

O USO DO GEOPROCESSAMENTO E DA ESTATÍSTICA NOS ESTUDOS ECOLÓGICOS EM EPIDEMIOLOGIA: O CASO DA DENGUE EM 2008 NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

THE USE OF GEOPROCESSING AND STATISTIC IN ECOLOGICAL STUDIES OF EPIDEMIOLOGY: THE CASE OF DENGUE IN 2008 IN THE METROPOLITAN AREA OF FORTALEZA

Gledson Bezerra Magalhães

Doutorando em Geografia
Universidade Federal do Ceará
gj_magalhaes@hotmail.com

RESUMO

O uso das técnicas de geoprocessamento e estatística são essenciais para se estudar o perfil epidemiológico de doenças quando se trabalha com dados agregados em pesquisas quantitativas. Nesse sentido o presente artigo visa contribuir para a discussão acerca do uso de ferramentas de geoprocessamento e estatísticas na área da saúde. Trazendo em seu corpo a importância do uso dos mesmos nos estudos epidemiológicos, sendo evidenciadas as principais técnicas e recursos utilizados na análise espacial em epidemiologia, na perspectiva de contribuir com um melhor entendimento das características epidemiológicas, levando em conta os fatores ambientais e sociais. Traz como exemplo prático o estudo de caso da dengue no município de Fortaleza no ano de 2008, onde se pode identificar o comportamento da dengue no referido ano e sua relação com os elementos climáticos no município. Verificou-se que tanto as mais baixas temperaturas como as mais altas são ótimas para a proliferação do mosquito, fato favorecido pelas baixas amplitudes térmicas mensais e que o aumento da infestação de *Aedes aegypti* ocorre com o aumento das precipitações pluviométricas, onde a maior concentração de casos se concentra na quadra chuvosa.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica; geoestatística; estudos epidemiológicos.

ABSTRACT

The use of geoprocessing and statistic are essential to study the epidemiology perfil of diseases when working with aggregate data on quantitative research. In this sense the present article aims to contribute to the discussion about the use of GIS tools and statistics on the health area. Bringing in your body the importance of their use in epidemiological studies, and highlighted the main techniques and resources used in spatial analysis in epidemiology, in the perspective to contribute to a better understanding of the epidemiological characteristics, taking into account the environmental and social factors. Brings as a practical example the study case of dengue in Fortaleza in the year of 2008, where one can identify the behavior of dengue in that year and its relation to the climatic elements in the city. It was found that both the lower and the higher temperatures are optimal for the growth of mosquito fact favored by low temperature range and that higher monthly infestation of *Aedes aegypti* occurs with increasing precipitation, where the highest concentration of focuses on court cases rainy.

Keywords: Geographic Information System; geostatistics; epidemiological studies.

INTRODUÇÃO

O uso de técnicas de análise espacial na Saúde Pública é basilar para se compreender o perfil epidemiológico das doenças. As pesquisas quantitativas dos fenômenos que se manifestam no

Recebido em: 01/05/2012

Aceito para publicação em: 31/07/2012

espaço utilizam-se da análise espacial associada a métodos estatísticos para investigar a ocorrência de correlações espaciais entre as unidades de análise, buscando identificar variáveis explicativas, como possíveis fatores de risco, objetivando compreender fenômenos relacionados à dinâmica da distribuição de doenças.

Nessa ótica, várias pesquisas de estudos ecológicos têm mostrado importantes contribuições à epidemiologia, por apontar caminhos para investigar potenciais associações com as variações espaciais da ocorrência de doenças, além de possíveis padrões de morbi-mortalidade (ANDRADE; SZWARCOWALD, 2001).

A análise da distribuição das variáveis no espaço e no tempo são aspectos fundamentais nas pesquisas na área da Geografia da Saúde, possibilitando verificar a ocorrência do padrão espacial das doenças, dos serviços de saúde e do ambiente relacionado a esses dois.

Como produto na análise espacial, os mapas, possuem em última instância a finalidade de identificar os riscos. Apesar de apresentarem aparentemente um aspecto estático, refletem sinteticamente à complexidade das variáveis envolvidas, permitindo conhecer mais detalhadamente as condições de saúde da população no que concerne a situações de morbi-mortalidade, podendo relacioná-las com suas possíveis causas, considerando-se que estas são passíveis de se cartografar no território. Tal recurso é incluído nas investigações em saúde, possibilitando verificar fatores determinantes de agravos à mesma, contribuindo na identificação da interdependência de processos espaciais, que se refletem na sua configuração social, ambiental e epidemiológica (BARCELLOS; BASTOS, 1996).

Um mapa pode assinalar a frequência de eventos adversos para a saúde, associações entre áreas e tempos distintos, assim como, associações entre variáveis diferentes, como a concentração de casos de uma determinada doença e seus determinantes socioambientais, buscando possíveis padrões e relações entre os mesmos.

Diversos procedimentos podem ser utilizados na execução da análise espacial em saúde, sendo objeto desse estudo o geoprocessamento e a geoestatística.

Santos; Pina; Carvalho (2000, p. 14) expõem que o “geoprocessamento é um termo amplo, que engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais”. Santos et al. (2004, p.6) afirmam que geoprocessamento “é o conjunto de técnicas de coleta, tratamento e exibição de informações referenciadas geograficamente”.

Tomando-se como base as concepções de geoprocessamento apresentadas acima, compreendemos esse termo como o conjunto de técnicas e tratamento de dados georreferenciados ou passíveis de georreferenciamento, objetivando produzir informações espaciais, por meio de ferramentas computacionais.

Dentre as técnicas englobadas no geoprocessamento, destaca-se o Sistema de Informações Geográficas (SIGs). O SIG tem a capacidade de reunir uma grande quantidade de dados de expressão espacial, estruturá-los e manipulá-los adequadamente. Santos; Pina; Carvalho (2000, p. 15) nos mostra que,

a tecnologia SIG integra operações convencionais de bases de dados, como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados, com possibilidades de seleção e busca de informações e análise estatística, conjuntamente com a possibilidade de visualização e análise geográfica oferecida pelos mapas. Esta capacidade distingue os SIGs dos demais Sistemas de Informação e torna-os úteis para organizações no processo de entendimento da ocorrência de eventos, predição e simulação de situações, e planejamento de estratégias.

Os SIGs, são capazes de unir, integrar, organizar e modificar uma grande quantidade de dados de expressão espacial (raster e vetor) e alfanuméricos (tabelas, gráficos, estatísticas etc.), inserindo-os em bases cartográficas, servindo a produção de mapas, modelação, monitoramento, gestão e medição. Permitem trabalhar com uma gama de modelos de dados que tem por objetivo representar o mundo real no computador, a partir da síntese de um conjunto vasto de dados, fornecendo informação do modo mais completo possível. Esses modelos de dados podem ser representados de forma vetorial (pontos, linha e polígonos) e matricial (células de uma matriz com valores específicos). Outros modelos de dados que o SIG possibilita representar são as redes (hidrografia, infra-estruturas, etc), o TIN (Triangulated Irregular Network – visualização análise e modelação do terreno) e os modelos OO (orientados-a-objetos).

Aliado as técnicas de geoprocessamento, estão os *softwares* estatísticos que possibilitam a análise descritiva e as correlações entre as variáveis que se deseja estudar.

Para Nakhapakorna e Tripathi (2005), a incorporação da análise de padrões espaciais em estudos epidemiológicos é de suma importância para o planejamento territorial associado à compreensão dos processos de difusão de doenças. Os SIGs podem desempenhar um papel importante na utilização e análise de dados em saúde pública, a partir de abordagens multidisciplinares que explorem o potencial das técnicas de análise espaço-temporais.

É cada vez mais comum estudos de Epidemiologia que incorporam técnicas de Geoprocessamento e Análise Espacial, muitos de forma interdisciplinar abarcando pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, incluindo a Geografia, sendo possível identificar diversos trabalhos de vários autores, como Barcellos et al. (1996, 1997, 1998), Castro et al. (2003), Cordeiro (2001,2002), Medronho (1999), Pinheiro et al. (2001), Santos; Noronha, (2001), Seone; Wünsch Filho (2002), entre outros.

Atrelado ao processo de geoprocessamento, a estatística se torna de fundamental importância na interpretação de grande quantidade de dados. Arango (2005) a partir de reflexões teóricas sobre a estatística a compreende como área do conhecimento que se encarrega especificamente da coleção ou da reunião de dados. O objetivo de reunir dados é o de fornecer informações sobre características de grupos de pessoas ou coisas. As informações têm por objetivo conhecer algum aspecto (ou questão) relacionado a esses grupos e, desta forma, servir de base para a escolha dos procedimentos mais adequados para resolvê-lo.

A geoestatística (ramo da estatística) fornece um conjunto de ferramentas para entender a aparente aleatoriedade dos dados, mas com possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial e possibilitando a interpretação da distribuição estatística desses dados. Tem por objetivo a caracterização da dispersão espacial e espaço-temporal das grandezas que definem a quantidade e qualidade de fenômenos espaciais em que os atributos manifestam uma certa estrutura no espaço e/ou tempo (Druck et al, 2004).

OS ESTUDOS ECOLÓGICOS

Os estudos ecológicos possibilitam uma melhor compreensão dos dados secundários através de análise estatísticas e espaciais priorizando o coletivo ao individual, haja vista que os estudos em Epidemiologia podem assumir as duas dimensões de análise. O estudo ecológico em epidemiologia possibilita a análise de grupos de indivíduos agregados em função de fatores geográficos e temporais. Essa metodologia considera que a unidade de análise é formada por grupos de indivíduos com uma área geográfica definida. Para Morgenstern (1995 apud Bakonyi 2003, p. 60), um estudo ecológico “é um tipo de estudo epidemiológico, onde a unidade de análise não se constitui de indivíduos, mas sim de grupos de indivíduos, preferencialmente definidos por uma região geográfica que pode ser a população de um bairro, uma cidade e até mesmo um país”.

Nesse tipo de estudo conhecem-se o total de expostos e não expostos e de doentes e não doentes de uma determinada doença. Nele se trabalha com bases de dados secundários para todas as variáveis envolvidas na pesquisa, permitindo refletir os processos que ocorrem no nível coletivo, utilizando-se de análises espaciais de padrões epidemiológicos.

Os estudos biomédicos podem ter como fonte de dados observações diretas do indivíduo, a partir prioritariamente de dados primários, todavia podem incluir observações de grupos, organizações ou locais, partindo de dados secundários coletivos, denominados de variáveis ecológicas. Essas variáveis podem ser extraídas de estatísticas globais efetuadas periodicamente, como censos, anuários estatísticos, registros oncológicos, informes epidemiológicos, etc.

As variáveis ecológicas se dividem em três tipos: agregação (ex: percentagem de pessoas que apresentaram sintomas da dengue em um município, rendimento familiar médio nesse município); ambientais (ex: quantidade de chuva e média da temperatura do ar em determinada localidade); ou globais (ex: tipo de sistema de saúde, densidade demográfica, cumprimento de metas continentais ou mundiais de controle, eliminação e erradicação de doenças).

Os estudos ecológicos em epidemiologia são classificados a partir do método de exposição e de agregação das variáveis.

De acordo com o método de exposição esses estudos podem ser:

- Exploratórios - não existe um fator específico em estudo ou este não é medido.

- Analíticos - existe um fator específico, cujo efeito se pretende estudar, que é medido e incluído na análise.

De acordo com o método de agregação de variáveis, eles podem ser identificados ou agregados em três dimensões de análise, são elas:

- O local - analisando associações entre doença e exposições existentes entre vários grupos, num mesmo local.
- O tempo - priorizando associações entre doença e exposições em um mesmo local ao longo do tempo.
- Associação entre tempo e local (desenhos mistos) - consideram as alterações ao longo do tempo e em vários locais.

Alguns estudos em Geografia da Saúde, ou de forma mais específica na Climatologia Médica, utilizam o Estudo Ecológico em Epidemiologia como método. Podem-se citar como exemplo os estudos de Forattini et al. (1978), Bakonyi (2003) e Schreiber (2001).

Forattini et al. (1978) realizou um estudo no Vale do Ribeira em São Paulo e verificou que os mosquitos *Aedes serratus*, *Aedes scapularis* e *Aedes Culex (Melanoconion) sp.* tinham maior significância na transmissão de encefalite por vírus e que essa transmissão era mais evidente na zona rural.

Bakonyi (2003) relacionou a poluição do ar com as doenças respiratórias em Curitiba, apresentando associações estatisticamente positivas entre as variáveis.

Schreiber (2001) utilizando a metodologia abordada explorou variações intra e interanuais de precipitação pluviométrica (por meio do balanço hídrico) e da incidência de dengue a partir de cálculos estatísticos. Seus resultados mostram que a variação do balanço hídrico e medidas climáticas tradicionais durante um período de oito semanas estão relacionados com a ocorrência de surtos de dengue.

Diante de tais premissas, os Estudos Ecológicos em Epidemiologia são de suma importância, pois, concordando com Lana (2008, p. 05), “para estudar doenças transmitidas por vetores como a dengue, a sua aplicação é interessante, já que consegue relacionar a área geográfica de ocorrência com a doença.” Destaca-se, assim, a íntima ligação entre os métodos epidemiológicos e as ferramentas estatísticas e de geoprocessamento.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E CRUZAMENTO DAS VARIÁVEIS

Na distribuição espacial das variáveis um método bastante utilizado é a interpolação. Esta se constitui em um método matemático que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos. Na interpolação adotamos como modelo inferencial a ‘krigeagem’ ou ‘krigem’.

Este modelo inferencial possibilita um melhor resultado na interpolação dos dados, fornecendo estimativas não tendenciosas e com variância mínima. Estimativas não tendenciosas indicam que, em média, a diferença entre os valores estimados e verdadeiros devem ser nulos para um mesmo ponto; e variância mínima significa que estes estimadores têm menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos. Camargo aponta que

o que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (1998, p. 01).

A principal distinção deste modelo é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso da interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras). Na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados.

Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial. Ela parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados, se

baseando na diferença da variância com o aumento da distância entre dois pontos, permitindo avaliar incertezas e erros associados, produzindo superfícies suaves devido ao seu caráter gradual. Portanto assume que os dados referentes a uma determinada variável se encontram correlacionados no espaço. Por exemplo, se ocorreu precipitação pluviométrica ao longo de determinada área, a concentração de chuva em um ponto p é x , é muito provável que se encontrem resultados muito próximos de x quanto mais próximos se estiver do ponto p . Porém, a partir de determinada distância de p , certamente não se encontrarão valores aproximados de x porque a correlação espacial pode deixar de existir.

Assim, no resultado da espacialização dos dados os valores intermediários dos mesmos são preservados, e o resultado final é uma superfície contínua de dados mais suavizados, minimizando os contrastes entre os polígonos. Cabe destacar que no processo de interpolação quanto maior o número de pontos amostrais para a interpolação mais detalhada será a espacialização dos dados. Em uma área com poucas amostras, corre-se o risco de estar utilizando para interpolação amostras que já não tem nenhuma influência sobre o ponto considerado.

Em relação à associação entre doenças e determinados fatores vários métodos estatísticos são utilizados, sendo os mais comuns os métodos de correlação, regressão, e de modelos lineares, simples ou múltiplos, bastante utilizados nos estudos ecológicos em epidemiologia. A escolha do método dependerá dos tipos de variáveis que se está trabalhando e dos objetivos do estudo. No cruzamento de duas variáveis, uma dependente, como o número de casos de determinada doença, e uma independente, como as ambientais (elementos climáticos, altitude, qualidade do ar, solo, etc.), na qual deseja-se verificar alguma relação estatística e espacial, o método mais indicado é a correlação linear simples, por possibilitar uma maior clareza e precisão de análise na relação entre as variáveis (BISQUERRA et al., 2004).

A correlação é uma variação concomitante entre duas variáveis. Larson; Farber (2010, p. 395) afirmam que “os dados podem ser representados por pares ordenados (x,y) , onde x é a variável independente (ou explanatória) e y é a variável dependente (ou resposta)”.

Ela pode ser representada por meio de um diagrama de dispersão, ou através do coeficiente de correlação. O diagrama de dispersão permite visualizar graficamente a correlação, já o coeficiente de correlação, concordando com Larson; Farber (2010, p. 398) “é uma maneira mais precisa de se medir o tipo e a força de uma correlação linear entre duas variáveis”. O coeficiente comumente utilizado é o de Pearson. Ele é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente oscila entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é associação linear entre duas variáveis. Leva-se em conta também, o nível de significância da correlação. O nível de significância, diz se o resultado é significativo, portanto, se tem significância estatística. Esta relação indica a probabilidade de rejeitar a hipótese nula quando ela é efetivamente verdadeira. A hipótese nula é a hipótese que traduz a ausência do efeito que se quer verificar e a hipótese alternativa é a hipótese que o investigador quer verificar. O nível de significância adotado nas correlações das pesquisas científicas é de no máximo 0,05 (5%), caso o nível de significância for maior que 0,05 a correlação não apresenta significância estatística.

Segundo Bisguerra et al. (2004), considerando x_i e y_i os valores das variáveis X e Y . \bar{X} e \bar{Y} são respectivamente as médias dos valores x_i e y_i . A fórmula do coeficiente de correlação de Pearson é,

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Ressalta-se a possibilidade de que a relação entre as variáveis possa ser causada pela combinação de diversas outras variáveis, neste caso, se o pesquisador quiser relacionar mais de uma variável de uma vez, deve-se utilizar as correlações multivariadas como a regressão e correlação canônica.

A regressão múltipla é utilizada quando o problema de pesquisa envolve uma única variável dependente relacionada a duas ou mais variáveis independentes. O objetivo da análise de regressão múltipla é prever as mudanças na variável dependente como resposta a mudanças nas variáveis independentes (HAIR et al. 2009). Já a correlação canônica tem como objetivo correlacionar várias variáveis dependentes com diversas variáveis independentes. No caso do presente estudo foram

realizados correlações lineares simples, visto que o objetivo era saber se havia relação entre os elementos atmosféricos estudados e o número de casos de dengue.

Na elaboração de estudos no que concerne à análise espacial e estatística, a confiabilidade, a fidedignidade e a representatividade dos bancos de dados são essenciais. Dados mal coletados ou não confiáveis carregam as suas distorções para qualquer análise que se faça deles. Um exemplo claro disso se refere à análise de variável independente, como a precipitação pluviométrica. Nela, um passo de suma importância, é a espacialização da mesma em determinada área. Nesse sentido, quanto maior o número de postos pluviométricos com dados para o período em análise, mais detalhada será a espacialização das informações. Todavia, muitos percalços são evidenciados nas análises de dados, principalmente os relacionados à indisponibilidade e confiabilidade das informações básicas, dificultando o processo de análise.

A ausência de uma sistemática na coleta dos dados e o descuido quanto a seu rigoroso controle de qualidade, podem tornar os dados pouco fidedignos. Ademais, deslocamentos dos locais de coleta, mudanças na aparelhagem e nos métodos de medida, podem ser responsáveis pela heterogeneidade dos dados epidemiológicos tornando-os impróprios às finalidades da pesquisa, exigindo correções difíceis de cumprir.

UM ESTUDO DE CASO: COMPORTAMENTO DA DENGUE EM 2008 NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (RMF) E SUA RELAÇÃO COM OS ELEMENTOS CLIMÁTICOS

A dengue, doença viral febril aguda, constitui a doença reemergente mais importante e combatida entre os países intertropicais, onde as condições ambientais e socioeconômicas favorecem a proliferação do *Aedes aegypti*, principal vetor da doença. (BARRERA et al., 2000; GLUBER, 2001).

O estudo buscou evidenciar a possível relação entre a precipitação pluviométrica e a temperatura do ar com os casos de dengue na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) elaborando um estudo espaço-temporal da distribuição da doença e a correlação entre os elementos atmosféricos e os casos de dengue.

As variáveis para a construção do banco de dados foram:

- dados de temperatura do ar e totais pluviométricos mensais e anuais junto a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) e a estação meteorológica do Campus do Pici (coordenadas: 03° 44'lat S e 38° 33'long W), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC).
- incidências mensais, número de casos de dengue mensais e anuais por município e Índice de Infestação Predial (IIP) através da Secretária de Saúde do Estado do Ceará (SESA) e da Secretária Municipal de Saúde de Fortaleza (SMS);
- população da RMF através de censos demográficos, contagem populacional, projeções e estimativas demográficas do DATASUS e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

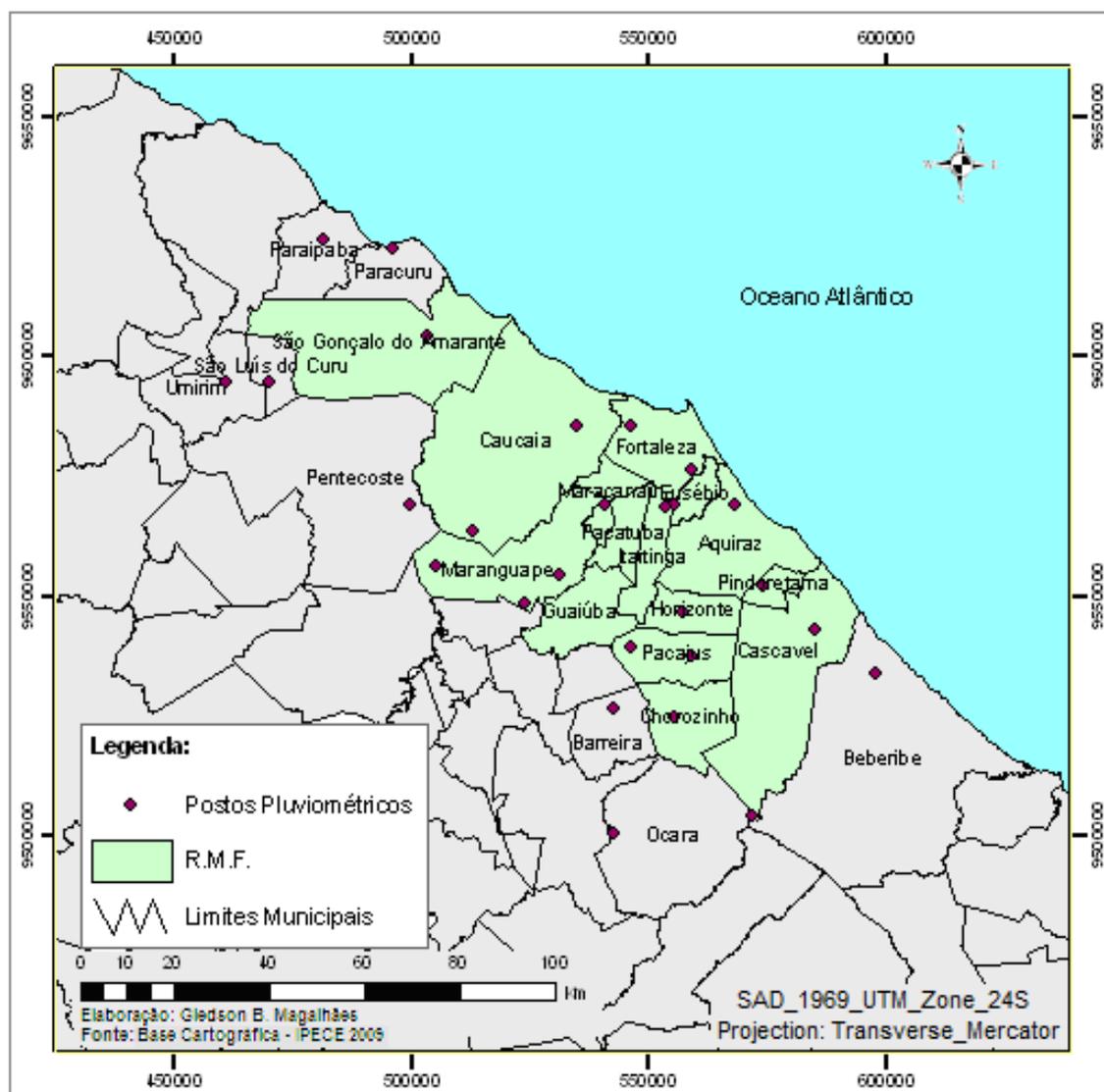
Após a construção do banco de dados ocorreu o tratamento geostatístico dos mesmos, onde foram organizados e analisados no ambiente computacional *Microsoft Excel*, objetivando a padronização do banco de dados adquirido. Em seguida os dados climáticos foram espacializados no software *Surfer 8.0* abarcando uma escala anual e sazonal referente a quadra chuvosa, por meio do método de interpolação *krigagem*. Para a espacialização dos dados climáticos utilizou-se os postos dentro e ao redor da RMF que não apresentassem falhas em seus dados para o período em estudo (Figura 1)

No estudo das características térmicas na RMF realizaram-se estimativas de temperatura do ar através de um programa computacional desenvolvido pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará com base nos estudos de Cavalcante e Silva (1994), onde baseado nas regiões climáticas do Ceará adotadas pela FUNCEME, e utilizando-se o método estatístico regressão linear múltipla estimou-se a média mensal de temperatura do ar. Foram consideradas as informações (latitude, longitude e altitude) dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa. Optou-se por esses 'pontos' na tentativa de estabelecer um padrão comum de informações espaciais entre os elementos climáticos analisados. Ressalta-se que as estimativas de temperatura foram adotadas devido a ausência de dados relativos a esta variável para toda a RMF.

A incidência e os casos de dengue foram espacializados no programa *Arc Gis 9.3* de forma anual, com gráficos representativos para os casos no primeiro e segundo semestre e dentro ou fora da quadra chuvosa. Para as espacializações utilizou-se uma base cartográfica da Região Metropolitana de Fortaleza adaptada da base cartográfica do Ceará de 2009, fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE).

Os diferentes bancos de dados epidemiológicos da dengue foram organizados de tal forma que as escalas espaço-temporais de análise coincidissem o máximo possível com a escala espaço-temporal das variáveis climatológicas. Para isso estabeleceram-se somas e médias aritméticas diversas para o número de casos, incidência e índice de infestação predial (IIP).

Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos



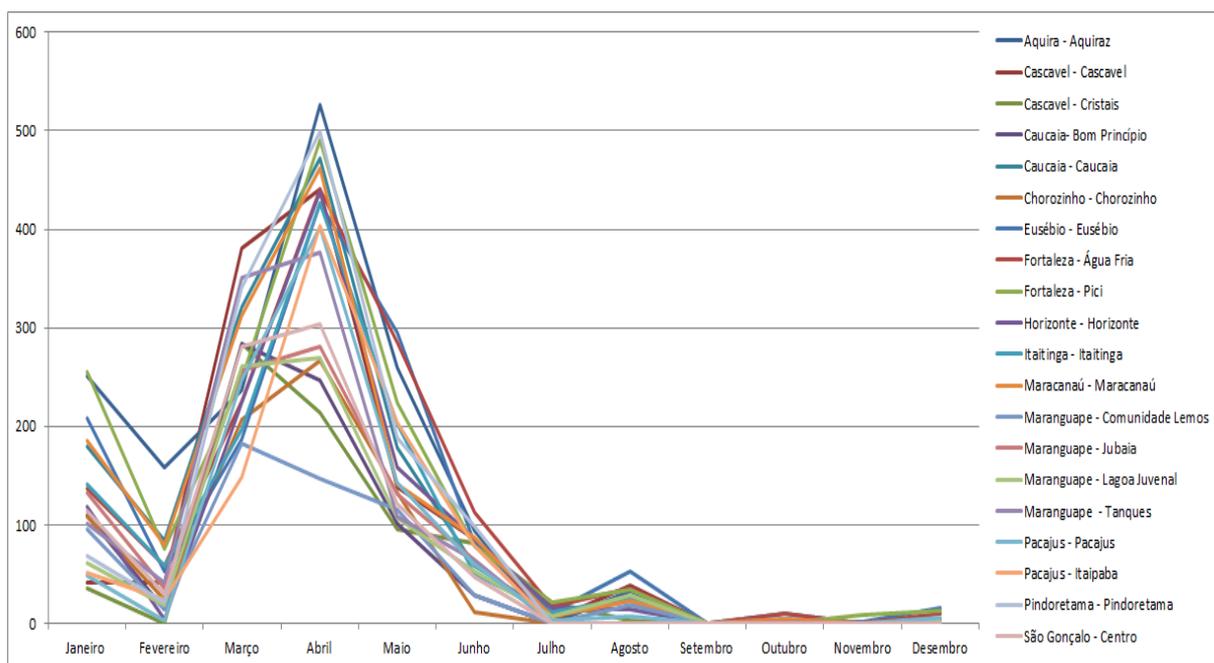
Após a organização e espacialização dos dados, estabeleceram-se correlações entre a temperatura do ar, pluviosidade e número de casos de dengue. Realizaram-se dois grupos de correlação para cada dupla de variável relacionada. Tanto nas correlações entre o número de casos de dengue e a precipitação, assim como da temperatura média do ar com os casos de dengue, foram calculadas sem e com o adiantamento de um mês no número de casos. O estudo de Lima (2003) para Fortaleza

encontrou correlações significativas com o adiantamento no número de casos. Procedeu-se dessa forma por acreditar-se que a precipitação e a temperatura do ar continuam influenciando a propagação do *Aedes aegypti* e da dengue, durante o mês seguinte. Considerando a escala municipal ocorreram correlações mensais entre as variáveis supracitadas para os quinze municípios da RMF, a fim de verificar estatisticamente a relação entre a incidência de dengue, de seus vetores e dos elementos do clima (temperatura do ar e precipitação).

Os cálculos foram realizados por meio do software SPSS 9.0 (*Statistical Package for the Social Sciences* - pacote estatístico para as ciências sociais). O método estatístico utilizado foi a “correlação de Pearson” que através de seu coeficiente pode-se estimar a força da relação entre duas variáveis, a um nível de significância de 0,05%.

A precipitação da RMF apresentou um ritmo sazonal de chuva caracterizado por um período seco no inverno e concentração de chuva no verão/outono resultado dos mecanismos de circulação atmosférica geradores de chuva no Nordeste. Estes mecanismos regionais garantem um comportamento anual similar da precipitação para a região, onde se verificam a cada ano um crescimento gradativo da precipitação a partir do mês de fevereiro, sendo raras exceções, tendo seu pico no mês de abril e decrescendo nos meses de maio e junho (Figura 2). Todavia o regime pluviométrico é bastante variável, podendo ocorrer anos de chuvas excessivas, como o ano de 2009, e anos com chuvas escassas como o de 2005 (MAGALHÃES; ZANELLA, 2011).

Figura 2 – Gráfico do total pluviométrico mensal dos postos pluviométricos da RMF



Para 2008, a atuação do Dipolo negativo associado a La Niña garantiu a precipitação no início da quadra chuvosa, entretanto a constituição de Dipolo positivo na maior parte do período chuvoso inibiu as chuvas nessa região, devido ao deslocamento da ZCIT para o norte da linha do equador, gerando um comportamento temporal da precipitação típico do Estado. Este ano apresentou oito postos com chuvas abaixo do habitual, dez postos com total normal de chuvas e dois postos acima do habitual. Os meses mais e menos chuvosos foram abril e setembro respectivamente, concentrando 79,2% entre fevereiro e maio, onde foi notificado o maior número de casos de dengue assim como os maiores índices de infestação predial. Verificou-se uma predominância de maiores totais pluviométricos na faixa litorânea da RMF, diminuindo à medida que se afasta do litoral. Sendo na porção leste do litoral da RMF onde se verificam os maiores registros de precipitação devido à

repercussão de sistemas causadores de precipitação provenientes de sistemas atuantes na faixa litorânea dos estados nordestinos a sudeste do Ceará, sejam associados com a ZCIT ou não. O município de Aquiraz concentrou significativa precipitação anual marcando para seu litoral isoietas acima de 1450 mm anuais (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Distribuição da precipitação da quadra chuvosa de 2008

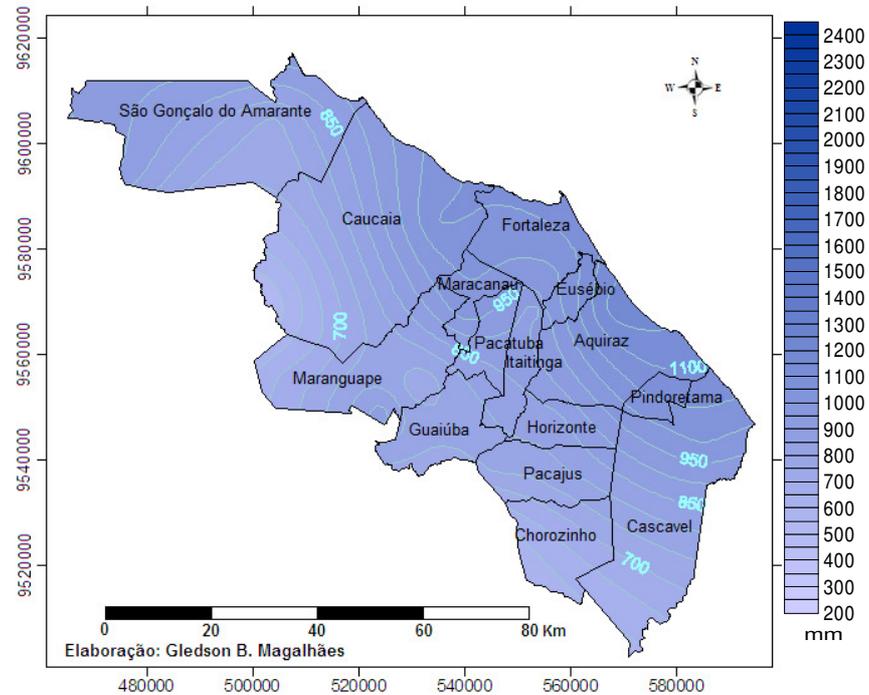
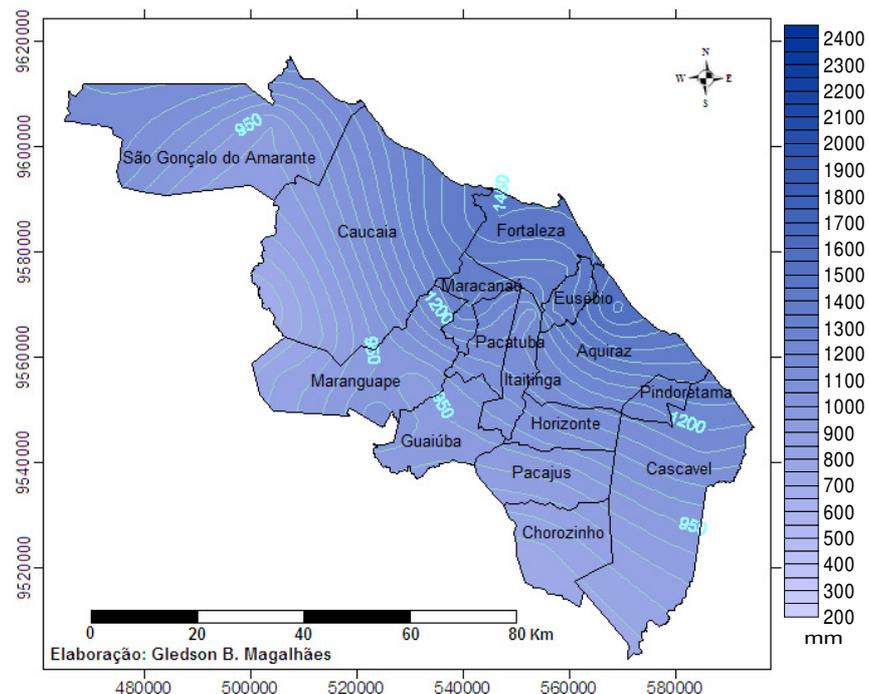


Figura 4 – Distribuição da precipitação no ano de 2008



Comparando as figuras 5 e 6, foi observado que as temperaturas mais elevadas tiveram uma expressão maior sob o território da RMF na estação chuvosa, período que corresponde ao verão, caracterizado por temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas. A maior diferença térmica na quadra chuvosa deve-se a influência da precipitação e do relevo local, caracterizado por enclaves úmidos (Maciços Residuais) como a Serra de Maranguape e de Pacatuba. Na quadra chuvosa as maiores médias de temperaturas do ar foram verificadas no litoral da RMF englobando boa parte do território dos municípios litorâneos e adentrando o município de Cascavel registrando temperaturas acima de 27 °C. Fora da quadra chuvosa verifica-se uma maior homogeneidade da temperatura do ar, onde na maior parte do território da RMF predomina médias de temperatura de 26,5 °C, as maiores temperaturas (acima de 27 °C) foram verificadas na porção sul de Cascavel e em um pequeno setor a sudoeste de São Gonçalo do Amarante.

Figura 5 - Espacialização da temperatura do ar na quadra chuvosa

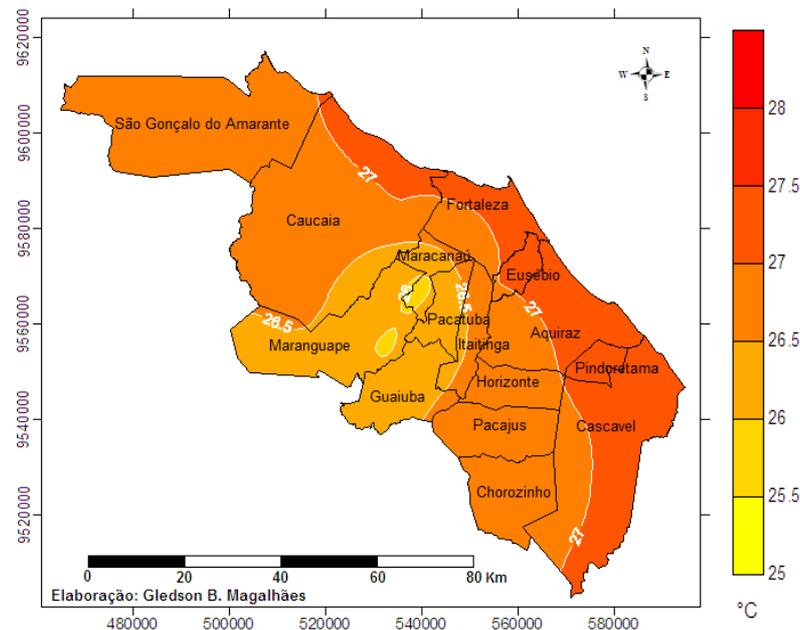
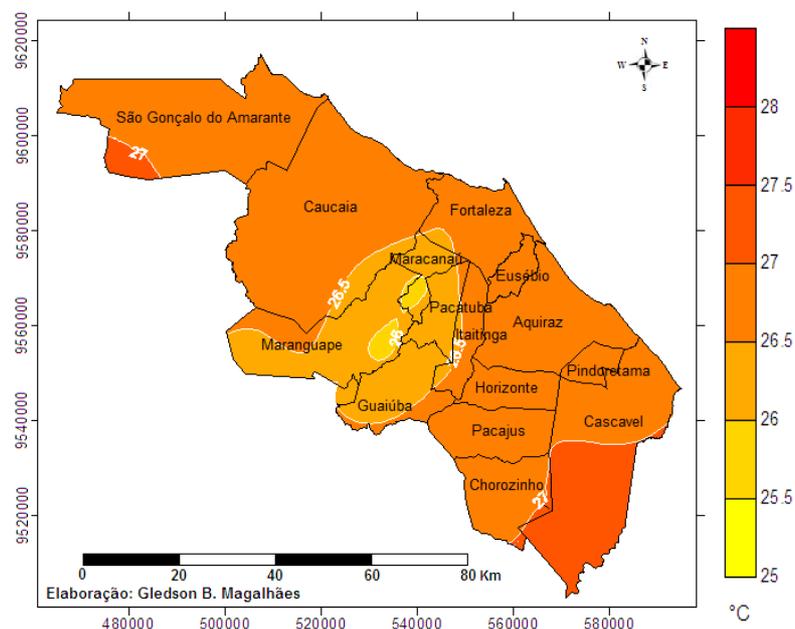


Figura 6 – Espacialização da temperatura do ar fora da estação chuvosa



Com base nos dados da SESA verificou-se que no ano de 2008, ocorreu a maior quantidade de casos de dengue na primeira década do século XXI, confirmando 36.120 casos, com maior número em Fortaleza, apresentando 33.845 casos e uma incidência de 1368,2, sendo a maior epidemia deste município entre os anos estudados. Fortaleza concentrou 93,7% dos casos da RMF, evidenciando que nem todos os municípios tiveram epidemia de dengue neste ano.

A maior quantidade de casos em todos os municípios ocorreu no primeiro semestre, representando ao todo 94,4% dos casos da RMF, com 80,6% ocorrendo na quadra chuvosa. O mês de abril concentrou a maioria dos casos exceto em Pindoretama que apresentou a maior quantidade de casos em maio. O mês com menos casos foi dezembro, registrando 137 casos dos quais 134 foram em Fortaleza e 3 em São Gonçalo do Amarante. Somente Fortaleza e Caucaia apresentaram acima de 500 casos. São Gonçalo do Amarante, Maracanaú e Cascavel tiveram acima de 100 casos (Figura 7a).

A menor quantidade de casos ocorreu em Pindoretama com 12 casos. Incidências acima de 300 foram verificadas em São Gonçalo do Amarante, Fortaleza e Cascavel (Figura 7b). Apenas Pacatuba apresentou IIP acima de 3 (Figura 7c). O município de São Gonçalo do Amarante, apesar de ter tido uma alta incidência de casos de dengue, apresentou um IIP abaixo de 1, mostrando que houve uma intensa circulação do vírus entre os mosquitos vetores da dengue, e devido a sua pequena população em relação aos outros municípios como Caucaia, Fortaleza e Maracanaú, apresentou menor número de casos.

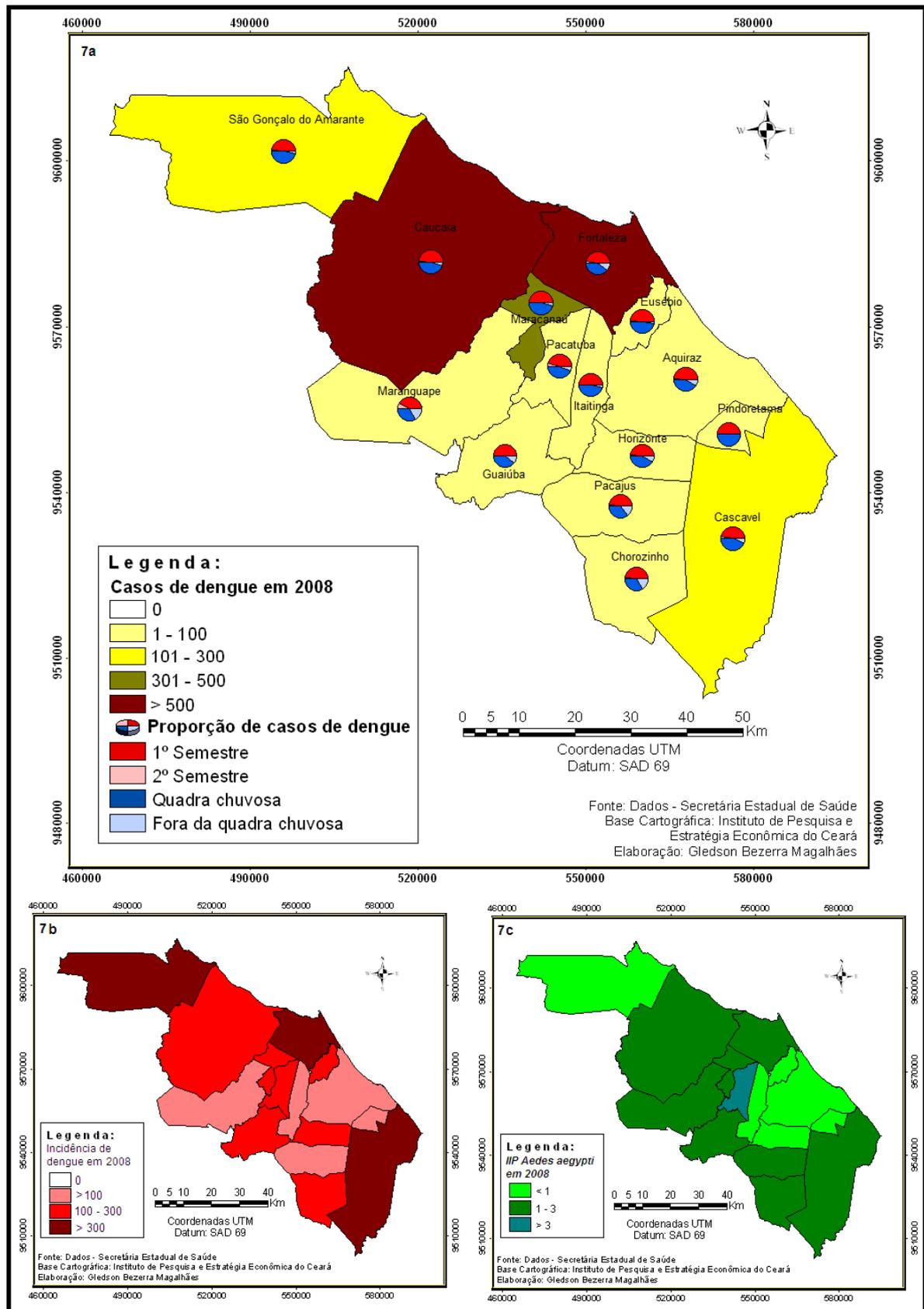
A grande quantidade de casos ocorrida no primeiro semestre de 2008, ocasionadas pelos sorotipos 2 e 3, principalmente na quadra chuvosa, seguiu o comportamento pluviométrico do ano, onde apesar da irregular distribuição espacial das chuvas, com postos marcando tipologia chuvosa a muito seco, teve um comportamento temporal habitual, com a concentração de chuvas no primeiro semestre e os maiores volumes na quadra chuvosa. A maior quantidade de casos em abril, assim como a evolução da infestação por *Aedes aegypti*, na maioria dos municípios condiz com as crescentes chuvas de fevereiro e março com picos pluviométricos em abril.

O número de correlações significativas entre casos de dengue e precipitação foram maiores nos cálculos sem defasagem de um mês no número de casos (11 municípios apresentaram associações significativas), todas elas apresentando valores positivos variando de moderada a muito alta. Nas correlações entre a temperatura do ar e os casos de dengue foi verificado 3 municípios com resultados significativos estatisticamente para os cálculos com e sem o adiantamento de um mês na quantidade de casos, entretanto com 2 municípios diferentes em cada tipo de relação. Todos os resultados tiveram valores negativos variando de correlações moderadas a muito fortes (Quadro 1).

De forma geral observa-se que as correlações entre número de casos de dengue e temperatura do ar, tiveram resultados negativos indicando uma relação inversamente proporcional. Entretanto, destaca-se que essa relação é fortemente influenciada pela precipitação, visto que, apesar das baixas amplitudes térmicas, as temperaturas mais altas se concentram entre os meses de novembro e fevereiro (com médias máximas alcançando 28,8°C), compreendendo o período de menores chuvas (novembro e dezembro) e início da quadra chuvosa (fevereiro). As mais baixas temperaturas variam entre abril a agosto, sendo os meses de junho e julho os mais frios (com médias mínimas entre 25,4 e 26,8 °C), e o período onde as chuvas decrescem e cessam. Dessa forma apesar das altas e baixas temperaturas ao longo do ano, suas variações mensais não são tão importantes no processo de infestação do *Aedes aegypti* e na propagação da dengue se considerar ela associada à precipitação. Isso por que a temperatura média do ar apresenta baixas amplitudes térmicas mensais, sendo as médias térmicas mensais mínimas e máximas ótimas para a proliferação do vetor da dengue, logo a precipitação torna-se o diferencial na dinâmica climática com a doença.

A maior quantidade de relações estatisticamente significativas verificou-se nas correlações entre a precipitação e os casos de dengue, nos cálculos sem o adiantamento de um mês no número de casos de dengue. Já as correlações entre a temperatura do ar e os casos de dengue apresentaram mais resultados significativos com o adiantamento de um mês nos casos de dengue. A variação de municípios que apresentaram resultados estatisticamente significativos a cada ano, nas correlações sem e com adiantamento de um mês nos casos de dengue, evidenciam a dinâmica inexata de dias que se criaram as circunstâncias favoráveis à propagação da doença até a confirmação de casos da mesma. Adotamos o adiantamento de 30 dias, como verificado no estudo de Lima (2003), entretanto esse número de dias pode ser maior ou menor, sendo impossível delimitar uma faixa de tempo precisa, devido à complexidade causal da doença.

Figura 7– Casos de dengue, incidência e infestação predial no ano de 2008



Quadro 1 – Correlações entre as variáveis climáticas e epidemiológicas

Ano de 2008	PRECIPITAÇÃO X CASOS				TEMPERATURA X CASOS			
	Sem adiantamento		Com adiantamento		Sem adiantamento		Com adiantamento	
	n. sig.	Correl.	n. sig.	Correl.	n. sig.	Correl.	n. sig.	Correl.
Aquiraz	0	0,935	0,071	0,593	0,816	-0,075	0,408	-0,278
Chorozinho	0,072	0,537	0,974	0,011	0,051	-0,575	0,003	-0,799
Cascavel	0,004	0,763	0,401	0,282	0,355	-0,293	0,091	-0,533
Eusébio	0	0,902	0,95	0,528	0,411	-0,262	0,269	-0,365
Fortaleza	0,791	0,002	0,387	0,29	0,027	-0,634	0,8	-0,55
Horizonte	0	0,957	0,184	0,432	0,452	-0,24	0,218	-0,404
Itaitinga	0,001	0,837	0,458	0,25	0,381	-0,278	0,168	-0,447
Pacajus	0,002	0,787	0,391	0,288	0,155	-0,438	0,008	-0,752
Pindoretama	0,023	0,649	0,27	0,421	0,635	-0,153	0,282	-0,357
Caucaia	0	0,921	0,008	0,749	0,564	-0,185	0,189	-0,428
São Gonçalo	0,075	0,532	0	0,921	0,446	0,243	0,69	-0,136
Guaiúba	0,007	0,733	0,002	0,822	0,829	-0,051	0,146	-0,357
Maracanaú	0	0,876	0,211	0,41	0,001	-0,814	0,036	-0,634
Maranguape	0,006	0,737	0,545	0,205	0,15	-0,442	0,054	-0,594
Pacatuba	0	0,91	0,317	0,333	0,269	0,347	0,236	-0,39

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de técnicas de geoprocessamento e geoestatística se mostram de suma importância nos estudos ecológicos em epidemiologia, pois proporcionam uma visão espacial dos dados ao longo do tempo, como pode ser observado no estudo de acaso utilizado. Há também a possibilidade de análises estatísticas entre as variáveis, como correlações e estimativas.

A respeito do estudo de caso observou-se que a espacialidade da incidência da dengue na RMF evidencia sua estreita relação com as áreas de maior infestação do *Aedes aegypti*. Apesar do estudo não verificar relação entre a incidência da dengue e da infestação do seu vetor com a porção mais quente da RMF e nem com as maiores temperaturas anuais, ressalta-se que tanto as mais baixas temperaturas como as mais altas são ótimas para a proliferação do mosquito, fato favorecido pelas baixas amplitudes térmicas mensais. Ao se traçar o perfil de transmissão da dengue na RMF, percebe-se que o aumento da infestação de *Aedes aegypti* ocorre com o aumento das precipitações pluviométricas, onde a maior concentração de casos se concentra na quadra chuvosa.

Mesmo com a verificação de mais casos de dengue nos meses mais frios, evidenciada tanto na análise dos quadros e gráficos, como pelas correlações negativas, afirma-se que as temperaturas mensais da RMF são favoráveis à proliferação do mosquito e da doença. A temperatura do ar assume um papel essencial à propagação da dengue, mesmo que sua amplitude mensal seja pequena o suficiente para não evidenciar uma relação positiva com a dengue, acredita-se que as temperaturas mais elevadas na região favorecem mais a proliferação do *Aedes aegypti*. A relação aparentemente inversa da temperatura do ar com os casos de dengue ocorre devido à ação da precipitação, que com atuação mais incisiva temporalmente, acaba se sobressaindo em relação à temperatura, fato facilitado pelas baixas amplitudes térmicas mensais.

Pode-se encontrar perfis epidemiológicos diferenciados espacial e temporalmente, devido às singularidades de cada lugar, com características específicas dos diversos condicionantes que estão envolvidos na transmissão da dengue. A existência de perfis epidemiológicos distintos também pode ocorrer simultaneamente em alguns municípios, exigindo estratégias que levem em conta o contexto amplo em que está inserida a doença e as especificidades de cada localidade.

Mesmo com a complexidade e aleatoriedade, impedindo um padrão comportamental da dengue, ela é previsível sazonalmente. O entendimento da variabilidade pluviométrica e do padrão espaço-temporal da chuva assim como do perfil térmico da atmosfera, ajudam a prever o comportamento da dengue.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. L. T. e SZWARCOWALD C. L. Análise espacial da mortalidade neonatal precoce no Município do Rio de Janeiro, 1995-1996. **Cadernos de Saúde Pública**, v.17, nº 5, p. 1199-1210, 2001.
- ARANGO, H. G. **Bioestatística: teórica e computacional**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. 423p.
- BARCELLOS, C.; BASTOS, F.I. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível? **Cadernos de Saúde Pública**, nº 12, v. 3, p. 389-397, 1996.
- BARCELLOS, C.; SANTOS, S.M. Colocando dados no mapa: a escolha da unidade Espacial de agregação e integração de bases de dados em saúde e ambiente através do geoprocessamento. **Informe Epidemiológico do SUS**. v. 6, nº 1, p. 21-29. 1997.
- BARCELLOS, C., BARBOSA, K.C., PINA, M.F., MAGALHÃES, M.M.A.F., PAOLA, J.C.M.D., SANTOS, S.M. Interrelacionamento de dados ambientais e de saúde: Análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 14, nº 3, p. 597 – 605, 1998.
- BARRERA, R.; DELGADO, N.; JIMÉNEZ, M.; VLLALOBOS, I.; ROMERO, I. Estratifificación de una ciudad hiperedémica em dengue hemorágico. **Revista Panamericana de Salud Publica**, Washington, US, v. 8, p. 255-233, 2000.
- BAKONYI, S. M. **Poluição do ar e doenças respiratórias em Curitiba/PR**. (Dissertação de Mestrado). Paraná: UFPR - Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2003. 198p.
- BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTÍNEZ, F. **Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 254p.
- CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2ª ed. São Paulo: INPE, 1998.
- CASTRO, S. S., ALMEIDA, A. L. J., GOMES, J. O. Mortalidade Infantil e Exclusão Social em Presidente Prudente. **Estudos Geográficos**, v. 1, nº 2, 2003.
- CORDEIRO, R. **PART ou Epidemiologia dos Acidentes do Trabalho em Botucatu**. Faculdade de Saúde Pública, FMB/UNESP/Botucatu, 2001.
- CORDEIRO, R. **Diagnóstico e Controle de Acidentes do Trabalho em Piracicaba**. Faculdade de Saúde Pública, FMB/UNESP/Botucatu, 2002.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004
- FORATTINI, O.P.; GOMES, A.C.; GALATI, E.A.B.; RABELLO, E.X.; IVERSON, L.B. Estudos ecológicos sobre mosquitos Culicidae no sistema da Serra do Mar, Brasil. **Rev. Saúde Pública**, nº 12, p. 476-96, 1978.
- GLUBER, D. J. The global emergence/resurgence of arboviral diseases as public health problems. **Archives of medical research**, México, DF, v. 33, nº 4, p. 330-342, 2002.
- HAIR, J. F.; TATHAM, R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. 6ª ed. São Paulo: Artmed, 2009.
- LANA, R. M. **Projeto de epidemiologia: estudos ecológicos**. (Projeto de Mestrado). Ouro Preto: UFOP - Núcleo de Pesquisas em Ciências Biológicas, 2008. 16p.
- LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 4ªed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. 638p.
- LIMA, F. J. P. B. **Evolução da Dengue em Fortaleza: análise de algumas variáveis**. Fortaleza: Gráfica Central, 2003. 55p.
- MAGALHÃES, G. B. ; ZANELLA, M. E. Comportamento climático da Região Metropolitana de Fortaleza. **Rev. Mercator**, v. 10, p. 129-145, 2011.
- MEDRONHO, R. A. **Geoprocessamento e saúde: uma nova abordagem do espaço no processo Saúde-Doença**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/CICT/NECT, 1995. Série Política da Saúde.

MEDRONHO, R. A. **Avaliação do Método Geoestatístico na Distribuição Espacial da Hepatite A.** (Tese de Doutorado). Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, 1999.

NAKHAPAKORN K, TRIPATHI N. An information value based analysis of physical and climatic factors affecting dengue fever and dengue haemorrhagic fever incidence. **Int J Health Geogr**, p. 4-13, 2005.

PINHEIRO, R. S., TRAVASSOS, C., GAMERMAN, D. Mercados hospitalares em área urbana: uma abordagem metodológica. **Cad. Saúde Pública**, v.17, nº 5, p.1111-1121, 2001.

SANTOS, S. M.; NORONHA, C. P. Padrões espaciais de mortalidade e diferenciais sócio-econômicos na cidade do Rio de Janeiro. **Cad. Saúde Pública**, v.17, nº 5, p.1099-1110, 2001.

SANTOS, S. M.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. **Conceitos básicos de sistema de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde.** Brasília: Organização Pan-americana de Saúde / Ministério da Saúde, 2000, 122p.

SEONE, C. H. L.; WÜNSCH FILHO, V. Mortalidade por leucemias relacionada à industrialização. **Rev. Saúde Pública**, v. 36, nº 4, São Paulo, 2002.

SCHREIBER, K. V. **An investigation of relationships between climate and dengue using a water budgeting technique.** USA: Int J Biometeorol, p.81-89, 2001.