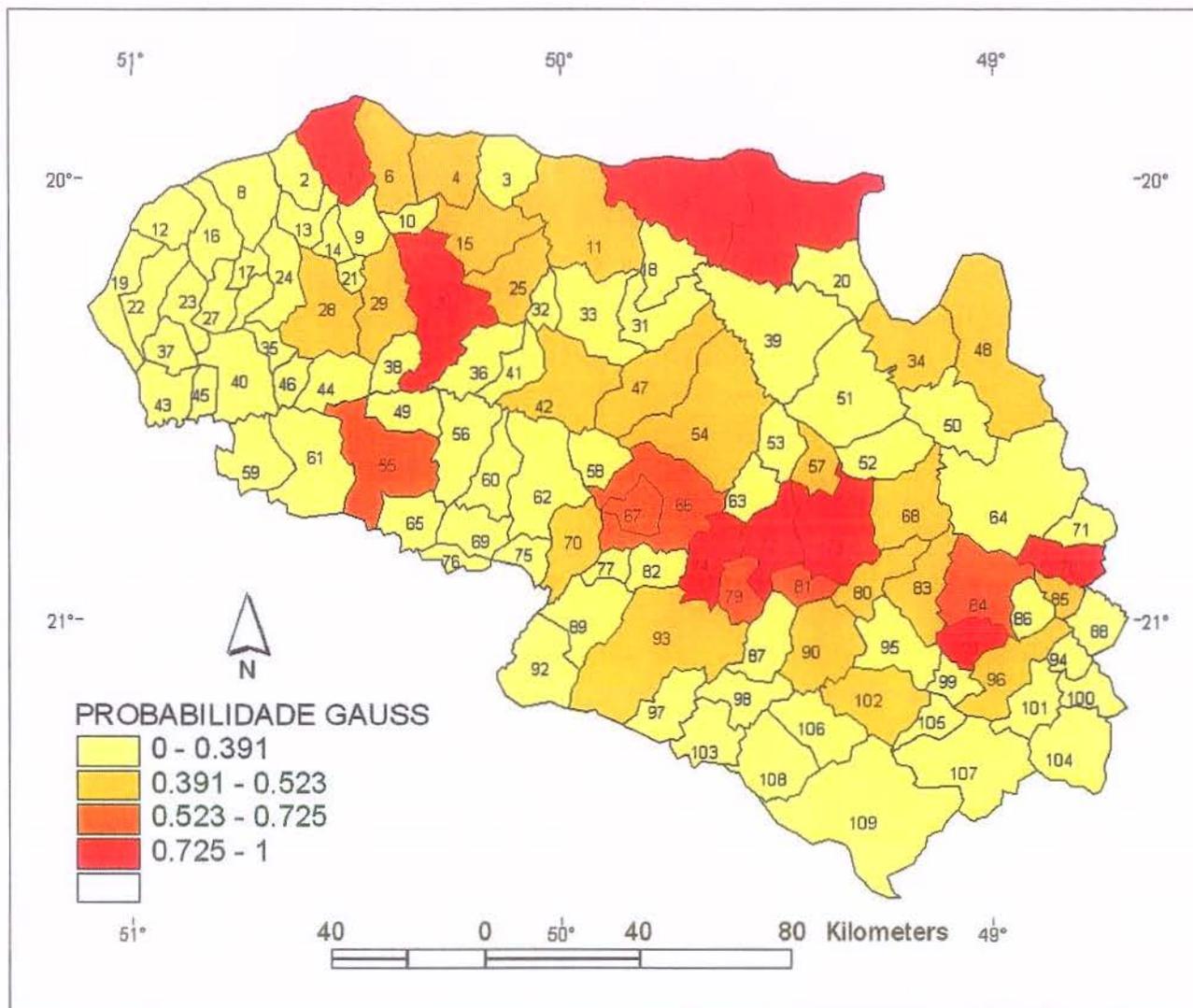


Figura 11.3 – Mapa de probabilidade de incidência de casos de dengue por município, pelo modelo de Laplace-Gauss, baseado em dados de 2001.

O intervalo de probabilidades entre 0,725 e 0,999 mostra um significativo agrupamento de municípios formado por São José do Rio Preto (73), Mirassol (72) e Neves Paulista (74), definido uma importante zona de altas probabilidades de ocorrência de casos e sugerindo, a existência de autocorrelação e contiguidade espacial. Estes municípios citados, os dois primeiros têm alta densidade populacional urbana, além de serem pólos econômicos de atração regional.

À exceção de Paulo de Faria (7) e Riolândia (5), cuja contiguidade já fora destacada pela probabilidade de Poisson, as demais localidades classificadas neste intervalo posicionam-se em forma de ilhas de alta probabilidade, o que pode ser uma pista para se averiguar particularidades locais favoráveis à difusão da epidemia. Tanto Riolândia, como Paulo de Faria e Populina (1), são municípios ribeirinhos situados na área de influência do complexo de reservatórios do Rio Grande, em porções de relevo plano ondulado, onde são freqüentes extensas planícies fluviais.

Digno de se comentar, é o fato dos municípios classificados no intervalo de probabilidade entre 0,523 e 0,725 posicionarem-se em vizinhança contígua a aqueles agrupados nos intervalos mais elevados de probabilidade. Esta característica sugere a existência de "degraus" de vizinhança, reforçando a tese de autocorrelação espacial da epidemia.

Além destas nuances de organização espacial da doença, é notório também o predomínio de arranjos de objetos orientados segundo alinhamentos de municípios contíguos, configurando-se em seqüências linearizadas que parecem ser determinadas mais pelos fluxos populacionais ou por outra forma de interação espacial, que apenas pelas características corológicas destes municípios.

Este fato já foi comentado anteriormente nesta pesquisa, nas etapas de análise espacial e interpretação visual da regionalização da dengue, acentuado a partir da construção dos mapas baseados nos modelos de campos e, reforçado

pela interpretação dos mapas de probabilidades Poisson e de Lambert-Gauss.

12.

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MAPAS DA EPIDEMIA DE DENGUE E OUTROS MAPAS TEMÁTICOS

A análise comparativa entre mapas é um procedimento metodológico adotado para tornar evidente a manifestação de possíveis correspondências ou até correlações, entre mapas de índices epidêmicos e mapas de outros índices, como os socioeconômicos – habitação e urbanização, e os mapas dos índices das redes geográficas de contágio.

Primeiramente organizam-se os índices em dois grupos: os epidemiológicos e os índices socioeconômicos. O Quadro 12.1 sintetiza os índices utilizados na etapa de análise comparativa entre mapas.

Quadro 12.1 – Relação dos mapas de índices epidemiológicos e sócio econômicos utilizados na análise na fase de análise comparativa entre mapas.

MAPAS DE ÍNDICES EPIDEMIOLÓGICOS		MAPAS DE ÍNDICES SÓCIO ECONÔMICOS	
Incidência de Casos por 10.000 hab.	ICA	Renda per Capita	RPC
Velocidade Média de Contágio	VMC	População Urbana	PUB
Probabilidade de Poisson	PPS	Índice de Domicílios Coletivos e Improvisados	NDC
Probabilidade de Lambert_Gauss	PLG	Taxa Geométrica de Crescimento -1990 a 2000	TGC
		Nodalidade e Conectividade entre Núcleos Urbanos	NCN

Os índices socioeconômicos listados no Quadro 12.1 foram escolhidos com o intuito de se exemplificar a metodologia de utilização da análise de múltiplos mapas em geografia médica. Portanto, não tem como objetivo esta escolha estabelecer que sejam estes os únicos possíveis de serem utilizados, mas aqueles mais estreitamente relacionados à ecologia urbana, e por isto adequados para inferir sobre o papel das condições de favorabilidade ao sucesso da epidemia.

Não estão relacionados neste quadro por exemplo, os índices sobre medidas preventivas, medidas educativas, índice larval, e demais índices estatísticos de habitats do mosquito transmissor. Novos parâmetros podem ser adicionados, uma vez que é propósito maior deste trabalho apresentar metodologias para análise espacial de doenças e não, propor, estabelecer ou discutir o alcance de todos os índices em relação à epidemia analisada.

12.1 – MÉTODOS PARA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MAPAS

Os métodos de análise comparativa entre múltiplos mapas podem ser divididos em dois tipos principais: os métodos para *dados nominais* – ou discretos, e os métodos para *dados contínuos* – os não intervalares. O primeiro tipo é aplicado em situações nas quais os dois mapas estão classificados em intervalos nominais. Este método também é útil quando se quer saber a correspondência existente entre dois mapas, sem que se possa utilizar a análise de regressão linear. Casos como a comparação de mapas de zona de abrangência de um determinado equipamento de saúde e mapas de taxa de população de 0 a 5 anos em uma área urbana, exemplificam esta última situação.

Uma das técnicas mais utilizadas para a verificação da existência de dependência entre mapas temáticos é a análise de correspondência areal entre categorias de dois mapas. A partir da sobreposição de dois mapas - dos quais se quer extrair o grau de associação entre categorias definidas em suas legendas, se estima o *coeficiente de correspondência areal* (C_A). Este índice foi proposto por

Minnick (1964, apud Unwin, 1981) e posteriormente introduzido na maioria dos sistemas de informação geográfica. Este coeficiente é obtido pela seguinte relação:

$$C_A = A_{1,2}/A_1 + A_2 \quad (12.1)$$

onde:

$A_{1,2}$ é a área de coincidência espacial entre a categoria 1 de um mapa e a categoria 2 de outro mapa;

A_1 e A_2 são respectivamente as áreas totais das categorias 1 e 2.

O coeficiente C_A assume valores entre 0,0 e 1,0. Se não ocorrer qualquer correspondência areal entre as duas categorias, $C_A = 0,0$ e se ocorrer coincidência areal total entre as mesmas, $C_A = 1,0$. O coeficiente de correspondência areal tem significado similar ao conceito de correlação entre duas variáveis espaciais, mas só que estimado a partir de categorias nominais de dois mapas.

Outro método também extensamente utilizado para se estimar a dependência entre dois mapas é aquele baseado na regressão linear e na correlação. Neste caso, o método é útil para quando os mapas não estão organizados em categorias, mas no seu formato bruto, isto é, nos valores originais de coleta dos dados - seja por unidade geográfica em objetos (município, bairro), ou por pixel de um mapa estruturado em campos contínuos.

O coeficiente de correlação linear simples de Pearson (r) é uma das técnicas que podem ser aplicadas para se averiguar a intensidade de relação linear ou o grau de associação linear entre dois mapas. Este coeficiente é útil para descobrir dependência entre dois mapas e não para interpretar relações de causa e efeito ou assumir que determinado mapa é variável dependente e o outro, variável independente. O valor do coeficiente de correlação situa-se entre 0,0 e 1,0 e revela unicamente o grau de relação estatística, e não indica porque existe a relação (Gerardi & Silva, 1981).

Além do coeficiente de correlação linear de Pearson, deve ser avaliado também conhecido, o *coeficiente de determinação* (r^2). Este indica a porcentagem em relação à variação total dos dados, que é explicada pela regressão. Quanto maior r^2 , menos aleatórias são as variações dos valores de um mapa em relação a outro, isto é, mais um mapa incorpora informações de outro. Os cálculos de r como de r^2 , envolvendo dois mapas, podem ser realizados em diversos sistemas de informação geográfica. Em casos especiais, em se tratando de mapas estruturados em objetos, pode-se calcular r e r^2 diretamente pela tabela de atributos geográficos do mapa, utilizando-se para isto, qualquer software estatístico disponível no mercado.

Além dos métodos numéricos discutidos acima, é possível se comparar dois mapas também pelo método visual. O procedimento mais comum neste caso é trabalhar com diferentes camadas de mapas digitais sobrepostos uns aos outros em sistema de informação geográfica ou em qualquer aplicativo da linha CAD. Deve-se estar atento a problemas de subjetividade na interpretação dos mapas compostos e também, tomar-se cuidado na escolha da simbologia utilizada para comunicação gráfica destes mapas compostos.

O método visual é útil quando se quer, em uma primeira aproximação, identificar situações claras de associação entre categorias de mapas que mereçam posteriormente uma avaliação numérica.

12.1.1 - *Coeficiente de Correspondência Areal*

Suponha-se que, seja levantada a hipótese de que a ocorrência de casos de dengue e a velocidade de contágio por semana epidemiológica estejam relacionadas à taxa geométrica de crescimento populacional do município na última década. Tem-se como base de dados para a verificação desta hipótese, três mapas: o mapa da velocidade de contágio, o mapa de incidência de casos de dengue e o mapa da taxa geométrica de crescimento populacional por município.

Como o coeficiente de correspondência areal ajusta-se perfeitamente a situações em que os mapas representam categorias nominais e não quantitativas, pode-se reclassificá-los de forma a produzir mapas binários, destacando as categorias que possam contribuir para a verificação da hipótese. Desta forma, classifica-se o mapa de incidência de casos nas categorias “nenhum caso” e “ao menos um caso”; o mapa da taxa geométrica de crescimento populacional em “taxa negativa” e “taxa positiva” e o mapa de velocidade média de contágio, em “velocidade negativa” e “velocidade positiva”. Os mapas das figuras 12.1 e 12.2 foram compostos pela associação entre estes mapas, permitindo identificar visualmente as correspondências positivas entre eles.

Nota-se que, os pontos representando tanto a velocidade média de contágio como a ocorrência de casos de dengue, incidem com maior frequência em municípios onde foram constatadas taxas geométricas positivas de crescimento populacional. Os valores correspondentes à associação dos mapas da Figura 12.1 são apresentados na Tabela 12.1.

Tabela 12.1 – Correspondência entre categorias binárias do mapa da taxa geométrica de crescimento populacional (TGC) e o mapa da velocidade média de contágio da dengue (VMC) por quadrissemana, em número de municípios.

	Taxa Negativa	Taxa Positiva	Total
Velocidade Positiva	2	20	22
Velocidade Negativa	30	57	87
Total	32	77	109

As linhas da tabela referem-se às categorias do mapa de VMC e as colunas, às categorias do mapa de TGC.

Dos 22 municípios que apresentaram velocidade média de contágio positiva, 20 ou 90,9%, estão associados a municípios onde foi constatada uma taxa positiva de crescimento populacional, e apenas 9,1 % estão associados a

municípios de taxa negativa. O coeficiente de correspondência areal (C_A) obtido para os dados de taxa positiva de crescimento (Equação 12.1) é de $20/(20+57+2)$, ou $C_A = 0,25$ ou 25 %.

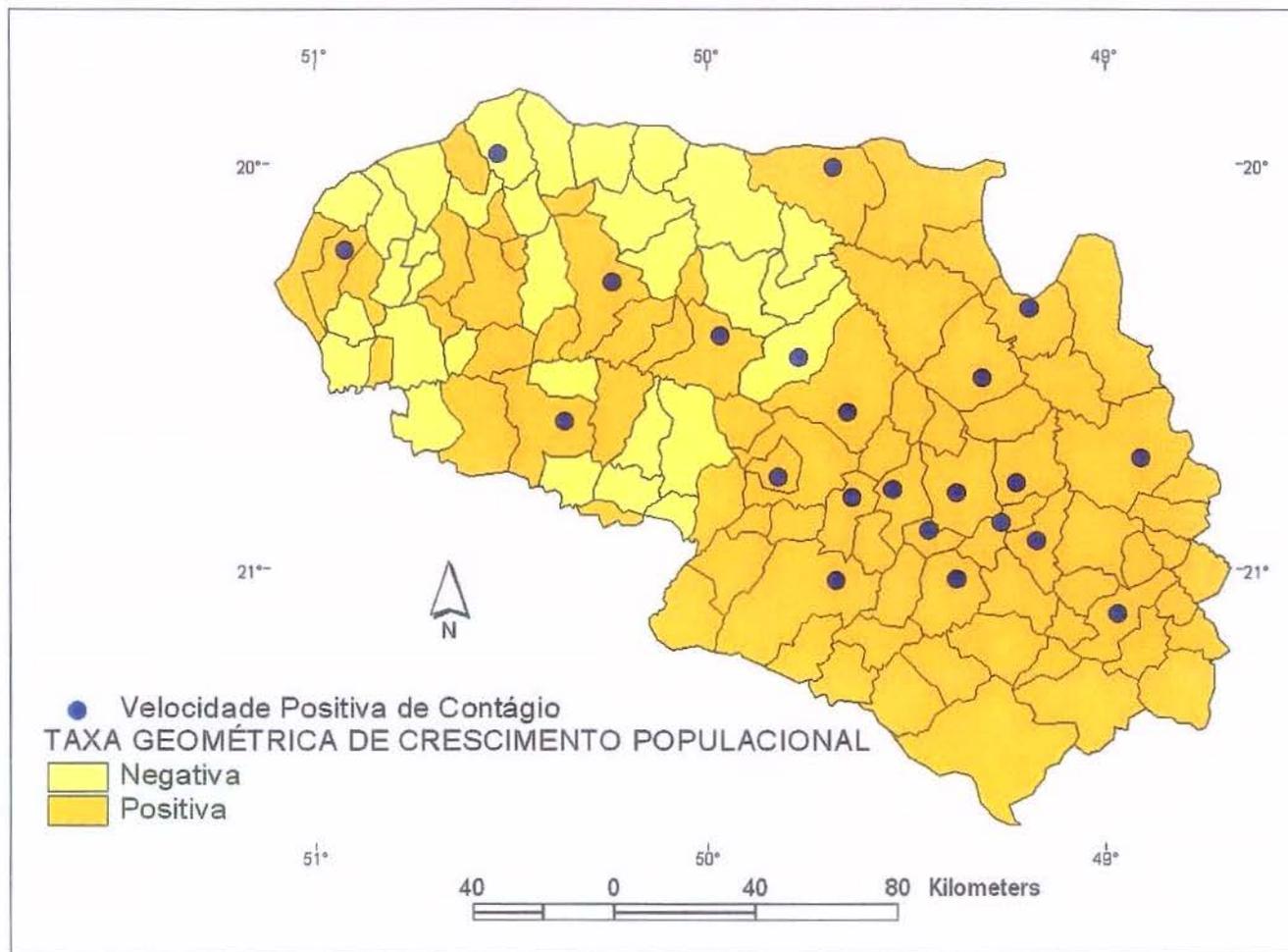


Figura 12.1 – Mapa de associação entre a velocidade positiva de contágio da dengue por município em 2001 e a taxa geométrica de crescimento populacional do município entre 1990 e 2000.

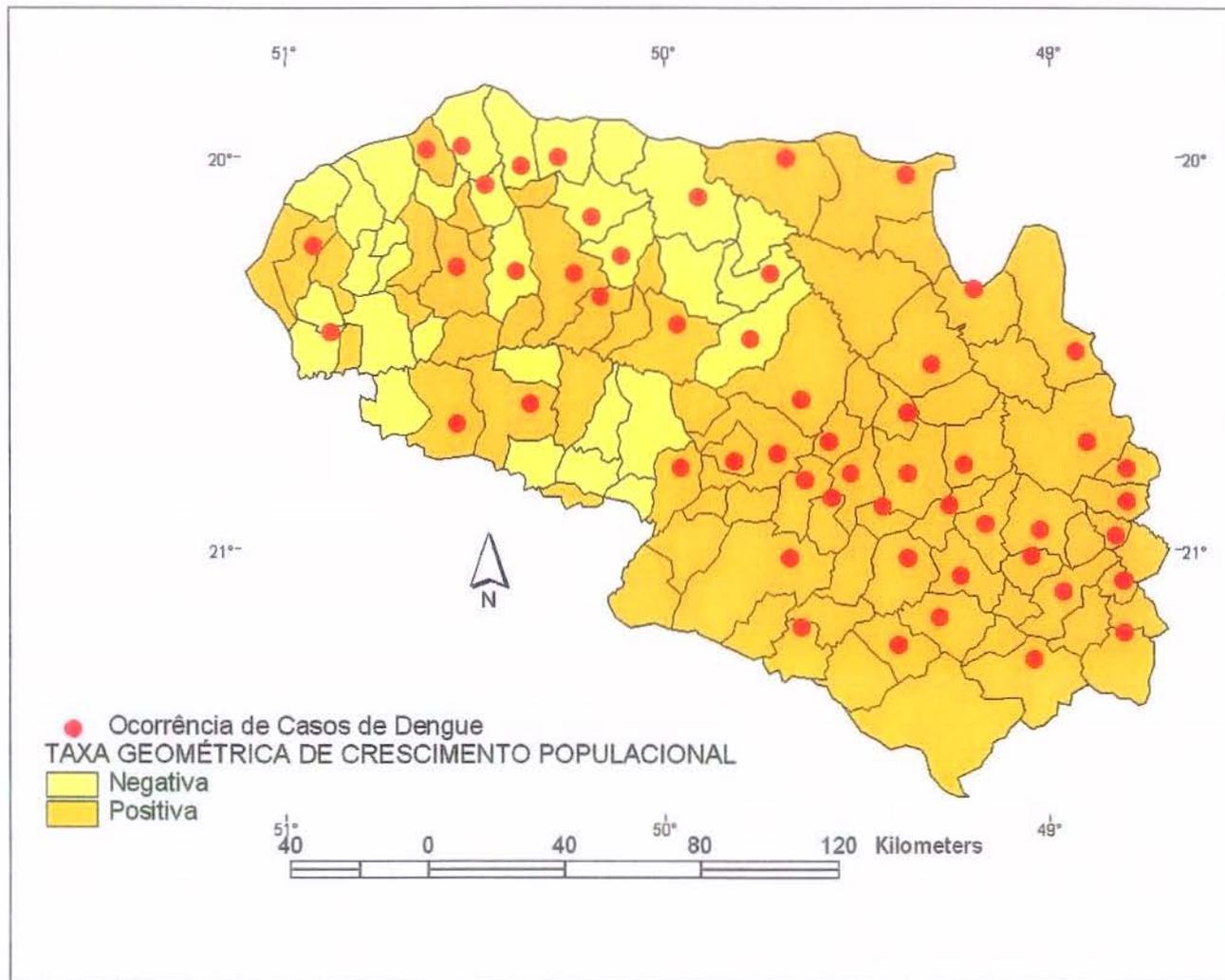


Figura 12.2 – Mapa de associação entre a ocorrência de casos de dengue por município em 2001 e a taxa geométrica de crescimento populacional do município entre 1990 e 2000.

Os valores referentes à associação entre ocorrência de casos de dengue e taxa de crescimento geométrico da população, cujo mapa composto se encontra na Figura 12.2, são apresentados na Tabela 12.2. Nas colunas permanecem as categorias do mapa da TGC e nas linhas as categorias de ocorrência de casos de dengue.

Tabela 12.2 – Matriz de correspondência entre o mapa da taxa da geométrica de crescimento populacional entre 1991 e 2000 (TGC) e o mapa dos municípios com ao menos um caso de dengue notificado¹.

	Taxa Negativa	Taxa Positiva	Total
Ao Menos um Caso	11	43	54
Nenhum Caso	20	35	55
Total	31	78	109

¹em números de municípios

Pela tabela constata-se que, dos 54 municípios que apresentaram casos de dengue, em 43 (79,6%) as taxas geométricas de crescimento foram positivas. Aplicando-se a Equação 12.1, ou seja, $43/(43+20+11)$, obtém-se $C_A = 0,58$ ou 58 %. Este valor de C_A indica uma significativa associação nominal entre as duas categorias, uma vez que, está relacionado ao total dos municípios da região.

Pelo coeficiente C_A pode-se inferir que a ocorrência de casos de dengue seja mais provável em municípios com elevada taxa de crescimento geométrico da população do que nos demais. Tais localidades refletem inclusive os efeitos migratórios intra e inter regionais, que contribuem em parte para o aparecimento de casos alóctones provenientes de áreas de alta infestação.

Também não é exagero lembrar que, municípios com altas taxas de crescimento da população tendem em geral a apresentar rápidas mudanças na paisagem, notadamente nas áreas periféricas urbanas, onde é mais freqüente a substituição de usos do solo que favorecem a infiltração da água de chuva, por outros usos que contribuem para um maior acúmulo desta na superfície.

Estas razões podem explicar ainda a correspondência entre a velocidade média de contágio e a taxa de crescimento populacional. Embora em patamar inferior, com $C_A = 0,25$, mas significativa na escala de 0,0 a 1,0; esta correspondência se explica em parte pela maior densidade populacional das áreas urbanas que assistem maiores taxas de crescimento. Em tese, as maiores densidades de ocupação do solo e de circulação podem representar condições, se não favoráveis, mas pelo menos facilitadoras, de maior rapidez de contágio e maior incidência de casos da doença.

12.1.2 - *Correlação entre Mapas pelo Método de Pearson*

Como foi discutido na seção 12.1.1, quando se quer comparar duas variáveis quantitativas distribuídas espacialmente em mapas temáticos e não em categorias nominais, o uso da correlação é um procedimento eficiente, pois oferece ao analista espacial a opção de conhecer a covariação e a interdependência de mapas.

Tomando-se como referência os grupos de índices epidemiológicos e socioeconômicos dispostos no Quadro 12.1 e representados em formato de mapas temáticos nas figuras 12.3, 12.4 e 12.5, é possível se calcular o coeficiente de correlação de Pearson entre mapas de cada um dos grupos de índices. Entre os objetivos deste tipo de análise espacial, está a busca de respostas a questões espaciais importantes como:

- Qual é relação de dependência entre a incidência de dengue, a velocidade média de contágio quadrissemanal e a probabilidade de ocorrência de casos, e:
 - a qualidade habitacional dos núcleos urbanos
 - a urbanização (população urbana e taxa geométrica de crescimento)
 - a intensidade de atração e conectividade entre núcleos urbanos na rede geográfica, por meio da qual fluem populações e mercadorias
 - a renda per capita médio do cidadão.

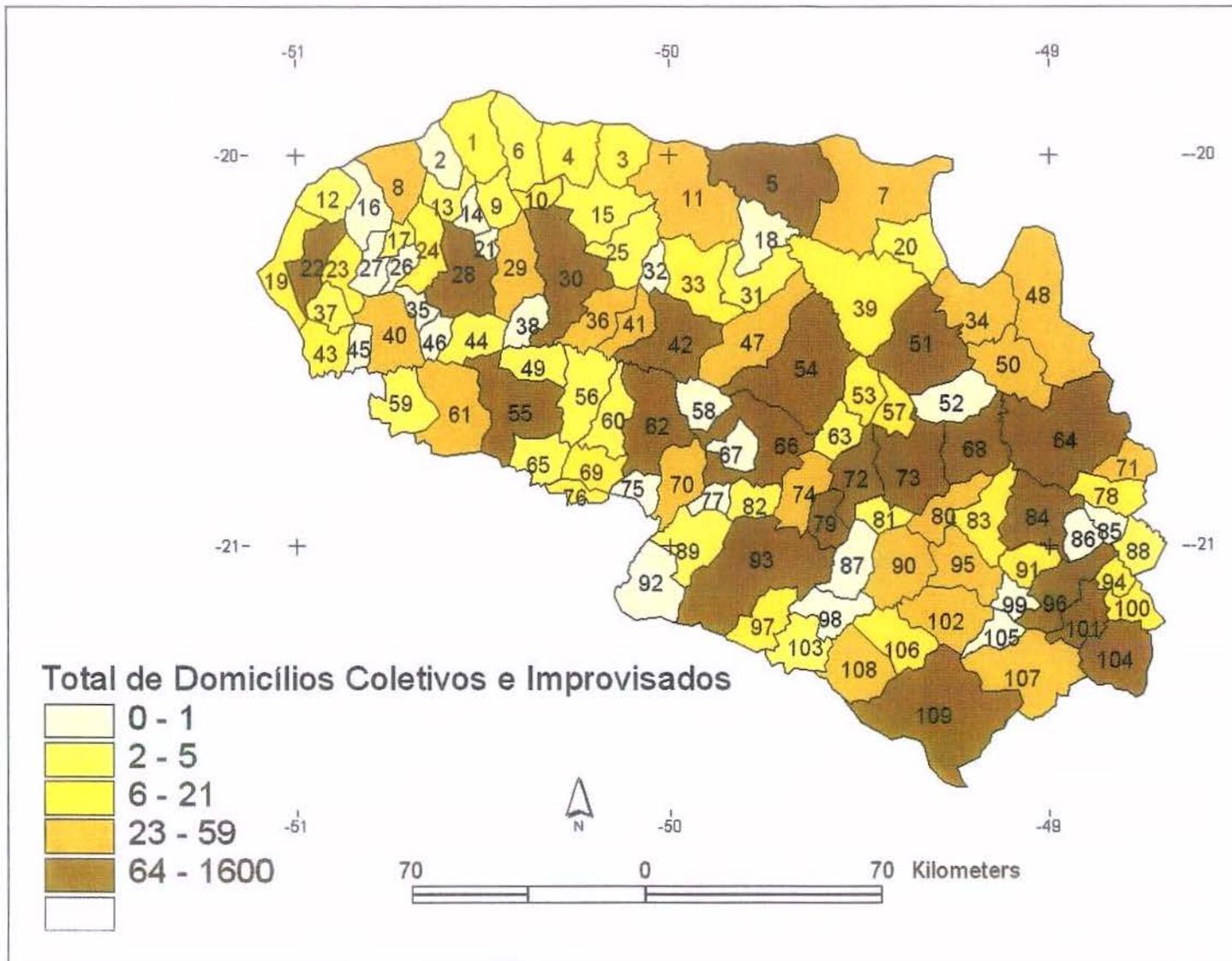


Figura 12.3 – Mapa do número total de domicílios coletivos e improvisados na área urbana do município em 2000. (Fonte dos dados primários: SEADE, 2003).

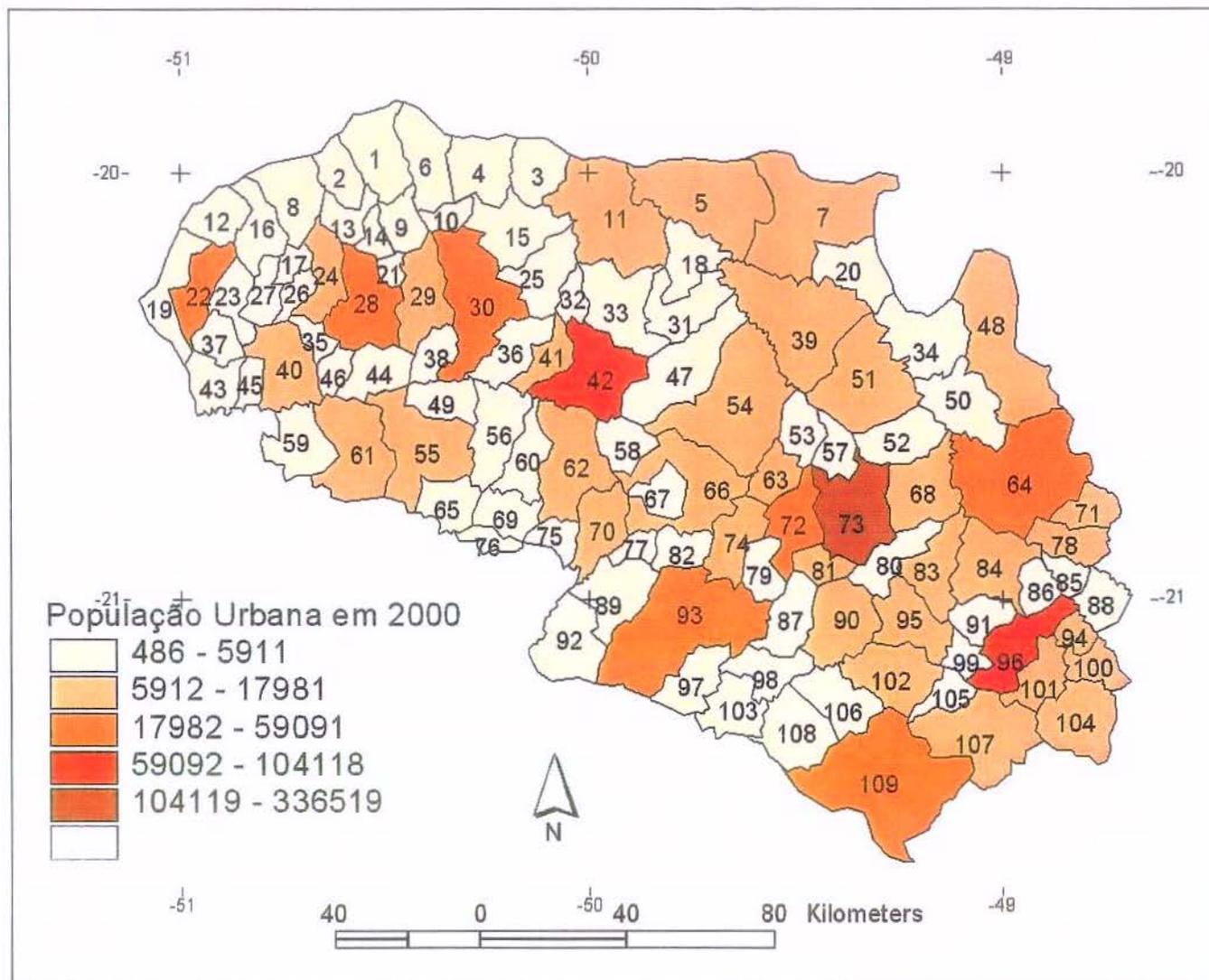


Figura 12.4 – Mapa do total da população residente na área urbana por município, em 2000. (Fonte dos dados primários: SEADE, 2003).

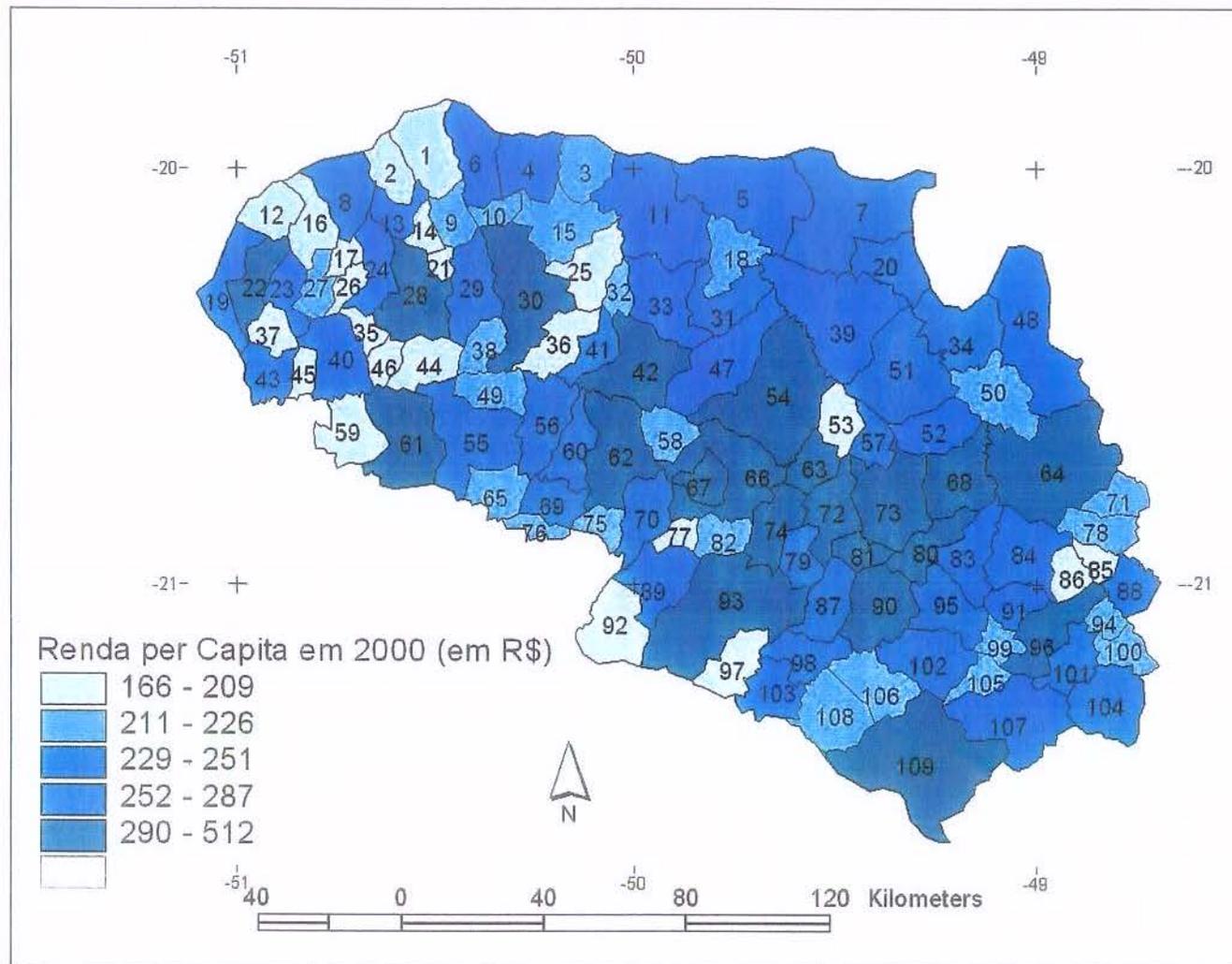


Figura 12.5 – Mapa do rendimento médio mensal per capita por município em 2000. (Fonte dos dados primários: SEADE, 2003)

A Tabela 12.3 traz a sinopse dos valores do coeficiente de regressão de Pearson (r) obtidos pelo confronto das variáveis mapeadas para os 109 municípios da meso região de São José do Rio Preto.

Tabela 12.3 – Valores dos coeficientes de regressão (r) pelo método de Pearson, entre os mapas de índices epidemiológicos da dengue (linhas) e de índices socioeconômicos (colunas)(*).

	População Urbana (PUB)	Taxa Geométrica de Crescimento Populacional (TGC)	Número de Domicílios Coletivos e Improvisados (NDC)	Nodalidade e Conectividade do Núcleo Urbano (NCN)	Renda Per Capita Média (RPC)
Incidência de Casos de Dengue (ICA)	<u>0,3890</u>	0,1300	<u>0,3722</u>	<u>0,3543</u>	<u>0,3397</u>
Velocidade Média de Contágio (VMC)	<u>0,3802</u>	0,2434	<u>0,3351</u>	<u>0,3701</u>	<u>0,4131</u>
Probabilidade de Lambert – Gauss (PGL)	<u>0,3201</u>	0,1189	<u>0,3422</u>	<u>0,3639</u>	0,1989
Probabilidade de Poisson (PPS)	0,1197	-0,1575	0,1523	0,1776	-0,2551

(*) Os valores grifados correspondem a coeficientes altamente significativos ao nível de 0,001 %, para $gl = 107$.

Antes de se interpretar a Tabela 12.3, algumas ponderações devem ser feitas. Em uma primeira leitura, devido aos valores relativamente baixos de r , tem-se impressão de que os mapas não apresentam associação significativa entre si, ou têm baixo grau de relação entre si. Deve-se destacar mais uma vez que não se

trata de uma regressão linear, com a qual se pode prever o valor de uma variável dependente a partir de outra independente, mas de uma avaliação de prováveis associações entre mapas.

Pela Tabela 12.3 se nota que exceto para o mapa PPS, que mostrou associação negativa com os mapas TGC e RPC, todas as demais associações foram positivas, denotando uma dependência diretamente proporcional entre os mapas. A maior correlação constatada foi entre os mapas de velocidade média de contágio e de renda per capita, para cuja associação foi observado um $r=0,4131$. Tal fato se explica pela concentração de maiores salários nas áreas urbanas mais importantes, onde a maior concentração populacional tende a facilitar o contágio pela sua própria densidade.

Também o mapa VMC mostrou associação positiva com a população urbana ($r=0,3802$) e com o mapa NCN ($r=0,3701$), o que reforça o papel da geografia urbana e das conexões entre lugares, no estudo das epidemias. A velocidade de contágio pode sofrer influência da densidade de população urbana e também da intensidade de fluxos atraídos e emanados de algumas cidades situadas em posições importantes das redes geográficas.

A incidência de casos de dengue parece ser explicada melhor, pelos mapas de população urbana e do número de domicílios coletivos e improvisados, respectivamente $r=0,3890$ e $r=0,3722$. Abstrai-se daí que, talvez a maior incidência de casos por 10.000 habitantes esteja associada à densidade de população nas cidades e, à atratividade comercial e de trabalho, exercidas por alguns centros urbanos de elevada nodalidade regional.

O mapa de probabilidades PGL se mostrou mais relacionado ao mapa NDN ($r=0,3639$) do que com os demais, também confirmando a importância do espectro de conexões e interações realizadas por um município e do fluxo de pessoas e serviços, na ocorrência de casos de dengue. O mapa da distribuição de Poisson (PPS) não se mostrou correlacionado significativamente a outros mapas para merecer destaque, como aconteceu com os demais índices epidemiológicos.

Apenas vale lembrar a associação negativa entre o mapa PPS e o mapa da renda per capita ($r=-0.2551$).

Dentre todos os mapas de índices socioeconômicos, o mapa da nodalidade e conectividade do núcleo urbano é o melhor correlacionado aos índices epidemiológicos, apresentando um valor médio de $r=0,3164$, seguido do mapa da população urbana, com r médio de $0,3022$.

Para se tecer as considerações acima, deve-se anteriormente determinar o quão significativo são os valores de r da Tabela 12.3. Para isto é necessário formular a hipótese de nulidade H_0 que afirma :“o coeficiente de correlação observado aconteceu por acaso”. A hipótese alternativa H_1 diz que “o coeficiente de correlação é maior do que se poderia esperar, se acontecesse por acaso” (Gerardi & Silva, 1981)

O teste destas hipóteses é realizado através da distribuição t de Student, com $n-2$ graus de liberdade. No exemplo do universo amostral utilizado para se estudar a epidemia de dengue, ou seja, $n=109$ municípios, tem-se então 107 graus de liberdade ($gl = 107$). O valor de t é obtido pela seguinte relação:

$$t = \frac{r (n - 2)^{1/2}}{(1 - r^2)^{1/2}} \quad (12.2)$$

Tomando-se como exemplo o valor de $r=0,4131$, referente à correlação entre a velocidade média de contágio (VMC) e a renda per capita do município (PPC), encontra-se um valor de $t=5,153$. Consultando-se a tabela de distribuição t de Student, tendo como base este valor calculado de t , para $r=0,4131$ e $gl=107$, constata-se que este valor de r é altamente significativo para um nível de significância de 0,001 %. Como o valor de t calculado (5,153) é muito maior que o tabulado ($t=3,410$) para $gl=107$, então se pode rejeitar a hipótese H_0 ao nível de 0,001 % e aceitar a hipótese H_1 .

O mesmo desempenho apresentou os valores de r grifados na Tabela 12.3. Embora os valores de r desta tabela não sejam elevados, são por outro lado

altamente significativos, pois se baseiam em amostras grandes, com alto grau de liberdade. Portanto, podem ser utilizados, ao menos para se conhecer a interdependência dos citados mapas, contribuindo desta forma para um melhor entendimento dos fatores envolvidos na epidemia de dengue na região exemplificada.

CONCLUSÕES

A finalização de um trabalho de pesquisa é sempre transitória, pois indica também, algo que se pode começar, partindo-se daquilo que se aceitou como fim. Talvez seja esta a situação que se aproxima mais do finalizar deste trabalho. Desde início, esforços foram concentrados e conduzidos no sentido de, na primeira instância do trabalho, reunir-se a fragmentação teórico-metodológica existente na análise espacial e na tecnicidade do sistema de informação geográfica, para lhes dar posteriormente, a visualidade dos mapas – mescla esta a que chamamos de mapemática.

Na segunda instância, a experimentação da mapemática tomou o caminho prático, quando esta foi proposta como procedimento metodológico para a compreensão de uma das facetas mais cruéis da saúde humana – a expressão geográfica da epidemia. Sobre isto, deve-se destacar que a metodologia proposta atingiu plenamente seus objetivos. Vejamos então.

A associação equilibrada entre a linguagem dos números, a aplicação do sistema de informação geográfica e a representação cartográfica, permitiu que se descobrisse a espacialidade da dengue na região utilizada como teste metodológico. A linguagem dos números foi adotada nos momentos e na intensidade necessários, sem os exageros do vício formalista das quantificações e sem a postura reticente daqueles que, em cartografia, desejam para as quantidades, distância máxima. Talvez esta postura venha contribuir para um interesse mais amplo dos geógrafos pelas questões de saúde pública, pelo menos pelo seu viés de mapa.

Importante também nos parece ser o fato da metodologia proposta usar SIG sem necessariamente a ele fazer apologias e exageros de eficiência, custo-benefício, rapidez e quaisquer outros predicados de mercadologia. Não nos pareceu em nenhum momento isto uma obrigação: a teoria de análise espacial pré-existe ao SIG, e é razão máxima para a existência deste tipo de sistema.

A metodologia proposta permitiu a visualização dos focos regionais da dengue a partir de uma sucessão de mapas digitais, mostrando a evolução da epidemia no espaço e no tempo. O sequenciamento cartográfico revelou a contigüidade espacial na concentração de casos, associada a um alinhamento de cidades, que vão apresentando mais ocorrências no decorrer do tempo.

Como o homem é um dos vetores da dengue, a circulação de pessoas torna-se fator importante para a propagação da epidemia. Esta mobilidade de pessoas, por sua vez, é governada pela economia regional, em que alguns municípios atuam como pólo aglutinadores devido à concentração de serviços. A migração diária da população que chega a esses pólos para trabalho, o comércio e outras atividades, volta posteriormente às suas cidades de origem contribuindo para a difusão espacial da dengue.

Na análise multitemporal em quadrissemanas, os mapas permitiram visualizar a expansão geográfica da epidemia e identificar o momento em que ela atinge o máximo, havendo depois uma reclusão aos pólos de origem, definindo assim, zonas maior suscetibilidade ao contágio. De uma quadrissemana para outra, os municípios com casos novos de dengue aparecem com maior freqüência contíguos a municípios com casos antigos, cuja organização espacial sugere a predominância de alinhamentos regionais. Outros pesquisadores já confirmaram que os veículos também servem como vetores mecânicos, transportando mosquitos ou seus ovos. Constatou-se que os maiores índices da epidemia ocorreram em localidades com maior nodalidade, onde é maior também, a convergência e a circulação de serviços e pessoas.

Na meso-região de São José do Rio Preto, em 2001, a epidemia de dengue concentrou-se mais nas cidades grandes e médias, na sua maioria com população acima de 60 mil habitantes, e que possuem características geográficas favoráveis do ponto de vista econômico. Estas cidades, devido ao grau de acessibilidade, exercem maior atração por espaços, aumentando o número de domicílios improvisados e coletivos. O crescimento demográfico, a taxa de ocupação do solo e mudanças no uso do solo resultantes da expansão urbana, fazem com que esses

nós tenham força para expandir a epidemia a municípios próximos, situados em posição de alta acessibilidade por conexão rodoviária.

O modelo de difusão de epidemias de dengue, aqui sugerido, oferece informações importantes não apenas às autoridades sanitárias - já atentas ao problema, por meio medidas preventivas e educativas - mas também para consórcios intermunicipais que, a fim de conter a propagação da doença, poderiam orientar-se pelo alinhamento preferencial de cidades demonstrado na pesquisa. Neste sentido, o invés de realizar o combate numa região determinada, ele seria direcionado a municípios situados em posições estratégicas da rede de transportes, associadas a roteiros futuros da dengue.

A modelagem cartográfica da epidemia de dengue mostrou também que, o fato de um município fazer fronteira com outro, não significa que haverá entre eles maior difusão espacial da epidemia. É necessário também, haver conexão eficiente entre as populações, resultante da fluidez da rede de transporte. Quanto maior população envolvida na conexão, menor a distância rodoviária entre duas cidades e menor a impedância à circulação de pessoas e serviços entre elas, maior será a suscetibilidade ao contágio.

Desta forma, é parcial o senso comum, de que a dengue é uma doença associada a climas quentes e úmidos. A dengue já é aceita por pesquisadores de saúde coletiva e ciências sociais, como uma doença social, assim como, a maioria das chamadas epidemias tropicais. Numa região que não apresenta grandes alterações climáticas de uma cidade para outra, a chance de contrair a dengue deveria ser idêntica. Porém, não é isto que os mapas comprovaram. Há a formação de grupos de municípios contíguos, preferencialmente alinhados segundo fluxos regionais de pessoas, mercadorias e serviços, onde a incidência de casos é alta, e também, de grupos de municípios situados fora dos principais eixos, onde não existem casos de dengue.

O método das redes geográficas, utilizado nesta pesquisa, é inovador em análise espacial aplicada à saúde pública. Pelos resultados obtidos, conclui-se que o uso deste método deva ser uma estratégia importante em pesquisas

epidemiológicas e geografia médica, pois é adequado ao estudo da difusão espacial de epidemias e ao mapeamento da suscetibilidade ao contágio populacional interurbano.

Espera-se que o procedimento metodológico aqui apresentado possa contribuir para políticas públicas de saúde coletiva e para programas de combate ao mosquito da dengue, inserindo o mapa temático, como um dos documentos de gestão social do território.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADESINA, H.O. - A statistical analysis of the distribution characteristics of cholera within Ibadan City, Nigeria. **Social Science and Medicine**. 15D:121-132, 1981.
- ALMEIDA FILHO, N. & ROUQUAYROL, M.Z. - **Introdução à epidemiologia moderna**. Rio de Janeiro, ABRASCO, 1990.
- ANGULO, J.; HAGGET, P. & PEDERNEIRAS, C.A. - Variola minor in Bragança Paulista county, 1956: a trend surface analysis. **American Journal of Epidemiology**, 105(3):273-280, 1977.
- ANTENUCCI, J.C; BROWN, K. & CROSWELL, P.L. - **Geographical information systems: a guide to the technology**. Chapman & Hall, New York, 301p.,1991.
- ARAÚJO, F.M.C; VILAR, D.C.L.; RAMALHO, I.L.C; VIEIRA, L.C & MELLO, L.P. - Dengue activity in the state of Ceara, 1994-1996. **Dengue-Rio**, Summaries, p.56, 1996.
- ARONOFF, L. - **What is special about data? Alternative perspectives on spatial data analysis**. NCGIA Technical Paper 89-4. NCGIA, S. Barbara, 20pp. 1989.
- ARONSON, P. Attribute handling for geographic information systems. **Proceedings of AutoCarto 8**, Baltimore, Maryland, pp. 346-355., 1987.
- BAILEY, T.C. & GATRELL, A .C. - **Interactive spatial data analysis**. Essex, Longman, 1995.
- BECK, L.R; WOOD, B. & DISTER, S. - Remote sensing and GIS: new tools for mapping human health. **Geo Info Systems** 5(9):32-37, 1995.
- BERRY, B.J & MARBLE, D.F - **Spatial analysis: a reader in statistical geography**. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 290 p., 1968.

BERRY, B.J. – Approaches to regional analysis: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, 54:2-11, 1964.

BERRY, J.K. – **Beyond mapping: concepts, algorithms and issues in GIS**. Fort Collins, GIS World, 1993, 246p.

BERRY, J.K. - Computer assisted map analysis: potential and pitfalls. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 53(10):1405-1410, 1987.

BERRY, J.K. - Fundamental operating in computer assisted map analysis. **International Journal of Geographical Information Systems**, 1:110-136.

BERRY, J.K. a. – Classifying the analytical capabilities of GIS. **GIS World**, march 1996, p.34.

BERRY, J.K b. – The unique character of spatial analysis. **GIS World**, april 1996, pp.29-30.

BERTIN, J. – **Semiologie graphique**. Monton-Gauthiers-Vilars, Paris-La-Haye, 2^a ed.,(1973)

BONCZEK, R.H.; HOLSAPPLE, C.W. & WHINSTON, A.B. - Development in decision support systems. In: **Advances in Computers**, vol. 23, London, Academic Press, 1984.

BONHAM-CARTER, G.F. - **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Pergamon, Ontario, 398p., 1994.

BONIN,S. & BONIN, M. **La graphique dans la presse**. C.F.P.J, Paris, 175p. (1989).

BRACKEN, I. & WEBSTER, C. - Towards a typology of geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, 3(2):137-152, 1989.

BROWN, L.A & MOORE, E.G - Diffusion research in geography: a perspective. In: C. Board et al. (ed.) **Progress in Geography**. London, Edward Arnold, pp. 119-157, 1969.

BUNGE, W. – **Theoretical geography**. Lund, 1^a ed., 1966, 209 p.

BURROUGH, P.A. - Are GIS data structures too simple minded? **Computers and Geosciences**, 18(4):395-400, 1992.

BURROUGH, P.A. - **Principles of geographic information systems for land resources assessment**. Claredon Press, Oxford, 1986.

BURROUGH, P.A. & FRANK, A.U. - Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information system truly generic? **International Journal of Geographical Information Systems**, 9(2):101-116, 1995.

CHATFIELD, C. – **The analysis of time series: an introduction**. London, Chapman & Hall, 2^a ed. 285p., 1980.

CHRISMAN, N.R. – Concepts of space as a guide to cartographic data structures. In: **Harvard Advanced Study Symposium on Topological Data Structures**, Cambridge, Massachusetts, p. 189 – 211, 1977.

CLARKE, K.C.; McLAFFERTY, S.L. & TEMPALSKI, B.J. – On epidemiology and geographic information systems: a review and discussion of future directions. **Emerging Infectious Disease**, 2 (2), 1996: disponível em www.cdc.gov/incidod/EID/vol2n2/downclar.thm

CLIFF, A. D. & HAGGET, P. – **Atlas of disease distributions: analytic approaches to epidemiological data**. London, Blackwell, 1979, 299p.

COFFEY, W. J. – **Geography: towards a general spatial systems approach**. Methuen, London, 270 p. 1981.

COMPUTER GRAPHICS WORLD - Datatech survey. **Computer Graphics World**, November, p. 22, 1989.

CORREA, M.O.A. - Leptospiroses em São Paulo. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, 29/30:29, 1970.

COSTA, E. de A. - Aspectos epidemiológicos da leptospirose em Salvador. **Boletim Epidemiológico** 2:57, 1970.

COSTA, A I.P. da & NATAL, D. - Distribuição espacial da dengue e determinantes socioeconômicos em localidade urbana no sudeste do Brasil. **Revista Saúde Pública**, 32(3):232-236, 1998.

COWEN, D.J. - GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54:1551-1554, 1988.

CROMLEY, R.C. - **Digital cartography**. New Jersey, Prentice Hall, 1992, 316p.

CUNHA, R.V da; MIAGOSTOVICH, M.C; PETROLA, Z.; ARAÚJO, E.S.M.; CORTEZ, D.; POMBO, V.; SOUZA, R.V. da; NOGUEIRA, R.M.R. & SCHATZMAYR, H.G. - Retrospective study on dengue in Fortaleza, state of Ceará, Brazil. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 93(2):155-159, 1998.

CVE - SP. **Centro de vigilância epidemiológica do Estado de São Paulo**.
www.cve.saude.sp.gov.br.

DER-SP . **Departamento de estradas de rodagem do Estado de São Paulo**.
www.der.sp.gov.br.

DICKINSON, H. & CALKINS, H.W. - The economic evaluation of implementing a GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, 2:307-327, 1988.

DUECKER, K.J. - Land resource information systems: a review of fifteen years experience. **Geo-processing** 1:105-128, 1979.

EFFRON, B. & MORRIS, C. - Data analysis using Stein's estimation and its generalization. **Journal of American Statistical Association** 70, 311-319, 1975.

ESRI - **Arc Info and Arc View GIS**. Redland, CA., 1993.

EASTMAN, J.R. – **Idrisi32 geographical information system**. Clark Labs., Clark University, Worcester, MA., 1995.

FERREIRA, M.C. - Utilização de modelos digitais de terreno na estimativa de enchentes em bacias hidrográficas: uma avaliação preliminar em escala regional. **Geociências**, 16(1):243-255, 1997.

FERREIRA, M.C. – Modelagem cartográfica aplicada a mapeamentos de suscetibilidade a danos ambientais: um ensaio no SIG Idrisi. **Geociências**, 15(2):485-502, 1996.

FUNASA – **Fundação nacional de saúde**. www.funasa.gov.br.

GERARDI, L.H.O & SILVA, NETWIG, C.B. – **Quantificação em geografia**. São Paulo, DIFEL, 1981, 158p.

GERSMEHL, P.J. – **The language of maps.**, Indiana, PA., University of Pennsylvania Press, 1991, 196 p.

GESLER, W. - The use of spatial analysis in medical geography: a review. **Social Science and Medicine**, 23(10):963-973, 1986.

GOODCHILD, M.F. - Geographical data modeling. **Computers and Geosciences** 18(4):401-408, 1992.

GOTTMANN, J.M. – **Time series analysis**. Cambridge, Cambridge University Press, 197p., 1981.

GUBLER, D.J. – Dengue haemorrhagic fever: a global update. **Virus information exchange news**, 8:2-3, 1991.

GUBLER, D.J. & CLARK, G.G. – Dengue/dengue haemorrhagic fever: the emergence of a global health problem. **Emerging Infectious Diseases**, 1(2):55-57, 1995.

GRIMSON, R.C.; WANG, , K.C. & JOHNSON, P.W.C. - Searching for hierarchical clusters of disease: spatial patterns of sudden infant death syndrome. **Social Science and Medicine**, 15D:287-293, 1981.

HAGERSTRAND, T. – Aspects of the spatial structure of social communication and the diffusion of information. **Papers of the Regional Science Association**, 16:27-42, 1966.

HAGERSTRAND, T. – **Diffusion of innovations**. Chicago University Press, 1968.

HAGGET, P. – Contagious process in a planar graph: an epidemiological application. In: N. D. Glashan (ed.), **Medical Geography: techniques and field studies**. London, Methuen & Co., pp. 307-324, 1972. *Hagerstrand*

HAGGET, P. & CHORLEY, R. – **Network analysis in geography**. London, Edward Arnold, 1969, 342 p.

HAINING, R. - Designing spatial data analysis modules for geographical information systems. In: S. Fotheringham & P. Rogerson (eds.) **Spatial Analysis and GIS**, pp.45-63, London, Taylor & Francis, 281 p., 1995.

HAINING, R., MA, J. & WISE, S. - Design of a software system for interactive spatial statistical analysis linked to a GIS. **Computational Statistics** 11:449-466, 1996.

HAINING, R.; WISE, S. & BLAKE. M. - Construction regions for small area analysis: material deprivation and colorectal cancer. **Journal of Public Health Medicine**, 16(4):429-438, 1994.

HALSTEAD, S.B. – **The XXth century dengue pandemic need for surveillance and research**. Rapp. Trimest. Sanit. Mondo, 45:292-298, 1992

HARTSHORNE, R. – **The nature of geography**, Lancaster, USA, 1939.

HEPPLE, L.W – The impact of stochastic process theory upon spatial analysis in human geography. In: BOARD, C. (ed.) **Progress in Geography: international reviews of current research**, Edward Arnold, London, 1973, pp. 91-142.

HORTON, R.E. – Drainage basin characteristics. **Transactions of the American Geographical Union**, 13, pp. 350-361, 1932.

HORTON, R.E. – Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, 56, pp.275-370, 1945.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Base cartográfica digital das regiões, mesoregiões, microregiões e municípios do Brasil. Cd Rom, 1997.

KING, P. - Problems of spatial analysis in geographical epidemiology. **Social Science & Medicine**, 13D:249-252, 1979.

KWOFIE, K.M.A. - A spatio-temporal analysis of cholera diffusion in Western Africa. **Economical Geography**, 52:127-135, 1976.

LANGRAN, G. - A review of temporal database research and its use in GIS applications. **International Journal of Geographical Information Systems** 3:215-232, 1994.

LAWSON, A.; BIGGERI, D.; BÖHNING, E.; LESAFFRE, J. & VIEL, J.F. – Disease mapping and its uses. IN: Lawson, A.; Biggeri, D.; Böhning, E.; Lesaffre, J. & Viel, J.F. (org.) **Disease mapping and risk assessment for public health**. New York, John Wiley & Sons, 1999, pp.3-13.

LE SANN, J.G. – Documento cartográfico: considerações gerais. **Revista Geografia e Ensino**, 1(3):3-17, 1983.

MACHADO, R. & COSTA, E. - Leptospirose em Salvador (1970-1975): alguns aspectos clínicos e epidemiológicos. **Revista Médica da Bahia**, 23(3):194-206, 1977.

MAGUIRE, D.J. - An overview and definitions of GIS. In: Maguire, D.J.; Goodchild M.F. & Rhind D.W. - **Geographical Information Systems: principles and applications**. Longman, London, vol 1, 1991, pp. 319-335.

MARSHALL, R. - A review of methods for the statistical analysis of spatial patterns of disease. **Journal of Research Statistical Society**, A-154, Part 3, 421-441, 1991.

MARTINELLI, M. – **Curso de cartografia temática**. Ed. Contexto, São Paulo, 1991, 180 p.

MARTINELLI, M. – Orientação semiológica para representações da geografia: mapas e diagramas. **Orientação**, 8:53-62, 1990.

MARTINELLI, M. – **Cartografia temática: caderno de mapas**. EDUSP, 2003, 160p.

MARZOCHI, K.B.F. – Dengue in Brazil: situation, transmission and control – a proposal for ecological control. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 89:235-245, 1994.

MATHER, P. - **Computer processing of remotely sensed images: an introduction**. Wiley & Sons, London, 1987.

Mc HARG, I.L. - **Design with nature**. Doubleday/Natural History Press, Garden City, N.Y., 1969.

McGLASHAN, N.D. - Geographical evidence on medical hypothesis. In: McGlashan N.D (ed.): **Medical Geography and Field Studies**. Methuen, London, 1972.

MINGHI, J. – Boundary studies in political geography. **Annals of the Association of American Geographers**, 53:407-428, 1963.

MINNICK, R.F. – A method for the measurement of areal correspondence. **Papers of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters**, 49:333-344, 1964.

MOREHOUSE, S. - The architecture of ARC/INFO. **Proceedings of AutoCarto 9**, ASPRS/ACSM, Fall Church, pp.266-277, 1989.

MORAES NETO, O. L. de – **Padrão espacial da mortalidade infantil nas coortes de nascidos vivos em Goiânia – GO, 1992 – 1996**. Tese de Doutorado em Saúde Coletiva, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

MUEHRCKE, P.C. – **Map use: reading, analysis, interpretation**. JP Publications, Madison, 1986, 512 p.

NEWELL, R.G. & THERIAULT, D.G. - Is GIS just a combination of CAD and DBMS? **Mapping & Awareness** 4(3): 42-45, 1990.

NOHMI, N. - Contribuição à epidemiologia das leptospiroses na cidade de Belo Horizonte, MG. **O Hospital**, 65:167, 1964.

NOGUEIRA, R.M.; MIAGOSTOVICH, M.P.; SCHATZMAYR, H.G.; SANTOS, F.B.; ARAÚJO, E.S.; FILIPPIS, A M.; BARAN, M. - Dengue in the state of Rio de Janeiro, Brazil, 1986-1998. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 94(3):297-304, 1999.

OLIVEIRA, C. de. - **Curso de cartografia moderna**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, RJ, 1993.

OLSSON, G - Inference problems in Geography. In: R. Golledge & K. Cox (eds.) **Behavioral Problems in Geography: a Symposium**. Northwestern University Studies in Geography, 17:14-32, 1969.

OPAS - ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE. - **Diretrizes relativas à prevenção e ao controle da dengue e da dengue hemorrágica nas Américas: relatório da Reunião sobre Diretrizes da Dengue**. Washington-D.C., 1991.

OZEMOY, V.M.;SMITH, D.R. & SICHERMAN, A. - Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. **Interfaces**, 11:92-98, 1981.

PEUQUET, D. J. - It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems. **Annals of the Association of American Geographers**, 84(3):441-461, 1994.

PEUQUET, D.J. - Representations of geographic space: toward a conceptual synthesis. **Annals of Association of American Geographers**, 78 (3):375-394, 1988.

PONTES, R.J.S. – **Estudo da epidemia de dengue no município de Ribeirão Preto, 1990-1992**. Tese de Doutorado, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, 1992.

ROGER R. & MARSHALL, J. – A review of methods for statistical analysis of spatial patterns of disease. **Journal of Royal Statistical Society**, 154 (3):321-441, 1991.

RUSHTON, G.; KRISHNAMURTI, D. & SONG, H. - A geographic information analysis of urban infant mortality rates. **Geo Info Systems** 5(7):52-56, 1995.

SACK, R.D. – A concept of physical space in Geography. **Geographical Analysis**, 5(1):16-34, 1973.

SACK, R.D – Chorology and spatial analysis. **Annals of American Association of Geographers** 64(3):439-452, 1974a.

SACK, R.D. – The spatial separatism theme in geography. **Economic Geography**, 50(1):1-19, 1974b.

SANCHEZ, M.C. – A cartografia como técnica auxiliar da geografia. **Boletim de Geografia Teorética** , 4(7/8):31-46, 1973.

SANCHEZ, M.C. – A problemática dos intervalos de classe na elaboração de cartogramas. **Boletim de Geografia Teorética**, 4:53-65, 1972.

SANCHEZ, M.C. - Interpolação para elaborar cartogramas isopléticos. **Boletim de Geografia Teorética** , 4(6):51-62, 1974.

SANTOS, M.M.D dos – A representação gráfica da informação geográfica. **Geografia**, 12 (23): 1-13, 1987.

SALICHTCHEV, K.A – Cartographic communication: its place in the theory of science. **The Canadian Cartographer**, 15(2):93-100, 1978.

SCHAEFER, F.K. – Exceptionalism in geography: a methodological examination. **Annals of American Association of Geographers**, 43(3):226-249, 1953.

SCHATZMAYR, H.G. – Dengue situation in Brazil by year 2000. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, 95(1):179-181, 2000.

SCHIMBEL, A. & KATZ, W. – A new status index derived from sociometric analysis. **Psychometrika**, 18:39-43, 1953.

SCHREVE, R.L. – Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, 74, pp.17-37, 1966.

SEADE. **Fundação sistema estadual de análise de dados**. www.seade.gov.br.

SECRETARIA DA SAÚDE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – **Relatório estatístico de doenças transmitidas por vetores e zoonoses**. Relatório Trimestral, 1998.

SILVA, A.R.M da; QUADRA, A.A.F.; CORDEIRO, H. do A. - Aspectos epidemiológicos das leptospiroses humanas no Grande Rio, Brasil. **Boletim de La Oficina Sanitaria Panamericana**. 8:122-133, 1974.

SMITH, T.R.; MENON, S.; STARR, J.L. & ESTES, J.E. - Requirements and principles for the implementations and construction of large scale geographic information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, 1:13-31, 1987.

STAR, J. & ESTES, J.E. – **Geographycal information systems: an introduction**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

STRAHLER, A.N. – Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, 38, pp. 913-920, 1957.

TEIXEIRA, M.G; COSTA, M.C.N.; BARRETO, M.L. & BARRETO, F.N. – Epidemiologia do dengue em Salvador, Bahia, 1995 –1999. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, 34(3):269-274, 2001.

TEMPALSKI, B. - The case of Guinea Worm: GIS as a tool for the analysis and disease control policy. **Geo Info Systems** 4 (11(:32-38), 1994.

TOBIAS, R.A; ROY, R.; ALO, C.J & HOWE, H.L - Tracking human health statistics in "Radium City". **Geo Info Systems**, 6(7):50-53, 1996.

TOMLIN, D.C. - **Geographical information systems and cartographic modeling**. Englewood, Prentice Hall, 1990, 249p.

UNWIN, D. – **Introductory spatial analysis**. London, Methuen & Co., 1981, 211p.

VAN der SCHANS, R. - The WDGM model: a formal system view on GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, 4(3):225-239, 1990.

VIDAL DE LA BLACHE, P. – **Tableau de la géographie de la France**. Paris, Armand Colin, 1903.

WISE, S.M. - The effect of GIS interpolation errors on the use of DEMs in geomorphology. In: S.N. Lane, K.S. Richards and J.H. Chandler (eds.) **Landform Monitoring, Modelling and Analysis**. Wiley, Chichester, 1977.

Nome município	Casos Quad 1	Casos Quad 2	Casos Quad 3	Casos Quad 4	Casos Quad 5	Casos Quad 6	Casos Quad 7	Total 2001
ADOLFO	0	0	0	1	1	0	0	2
ALTAIR	0	0	0	0	0	0	0	0
ALVARES FLORENCE	0	0	0	0	0	0	0	0
AMÉRICO DE CAMPOS	0	0	0	0	1	0	0	1
APARECIDA D'OESTE	0	0	1	0	0	0	0	1
ARIRANHA	0	0	0	0	0	0	0	0
ASPASIA	0	0	0	0	0	0	0	0
AURIFLAMA	0	0	0	0	3	0	0	3
BADY BASSITT	0	0	1	8	11	6	2	28
BALSAMO	0	0	0	0	0	2	0	2
CAJOBI	2	2	84	179	39	1	0	307
CARDOSO	1	1	4	2	4	1	0	13
CATANDUVA	0	0	14	38	43	14	2	111
CATIGUA	0	1	20	41	6	1	0	69
CEDRAL	0	0	0	0	3	2	1	6
COSMORAMA	0	0	0	2	4	3	1	10
DIRCE REIS	0	0	0	0	0	0	0	0
DOLCINÓPOLIS	0	0	0	0	0	1	0	1
ELISIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0
EMBAUBA	0	0	0	1	1	0	0	2
ESTRELA D'OESTE	0	1	0	3	2	2	0	8
FERNANDÓPOLIS	0	11	73	205	201	35	17	542
FLOREAL	0	0	0	0	0	0	0	0
GASTÃO VIDIGAL	0	0	0	0	0	0	0	0
GENERAL SALGADO	0	0	0	7	17	3	1	28
GUAPIACU	0	0	1	2	5	2	2	12
GUARACI	0	0	1	6	4	0	0	11
GUARANI D'OESTE	0	0	0	0	0	0	0	0
GUZOLÂNDIA	0	0	0	0	0	0	0	0
IBIRA	0	0	0	0	1	0	0	1
ICEM	0	0	0	1	3	0	2	6
INDIAPORA	0	0	0	0	5	0	0	5
IPIGUA	0	0	0	0	4	0	0	4
IRAPUJA	0	0	2	0	1	0	0	3
ITAJÓBI	0	0	0	1	0	0	0	1
JACI	0	0	1	5	6	2	0	14
JALES	0	1	5	16	4	1	0	27
JOSE BONIFÁCIO	0	0	1	20	15	9	6	51
MACAUBAL	0	0	0	1	2	2	0	5
MACEDONIA	0	0	0	2	3	1	0	6
MAGDA	0	0	0	0	0	0	0	0
MARAPOAMA	0	0	0	0	0	0	0	0
MARINÓPOLIS	0	0	0	0	0	0	0	0
MENDONÇA	0	0	0	0	0	0	0	0
MERIDIANO	0	0	0	1	0	0	0	1
MESÓPOLIS	0	0	0	0	0	0	0	0
MIRA ESTRELA	0	0	0	0	0	0	0	0
MIRASSOL	2	21	171	550	618	159	44	1565
MIRASSOLÂNDIA	0	0	0	0	0	0	0	0
MONCOES	0	0	0	0	0	0	0	0
MONTE APRAZIVEL	0	0	6	20	18	18	0	62
NEVES PAULISTA	0	0	0	13	32	11	2	58
NHANDEARA	0	0	0	0	0	0	0	0
NIPOA	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVA ALIANÇA	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVA CANAÃ PAULISTA	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVA CASTILHO	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVA GRANADA	0	0	1	3	4	0	0	8
NOVA LUZITANIA	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVAIS	0	0	0	0	0	0	0	0
NOVO HORIZONTE	0	0	0	0	0	0	0	0
OLÍMPIA	1	8	55	242	356	98	12	772
ONDA VERDE	0	0	0	0	0	0	0	0
ORINDUBA	0	0	0	0	0	0	0	0
OUROESTE	0	0	2	6	5	0	0	13

Anexo 1 - Número de casos de dengue nas sete primeiras quadrissemanas epidemiológicas de 2001, por município da mesoregião de São José do Rio Preto - SP. (Fonte: adaptado de CVE-SP, 2002).

NomeMunicípio	Casos Quad 1	Casos Quad 2	Casos Quad 3	Casos Quad 4	Casos Quad 5	Casos Quad 6	Casos Quad 7	Total 2001
PALESTINA	0	0	0	0	0	0	0	0
PALM. PAULISTA	0	0	1	1	1	0	0	2
PALMEIRA DOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0
PARAISO	0	0	0	0	0	0	0	0
PARANAPUA	0	0	0	0	0	0	0	0
PARISI	0	0	0	0	0	0	0	0
PAULO DE FARJA	1	30	67	43	40	14	1	156
PEDRANOPOLIS	0	0	2	0	0	0	0	2
PINDORAMA	0	0	0	0	0	0	0	0
PLANALTO	0	0	0	0	0	0	0	0
POLONI	0	0	0	2	12	9	3	26
PONTALINDA	0	0	0	0	0	0	0	0
PONTES GESTAL	0	0	0	0	0	0	0	0
POPULINA	0	0	0	19	12	1	1	32
POTIRENDABA	0	0	0	1	5	1	1	7
RIOLANDIA	1	2	11	38	24	9	2	87
RUBINEIA	0	0	0	0	0	0	0	0
S. FE DO SUL	0	0	0	5	5	1	1	12
S. FRANCISCO	0	0	0	0	0	0	0	0
S. J. DE IRACEMA	0	0	0	0	0	0	0	0
S. J. DUAS PONTES	0	0	0	0	0	0	0	0
SALES	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA ADELA	0	0	0	1	3	0	0	4
SANTA ALBERTINA	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA CLARA DOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA RITA DOESTE	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTA SALETE	0	0	0	0	0	0	0	0
SÃO JOSE DO RIO PRETO	30	142	583	2002	2781	690	188	6416
SEB. DO SUL	0	0	0	0	0	0	0	0
SEVERINIA	0	0	0	1	4	0	0	5
STA. PONTE PENSA	0	0	0	0	0	0	0	0
T. FRONTEIRAS	0	0	0	0	0	0	0	0
TABAPUA	10	23	7	6	3	2	2	51
TANABI	0	0	0	0	12	5	1	18
TURMALINA	0	0	0	0	1	0	0	1
UBARANA	0	0	0	0	0	0	0	0
UCHOA	0	0	0	0	2	6	2	10
UNIAO PAULISTA	0	0	0	0	0	0	0	0
URANIA	0	0	0	0	0	0	0	0
URUPES	0	0	0	0	7	2	0	9
V. GENTIL	0	0	0	0	0	0	0	0
VIT. BRASIL	0	0	0	0	0	0	0	0
VOTUPORANGA	2	4	9	7	10	4	4	39
ZACARIAS	0	0	0	0	0	0	0	0

Nomemunicp	Inc Quad 1	Inc Quad 2	Inc Quad 3	Inc Quad 4	Inc Quad 5	Inc Quad 6	Inc Quad 7	Inc total
ADOLFO	0.00	0.00	0.00	29.69	29.69	0.00	0.00	5.94
ALTAIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ALVARES FLORENCE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AMERICÓ DE CAMPOS	0.00	0.00	0.00	0.00	17.91	0.00	0.00	1.79
APARECIDA D'OESTE	0.00	0.00	20.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.06
ARIRANHA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ASPASIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AURIFLAMA	0.00	0.00	0.00	0.00	22.37	0.00	0.00	2.24
BADY BASSITT	0.00	0.00	12.25	98.02	134.77	73.51	24.50	34.31
BALSAMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.07	0.00	2.81
CAJOBI	20.11	20.11	844.82	1800.26	392.24	10.06	0.00	308.76
CARDOSO	8.73	8.73	34.91	17.46	34.91	8.73	0.00	11.35
CATANDUVA	0.00	0.00	13.87	37.65	42.60	13.87	1.98	11.00
CATIGUA	0.00	14.86	297.27	609.39	89.18	14.86	0.00	102.56
CEDRAL	0.00	0.00	0.00	0.00	50.23	33.48	16.74	10.05
COSMORAMA	0.00	0.00	0.00	27.34	54.67	41.01	13.67	13.67
DIRCE REIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DOLCINÓPOLIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.79	0.00	4.68
ELISIÁRIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EMBAUBA	0.00	0.00	0.00	40.54	40.54	0.00	0.00	8.11
ESTRELA D'OESTE	0.00	12.49	0.00	37.46	24.97	24.97	0.00	9.99
FERNANDÓPOLIS	0.00	18.64	123.67	347.30	340.53	59.30	28.80	91.82
FLOREAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GASTÃO VIDIGAL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GENERAL SALGADO	0.00	0.00	0.00	66.34	161.12	28.43	9.48	26.54
GUAPIACU	0.00	0.00	7.96	15.92	39.79	15.92	15.92	9.55
GUARACI	0.00	0.00	11.50	69.03	46.02	0.00	0.00	12.66
GUARANI D'OESTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GUZOLÂNDIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IBIRA	0.00	0.00	0.00	0.00	10.74	0.00	0.00	1.07
ICEM	0.00	0.00	0.00	15.06	45.19	0.00	30.13	9.04
INDIAPORA	0.00	0.00	0.00	0.00	112.84	0.00	0.00	11.28
IPIGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	148.81	0.00	0.00	14.88
IRAPUA	0.00	0.00	31.28	0.00	15.64	0.00	0.00	4.69
ITAJOBI	0.00	0.00	0.00	7.26	0.00	0.00	0.00	0.73
JACI	0.00	0.00	30.56	152.81	183.37	61.12	0.00	42.79
JALES	0.00	2.28	11.42	36.54	9.14	2.28	0.00	6.17
JOSE BONIFÁCIO	0.00	0.00	3.88	77.66	58.25	34.95	23.30	19.80
MACAUBAL	0.00	0.00	0.00	13.81	27.62	27.62	0.00	6.91
MACEDONIA	0.00	0.00	0.00	55.39	83.08	27.69	0.00	16.62
MAGDA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MARAPOAMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MARINÓPOLIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MENDONÇA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MERIDIANO	0.00	0.00	0.00	28.11	0.00	0.00	0.00	2.81
MESÓPOLIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MIRA ESTRELA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MIRASSOL	4.56	47.89	389.96	1254.25	1409.32	362.59	100.34	356.89
MIRASSOLÂNDIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MONÇÕES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MONTE ARAZIVEL	0.00	0.00	33.15	110.50	99.45	99.45	0.00	34.26
NEVES PAULISTA	0.00	0.00	0.00	154.36	379.96	130.61	23.75	68.87
NHANDEARA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIPOA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVA ALIANÇA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVA CANAÃ PAULISTA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVA CASTILHO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVA GRANADA	0.00	0.00	6.07	18.20	24.26	0.00	0.00	4.85
NOVA LUZITANIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVAIS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOVO HORIZONTE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OLÍMPIA	2.23	17.83	122.55	539.23	793.24	218.36	26.74	172.02
ONDA VERDE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ORINDIÚVA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUROESTE	0.00	0.00	36.74	110.23	91.86	0.00	0.00	23.88

Anexo 2 – Valores do coeficiente de incidência de dengue por 10.000 habitantes, para as sete primeiras quadrissemanas epidemiológicas de 2001, por município da mesoregião de São José do Rio Preto – SP. (Fonte: adaptado de CVE-SP, 2002).

Nomemunicp	População Urbana	Domic. Coletivos e Improv	Taxa Geom. de Crescim.(%)	Renda (R\$)
ADOLFO	3068	3	1.30	238
ALTAIR	2548	37	1.04	225
ALVARES FLORENCE	2658	7	-1.75	250
AMÉRICO DE CAMPOS	4338	4	-0.03	252
APARECIDA D'OESTE	3666	16	-0.36	229
ARIRANHA	6868	15	2.79	226
ASPASIA	1177	4	-2.01	192
AURIFLAMA	11882	27	0.64	317
BADY BASSITT	10207	5	8.17	313
BALSAMO	6333	2	0.95	380
CAJOBI	8352	20	0.58	221
CARDOSO	10351	37	-0.61	246
CATANDUVA	104118	410	1.74	385
CATIGUA	5911	7	0.52	240
CEDRAL	4973	28	1.78	290
COSMORAMA	4306	23	-0.67	235
DIRCE REIS	1076	0	-1.77	189
DOLCINOPOLIS	1809	1	0.29	209
ELISÁRIO	2190	1	0.17	213
EMBAUBA	1978	0	0.38	207
ESTRELA D'OESTE	6385	35	-0.30	266
FERNANDOPOLIS	59091	150	1.07	366
FLOREAL	2471	3	-1.04	287
GASTAO VIDIGAL	2938	6	-0.73	269
GENERAL SALGADO	8745	66	0.58	265
GUAPIACU	11851	102	3.21	330
GUARACI	7383	49	1.41	239
GUARANI D'OESTE	1733	21	0.77	211
GUZOLANDIA	3369	3	-1.75	177
IBIRA	8297	39	0.88	275
ICEM	5742	24	1.16	269
INDIAPORA	3193	18	-1.81	246
IPIGUA	1936	20	0.93	254
IRAPUA	5425	16	0.93	212
ITAJOBI	10860	59	0.85	251
JACI	2967	133	2.64	260
JALES	47294	131	1.28	331
JOSE BONIFACIO	24974	102	2.19	339
MACAUBAL	6248	25	0.02	268
MACEDONIA	2683	2	-0.55	214
MAGDA	2730	2	0.79	264
MARAPOAMA	1541	0	2.22	220
MARINOPOLIS	1646	0	0.55	190
MENDONÇA	2762	0	0.84	258
MERIDIANO	2656	31	0.67	203
MESOPOLIS	1218	1	0.01	180
MIRA ESTRELA	1942	8	-0.28	214
MIRASSOL	46484	132	2.36	334
MIRASSOLANDIA	3118	11	2.40	196
MONCOES	1744	1	-0.35	218
MONTE APRAZIVEL	15929	64	0.56	326
N. CANAÁ PAULISTA	823	2	-1.15	174
NEVES PAULISTA	7739	25	0.76	313
NHANDEARA	7881	112	-0.18	313
NIPOA	2801	4	1.78	226
NOVA ALIANÇA	3614	1	1.41	259
NOVA CASTILHO	486	2	0.00	215
NOVA GRANADA	15020	71	1.54	252
NOVA LUZITANIA	2287	8	0.46	217
NOVAIS	2668	0	0.50	182
NOVO HORIZONTE	28900	89	0.71	299
OLIMPIA	42610	135	0.84	352
ONDA VERDE	2315	0	2.13	234
ORINDIÚVA	3672	4	3.64	282
OUROESTE	4651	5	0.00	251

Anexo 3 – Valores das variáveis população urbana, taxa geométrica de crescimento populacional entre 1990 e 2000, e renda per capita dos municípios da mesoregião de São José do Rio Preto – SP. (Fonte: SEADE, 2003)

Nomemunicp	População Urbana	Domic. Coletivos e Improv.	Taxa Geom. de Crescim. (%)	Renda (R\$)
PALESTINA	7227	18	0.15	240
PALM. PAULISTA	8094	8	1.65	216
PALMEIRA D'OESTE	7088	51	-0.63	241
PARAISO	4451	5	1.57	245
PARANAPUA	3030	3	-0.40	238
PARISI	1504	0	2.76	223
PAULO DE FARIA	7441	48	0.26	259
PEDRANOPOLIS	1654	4	-1.41	204
PINDORAMA	12078	97	0.69	262
PLANALTO	2827	5	0.51	233
POLONI	4261	0	0.64	291
PONTALINDA	2680	4	0.97	166
PONTES GESTAL	1938	1	-1.69	225
POPULINA	3427	8	-0.55	209
POTIRENDABA	11663	29	2.22	300
RIOLANDIA	6854	78	1.12	236
RUBINEIA	1913	9	1.72	251
S. CLARA D'OESTE	1466	2	-1.79	202
S. FE DO SUL	24879	143	1.55	359
S. FRANCISCO	2053	0	1.33	197
S. J. DE IRACEMA	1158	4	-0.32	218
S.J. DUAS PONTES	2016	0	0.54	220
SALES	3553	35	2.12	225
SANTA ADELIA	12063	90	0.74	284
SANTA ALBERTINA	4435	41	-0.56	281
SANTA RITA D'OESTE	1466	0	-2.83	187
SANTA SALETE	541	0	0.00	192
SÃO JOSE DO RIO PRETO	336519	1600	2.78	512
SEB. DO SUL	1649	0	0.19	225
SEVERINIA	12130	59	3.18	217
STA. PONTE PENSA	1109	0	-2.41	215
T. FRONTEIRAS	4066	9	0.14	237
TABAPUA	9013	86	0.59	248
TANABI	17981	68	0.54	297
TURMALINA	1549	4	-1.66	224
UBARANA	3797	17	4.57	190
UCHOA	7876	20	0.96	250
UNIAO PAULISTA	973	0	0.24	198
URANIA	7063	20	0.38	242
URUPES	9780	48	0.78	283
V. GENTIL	7501	38	4.31	283
VIT. BRASIL	1188	0	0.10	191
VOTUPORANGA	72698	197	1.80	415
ZACARIAS	1332	0	0.10	195