

Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/3: 561-573
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MODELAGEM GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS AO CONTÁGIO POR DOENÇAS RELACIONADAS A FALTA DE SANEAMENTO: O CASO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS

Geospatial Modeling for Identifying Vulnerable Areas to Contagious Diseases Related to Lack of Basic Sanitation: the case of Metropolitan Region of Campinas

**Danilo Mangaba de Camargo¹, Nagela Martins Souza²,
Têhrie Caroline König Ferraz Pacheco³, Gustavo Casteletti Alcântara²
& Ednelson Mariano Dota⁴**

¹Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente
Avenida 24 A, nº 1515. CEP: 13506-900. Rio Claro – SP, Brasil
danilo.mangaba@gmail.com

²Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUCAMP
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia - Faculdade de Geografia
Rodovia Dom Pedro I, Km 136, s/n - Parque das Universidades CEP: 13086-900, Campinas – SP, Brasil
nagela_ms@hotmail.com, gccasteletti@gmail.com

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Av. dos Astronautas, nº 1758 – Jardim da Granja CEP: 12227-010 São José dos Campos-SP, Brasil
tehriekonig@hotmail.com

⁴Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. Fernando Ferrari, nº 514 – Goiabeiras CEP: 29075-910 Vitória-ES, Brasil
ednelson.dota@ufes.br

Recebido em 13 de Maio, 2016/ Aceito em 19 de Janeiro, 2017
Received on May 13, 2016/ Accepted on January 19, 2017

RESUMO

A acelerada urbanização pela qual os países subdesenvolvidos enfrentaram a partir da década de 1960 acarretou, à esses adensamentos populacionais, precariedade habitacional e de abastecimento de água e esgoto. Esta precariedade, por sua vez, aumentou diretamente o risco dos indivíduos contraírem doenças infectocontagiosas ou, como aqui é chamado, doenças sanitárias. No Brasil, admite-se que os investimentos em saneamento básico ainda se mostram insuficientes, de modo que a realidade aqui descrita ainda se faz presente. Por isso, partiu-se da premissa de que investimentos, para serem bem alocados, precisam levar em conta características socioterritoriais mais facilmente detectadas com a ajuda dos métodos da modelagem geoespacial em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A saber, este trabalho fez uso dos métodos de Análise Hierárquica do Processo (AHP) e Álgebra de Mapas, usando como recorte espacial a Região

Metropolitana de Campinas (RMC) e, como dados de apoio, o Censo Demográfico de 2010. Como resultado obteve-se um mapa da região apresentando índices de vulnerabilidade da população ao contágio dessas doenças em diferentes porções do território, sendo observado o município de Campinas como o único a apresentar alta vulnerabilidade, sobretudo nas porções do território cortadas pelas rodovias Anhanguera e Bandeirantes. Além disso, a fim de verificar a consistência dos resultados, calculou-se a taxa de internação por doença infectocontagiosa em 2010 por município, de modo que os municípios de Hortolândia, Jaguariúna e Santo Antônio de Posse, que apresentaram média vulnerabilidade, mostraram maiores taxas de internação. Por outro lado, Holambra, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste, municípios de muito baixa vulnerabilidade, demonstraram taxas de internação três vezes menores que os municípios anteriormente citados.

Palavras chave: Modelagem Geoespacial, Vulnerabilidade, Doenças Sanitárias, Sistema de Informação Geográfica, Região Metropolitana de Campinas.

ABSTRACT

Accelerated urbanization in which underdeveloped countries face from the 1960's decade brought, to these high density population, housing precariousness and precariousness of water supply and sewage. This precariousness, in turn, increased the risk of people contracting contagious infectious diseases or, as is called here, sanitary diseases. In Brazil, it is assumed that investments in sanitation still are insufficient, so that the reality described here is still present. Therefore, started from the premise that investments, to be applied correctly, needed to take into account socio-territorial characteristics more easily detected with the help of the methods of geospatial modeling in Geographic Information Systems (GIS). Namely, this work made use of the methods of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Algebra Maps, using as spatial area the Metropolitan Region of Campinas (RMC) and, as supporting data, the Census 2010. As a result was obtained a map of the region showing the vulnerability of the population to infection of these diseases in different portions of the territory, it was observed the city of Campinas is the one to be at high risk, especially in parts of the territory crossed by Anhanguera and Bandeirantes highways. Besides, to verify the consistency of results, it was calculated the hospitalization rate due to contagious infectious disease in 2010 by city, so that the municipalities of Hortolândia, Jaguariúna and Santo Antonio de Posse, with a medium vulnerability, showed higher hospitalization rates. In other side, Holambra, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste, very low vulnerability municipalities, showed hospitalization rates three times smaller than the municipalities mentioned above.

Keywords: Geospatial Modeling, Vulnerability, Sanitary Disease, Geographic Information System, Metropolitan Region of Campinas.

1. INTRODUÇÃO

O período iniciado a partir da década de 1960 foi marcado pela intensificação dos fluxos migratórios do campo em direção a cidade, acarretando um processo acelerado de urbanização, de modo que países subdesenvolvidos nem sempre possuíam preparo para atender essas novas demandas emanadas pelos fluxos de migrantes. No Brasil tal processo pôde ser verificado com maior intensidade, sobretudo, a partir da década de 1970, quando o modelo adotado implicou na urbanização do território em detrimento da urbanização da sociedade (SANTOS, 1993). Mais recentemente, vê-se que a continuidade do processo tem sido materializada territorialmente pelo surgimento de diversos loteamentos mais ou menos distantes das zonas centrais dos municípios e com déficit quanto às questões de infraestruturas para o atendimento e suporte das condições de vida

de suas populações (CANDOLETTA & SILVA NETO, 2015). Sendo em casos extremos, intitulado de hiperperiferia (TORRES *et al.*, 2005), devido ao acúmulo de carências a que são expostas as pessoas nestas áreas.

Neste contexto, parte importante dos habitantes dessas aglomerações sofriam com a precariedade de habitação ou a falta de abastecimento de água e esgoto (TAUIL, 2001; BARATA, 1997). Mesmo atualmente, publicações da Associação Brasileira de Infraestrutura e Indústrias de base (ABDIB) reconhecem que os investimentos do país em saneamento básico ainda são insuficientes para a real necessidade da população, de modo que

[...] entre as mazelas resultantes da inação, estão os índices ruins de acesso aos serviços de água e esgoto e uma elevada incidência de doenças derivadas das condições ruins de atendimento (ABDIB, 2010, p. 2).

Dentre outros inconvenientes, o não atendimento a condições básicas de saneamento acarreta na exposição direta de indivíduos a situações de risco, sobretudo em relação a doenças infectocontagiosas. Nesse sentido, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), apresenta uma lista de doenças relacionadas ao saneamento básico, ou seja, doenças que são transmitidas por meio da ingestão de água contaminada, contato com resíduos ou solos contaminados, ou a partir de parasitas ou mosquitos que são atraídos para locais com presença de esgotos à céu aberto, resíduos sólidos, rios poluídos, entre outros. Desta lista, destacam-se: amebíase, ancilostomíase, ascariíase, cisticercose, cólera, dengue, diarreia, desinterias, elefantíase, esquistossomose, febre amarela, febre paratifoide, febre tifoide, giardíase, hepatite, infecções na pele e nos olhos, leptospirose, malária, poliomielite, teníase e tricuriase (SANEPAR, 2015).

Para que se reduzam os casos dessas enfermidades, faz-se necessário oferecer à população o acesso a água de boa qualidade, além de garantir o tratamento adequado do esgoto, a destinação e tratamento do lixo, drenagem urbana, instalações sanitárias adequadas e promoção da educação sanitária, entre outras ações (SANEPAR, 2015). Entende-se, pois, que o oferecimento desses tipos de serviços públicos passa pelo investimento em infraestruturas territoriais no intuito de reduzir a carência dos mesmos, visando, em última análise, a melhoria das condições de vida e habitação nos centros urbanos. Não obstante, deve-se ter a clareza de que tais investimentos decorrem, sobretudo, de linhas de financiamento públicas, de modo que, o reconhecimento de áreas prioritárias para sua implantação é dever ético e social por parte da governança encarregada de seu planejamento e gestão.

Oliveira e Nascimento (2009, p. 116) indicam que

[...] o estudo de aglomerados de doenças e identificação das áreas geográficas com risco elevado oferece a possibilidade de iniciativas mais eficazes para o controle de doenças.

Desse modo, parte-se do pressuposto de que a utilização combinada dos dados disponibilizados pelo IBGE, a partir do Censo Demográfico de 2010, e das ferramentas

de Geoprocessamento, disponibilizadas nos softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem viabilizar o mapeamento das áreas mais vulneráveis às doenças sanitárias, o que favorece o planejamento público a partir da alocação de investimentos onde existam as demandas de infraestrutura e de saneamento.

O conceito de vulnerabilidade aqui adotado a entende como uma função da preexistência de condições materiais e sociais (TOBIN & WHITEFORD, 2012; WISNER *et al.*, 2003). Em suma, refere-se às características de uma pessoa, ou grupo, que inviabilizam a sua capacidade de antecipar e, uma vez antecipando, prevenir-se de algum tipo de situação que lhes seja danosa (WISNER *et al.*, 2003). Deste modo, o conceito de vulnerabilidade permite abranger não apenas os perigos naturais, mas também os sociais e os tecnológicos (MARANDOLA JÚNIOR.; HOGAN, 2005). Em outras palavras,

Pessoas vulneráveis são pessoas relativa ou absolutamente incapazes de proteger seus próprios interesses. De modo mais formal, podem ter poder, inteligência, educação, recursos e forças insuficientes ou outros atributos necessários à proteção de seus interesses (Diretrizes Éticas Internacionais de Pesquisa, 2002 apud ARÁN; PEIXOTO JÚNIOR, 2007, p. 850).

No escopo desse trabalho, a vulnerabilidade às doenças refere-se à rarefação ou inexistência de infraestruturas territoriais, mais especificamente ligadas ao saneamento básico, de modo que essa carência propicie condições para o incremento da possibilidade de contágio por doenças infecto-parasitárias ligadas a essas condições. O objetivo é, portanto, identificar as áreas mais vulneráveis ao contágio de doenças a partir da infraestrutura básica na Região Metropolitana de Campinas (RMC). Essa identificação foi realizada utilizando-se dos métodos de análise espacial e de modelagem de dados geográficos, a saber, a Análise Hierárquica do Processo (AHP) e a álgebra de mapas em software de SIG.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a região metropolitana de Campinas. O mapa apresentado na Figura 1 ilustra a localização geográfica da região e os municípios que a compõe.

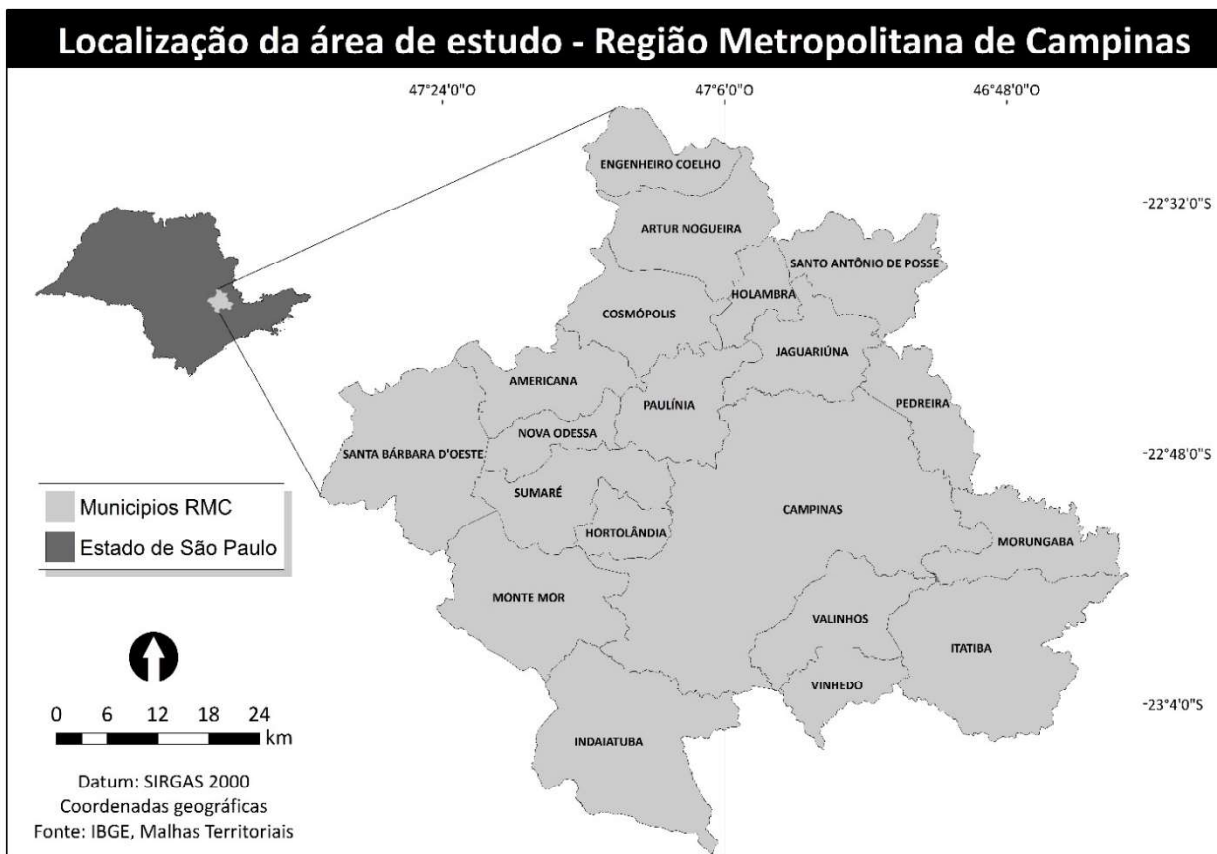


Fig. 1 - Mapa da localização geográfica da RMC.

A RMC foi institucionalizada no ano 2000, com 19 municípios, e apenas em 2014 o município de Morungaba passou a fazer parte da região, totalizando o grupo de 20 municípios desde então. Dota e Camargo (2015) apontam, contudo, que já na década de 1970 começaram a emergir os primeiros fenômenos socioespaciais que deram forma a essa região.

O processo motor do desenvolvimento da RMC foi a descentralização da indústria paulistana, de sorte que, no desenrolar desse processo no entorno de Campinas, município-sede e polo regional, foi constituída uma importante aglomeração urbana. Além disso, esses municípios circundantes estabeleceram uma importante base econômica, expressivamente dinâmica tanto na indústria quanto na agricultura (BAENINGER, 2001).

Notadamente, a RMC tem se firmado como um dos principais polos do país. De acordo com dados da fundação SEADE (2015) a RMC passou, em um período de 10 anos (2000 – 2010), por um crescimento absoluto de 471.619 do número de seus habitantes, chegando a uma população total em 2010 de 2.804.607 o que representa aproximadamente 6,8% da

população do Estado de São Paulo. Esses dados abrangem também a população de Morungaba no ano de 2010, levando em conta que, apesar do mesmo ter se integrado a RMC somente no ano de 2014, o município tem sido considerado no conjunto deste trabalho. Cabe ressaltar que dos 2.804.607 habitantes da RMC em 2010, 73% deles habitavam áreas urbanas. (SEADE, 2015).

Considerando o histórico da RMC, pode-se vislumbrar as problemáticas relacionadas a infraestrutura e, sobretudo, ao saneamento básico oferecido à população que ali se consolidou (TAUIL, 2001). A Tabela 1 apresenta o percentual dos domicílios particulares permanentes da RMC quanto ao nível de abastecimento de água, coleta de lixo e tratamento de esgoto.

Genericamente, é possível notar que, das variáveis adotadas (água, lixo e esgoto), no que se refere à coleta de lixo, todos os municípios da RMC se encontram em um nível satisfatório, tendo no geral 99% de seus domicílios atendidos por esse serviço. O dado que apresenta as piores taxas, no entanto, é o de tratamento de esgoto, em que municípios como Hortolândia, Monte Mor e Santo Antonio de Posse possuem respectivamente, apenas 36,9%, 54,3% e 61% de domicílios atendidos.

Tabela 1: Níveis de abastecimento de água, coleta de lixo e tratamento de esgoto por município da RMC (%)

Município	Água	Lixo	Esgoto
Americana	98,3	99,9	98,4
Arthur Nogueira	97,8	99,9	96,3
Campinas	98,9	99,8	87
Cosmópolis	98,4	99,9	94,7
Engenheiro Coelho	97,7	99,7	97,1
Holambra	90,9	99,7	88,5
Hortolândia	98,2	99,7	36,9
Indaiatuba	95	99,7	94,1
Itatiba	99,2	99,9	97,7
Jaguariúna	96	99,6	90,1
Monte Mor	95,5	98,9	54,3
Morungaba	93,2	99,7	88,3
Nova Odessa	98,6	99,9	96,9
Paulínia	97,5	99,3	90,3
Pedreira	97,7	99,7	95,2
Santa Bárbara d'Oeste	99,5	99,9	98,6
Santo Antonio de Posse	97,9	99,9	61
Sumaré	98	99,7	93,8
Valinhos	94,6	99,9	92,4
Vinhedo	96,4	99,6	83

Fonte: SEADE (2010).

A partir da média das três variáveis - abastecimento de água, coleta de lixo e tratamento de esgoto - foi possível estabelecer um padrão hierárquico entre os municípios de acordo com a quantidade de serviços sanitários que lhes são supridos, conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 2.

Observa-se na Figura 2 que Santa Bárbara d'Oeste se constitui como o município que possui melhor colocação na região metropolitana, com 99,5% da população tendo acesso ao abastecimento de água, 99,9% do total de lixo coletado e 98,6% do esgoto tratado, totalizando a média de 99,3% de domicílios atendidos pelos três serviços. Em seguida, tem-se o município de Americana, com dados de 98,3% para abastecimento de água, 99,9% para coleta de lixo e 98,4% para o tratamento de esgoto, sendo a média de 98,9%. O município de Itatiba possui a mesma média que Americana, porém, a porcentagem no que se refere ao tratamento

de esgoto é de 97,7%, estando abaixo do valor apresentado pelo município anterior; seus níveis de abastecimento de água e tratamento de esgoto são, respectivamente, de 99,2% e 99,9%.

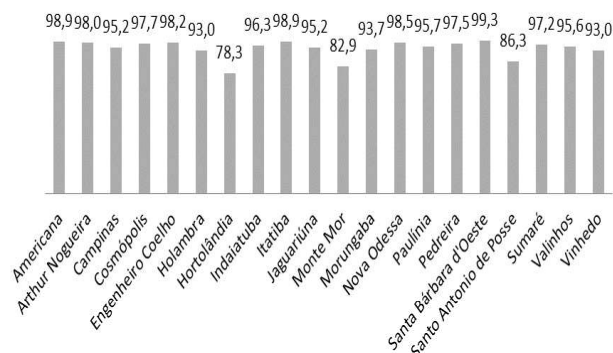


Fig. 2 - Média dos níveis de abastecimento de água, coleta de lixo e tratamento de esgoto por município da RMC (%). Fonte: SEADE (2010).

O município de Campinas aparece classificado em 13º posição de acordo com sua média, apresentando dados de 98,9% para o abastecimento de água, 99,8% para a coleta de lixo e 87% para o tratamento de esgoto.

Os três municípios com pior desempenho nesse ranking são Santo Antônio de Posse, Monte Mor e Hortolândia. O primeiro município tendo 97,9% de abastecimento de água, 99,9% de coleta de lixo e 61% do tratamento de esgoto; Monte Mor com valores de 95,5%, 98,9% e 54,3% respectivamente; e Hortolândia com 98,2%, 99,7% e 36,9%, com as variáveis na mesma ordem.

Os dados da Tabela 1 e da Figura 2 possibilitam a sistematização de um panorama geral da condição de saneamento básico em escala regional. Destaca-se, entretanto, que a média de valores para uma região tão complexa como a RMC, pode mascarar facetas da realidade. Tal perspectiva assenta-se na formulação de Ramos *et al.* (2007) de que nos espaços intraurbanos brasileiros existem verdadeiras áreas de terra incógnita, o que justifica a necessidade nesse plano de estudo, de observar a questão em um nível maior de desagregação dos dados, ou seja, analisar as condições de saneamento em unidades territoriais menores do que a área de um município. Busca-se com isso, desvelar lugares no espaço intraurbano em que as condições de saneamento não estejam sendo adequadamente

atendidas, embora em nível municipal, essas condições apresentem relativamente bons percentuais de atendimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas foram divididas em dois subitens a fim de propiciar uma melhor descrição. As etapas definidas foram: pré-processamento, que compreende a coleta e tratamento dos dados, e processamento, que considera a modelagem dos dados através da AHP e da álgebra de mapas.

3.1 Pré-Processamento

Os dados utilizados para o mapeamento da vulnerabilidade das áreas às doenças provenientes da falta de saneamento e infraestrutura básica (SANEPAR, 2015) na RMC, foram obtidos do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), mais especificamente da base de setores censitários. Segundo o IBGE (2010), um setor censitário consiste em uma unidade operacional de coleta, a qual é estabelecida para fins de controle cadastral, formada por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios que permitam o levantamento por um recenseador. A escolha dos setores censitários se justifica por ser o menor recorte espacial disponível, permitindo, portanto, maior precisão nas análises. O banco de dados projetado para essa pesquisa foi constituído de dados espaciais com as malhas territoriais contendo os limites administrativos dos municípios da RMC, bem como os limites de seus setores censitários. Além disso, foram adicionados dados alfanuméricos das variáveis censitárias que consideram as características do entorno domiciliar, indicando evidências para a compreensão do atendimento das questões sanitárias na região. O Quadro 1 apresenta as variáveis censitárias utilizadas no estudo, e estas se referem à planilha Entorno01 do Censo Demográfico de 2010.

No Quadro 1, as variáveis marcadas como “existentes”, referem-se a domicílios e seus entornos em que, na data de referência da pesquisa, foram verificadas a existência dessas situações. Por exemplo, as variáveis V008, V010 e V012 apresentam o volume de domicílios que possuíam iluminação pública em seu entorno. De modo oposto, as variáveis V009, V011 e V013,

correspondem ao volume de domicílios que não eram atendidos por este serviço.

A escolha dessas variáveis censitárias (Quadro 1) para a presente pesquisa está relacionada ao objetivo de identificação das áreas com maior propensão ao contágio às doenças relacionadas com as condições sanitárias do território. Para tanto, variáveis mais amplas também foram incluídas, de modo a alcançar dados sobre as infraestruturas básicas para uma vida digna nas áreas urbanas. A existência ou não de iluminação pública, por exemplo, está fortemente relacionada ao grau de atuação da governança na área. A pavimentação das ruas e a presença de calçadas auxiliam o escoamento das águas pluviais através das canaletas formadas entre a rua e a calçada, além de facilitar a locomoção cotidiana. A questão da arborização relaciona-se com os microclimas locais, impactando a possível formação de ilhas de calor que, associadas a outros fatores, podem auxiliar a propagação de vetores deste tipo de doença. A presença de esgoto a céu aberto, assim como lixo acumulado nas ruas, são fatores primordiais para a propagação desse tipo de moléstia. Por fim, a existência da rede geral de distribuição de água vai influenciar na qualidade da água recebida, no armazenamento da mesma e na utilização pela população. Entende-se, pois, que as variáveis utilizadas, de modo combinado, podem compor um indicador quanto ao grau de vulnerabilidade ao adoecimento.

Quadro 1: Variáveis censitárias utilizadas

Variável-Síntese	Existente	Inexistente
Iluminação pública	V008/V010/ V012	V009/V011/ V013
Pavimentação	V014/V016/ V018	V015/V017/ V019
Calçamento	V020/V022/ V024	V021/V023/ V025
Arborização	V044/V046/ V048	V045/V047/ V049
Esgoto a céu aberto	V050/V052/ V054	V051/V059/ V061
Lixo acumulado	V056/V058/ V060	V057/V059/ V061
Rede geral de distribuição de água	V062	V063

Fonte: Censo IBGE (2010).

Na sequência, foi calculado a proporção de atendimentos de cada uma das variáveis (Quadro 1) para todos os setores censitários. A partir disso, os resultados foram agrupados em quatro classes de vulnerabilidade da seguinte maneira, de acordo com análise exploratória dos dados:

- 0% - Vulnerabilidade muito baixa;
- 1-30% - Vulnerabilidade baixa;
- 30-50% - Vulnerabilidade média;
- Acima de 50% - Vulnerabilidade alta.

Ressalta-se que, para efeito desse agrupamento, foi utilizada a seguinte fórmula (1)

$$\frac{I}{E} * 100 \quad (1)$$

onde I é a quantidade de domicílios não atendidos em cada setor e E é a quantidade de domicílios atendidos em cada um dos setores.

No total, para o Censo de 2010, foram estabelecidos 4.242 setores censitários para a RMC, todavia, no presente estudo, apenas 3.613 (85,17%) foram considerados válidos para essa

aplicação. Essa redução se deu pelo fato de que não foram computados os setores com situação diferente de urbana, conforme a delimitação do IBGE, assim como também, os setores em situação urbana, mas que não contavam com valores coletados para uma ou mais variáveis sintéticas, garantindo assim isonomia entre os setores estudados. Por fim, foram elaborados sete mapas de evidência, um para cada variável síntese, para utilização posterior no procedimento de modelagem e álgebra de mapas. Estes mapas podem ser visualizados na Figura 3. Nesse ponto, o desenvolvimento do trabalho deparou-se com grande desafio da ciência da Geoinformação, que é a dificuldade de se representar em um modelo matemático-computacional, a complexidade inerente ao espaço geográfico (CAMARA; MONTEIRO; MEDEIROS., 2001). Dentro do paradigma atual considera-se que o espaço geográfico possa ser representado como objetos exatos (Geo-Objetos), em forma de arquivos vetoriais, ou como campos contínuos (Geo-Campos), no formato raster – matricial.

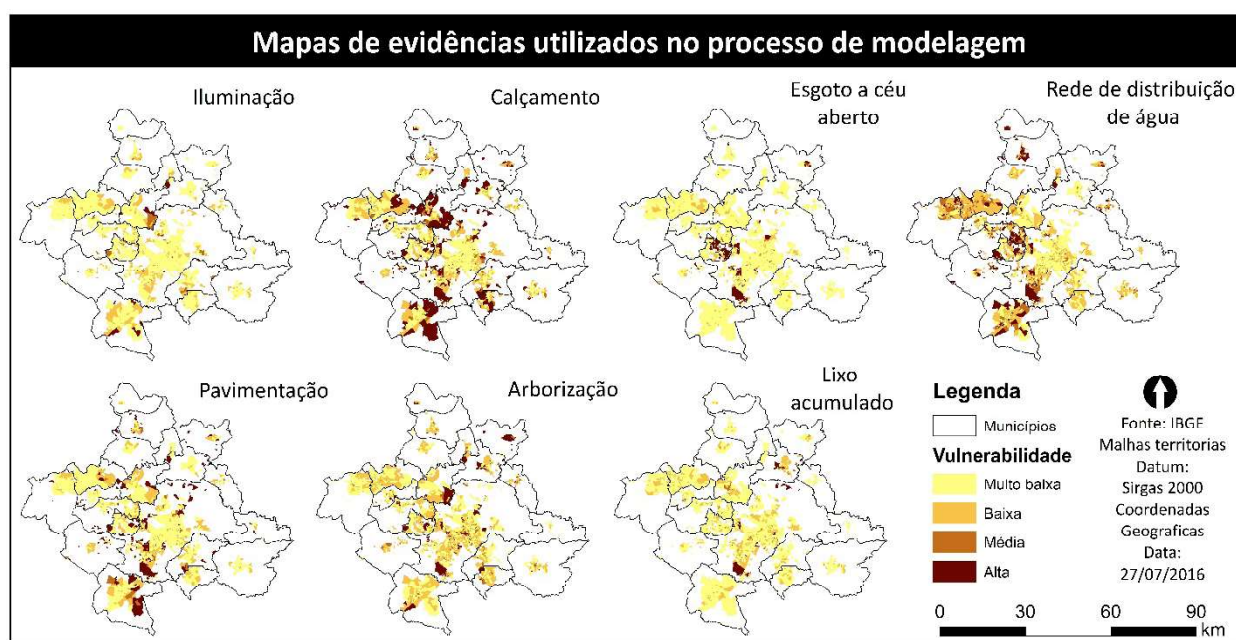


Fig. 3 - Mapas de evidências utilizados no processo de modelagem. Fonte: IBGE. Censo Demográfico de 2010.

Ocorre, no entanto, que grande parte dos procedimentos de análise espacial implementados em um software de SIG, utiliza dados no formato matricial para realização de seus algoritmos. Essa situação é emblemática nos procedimentos algébricos em dados de mapas, em que a

melhor forma de representação é a dos campos contínuos (FERREIRA, 2003; 2014), uma vez que, as operações são realizadas pixel a pixel. Foi necessária desse modo, a conversão dos dados por setores censitários (mapas de evidência) do formato vetorial para matricial e, a posteriori, sua

reclassificação em valores que variavam de 1 a 4 na escala de vulnerabilidade, sendo 1 = muito baixa; 2 = baixa; 3 = média e; 4 = alta.

3.2 Processamento

Tendo em mãos os sete mapas de evidência reclassificados e em formato matricial, procedeu-se com a etapa de processamento que teve início com a aplicação da metodologia AHP.

A metodologia AHP foi desenvolvida por Saaty em 1978 (INPE, 2005) sendo uma técnica de suporte à decisão, que se dá pela lógica de comparação pareada entre as variáveis que compõe o modelo do objeto em estudo.

Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores (INPE, 2005, *on-line*).

O critério de importância entre as variáveis é estruturado a partir de valores estabelecidos no Quadro 2.

A comparação entre as variáveis foi realizada no *software* QGIS 2.8.3 através de seu complemento *Easy AHP*. O Quadro 3 apresenta os valores informados para cada variável de modo a proceder com a análise pareada entre elas.

Os valores apresentados no quadro refletem a dominância de cada variável para o problema em questão, considerando sua importância relativa. A leitura do quadro aponta para uma hierarquização entre as variáveis que compõe o modelo, de sorte que, a variável esgoto a céu aberto apresenta importância igual a variável lixo acumulado, enquanto que de outro lado, a mesma variável, possui peso 4 quando comparada à iluminação pública, por exemplo. Após o preenchimento dos valores de dominância é calculado o vetor de prioridade ou vetor de Eigen, que é dado pelo produto de cada campo dividido pelo valor total da coluna, seguindo-se da média aritmética simples de cada linha. A Figura 4 apresenta o valor do vetor de prioridade (peso da variável) e sua proporção frente a problemática da vulnerabilidade a doenças sanitárias representada em forma de gráfico.

Quadro 2: Valores AHP para comparação pareada

Intensidade da importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada – Um fator é fortemente favorecido e sua importância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema – A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais

Quadro 3: Valores AHP para comparação pareada das variáveis-síntese

	Esgotamento a céu aberto	Lixo acumulado	Iluminação Pública	Rede de distribuição de água	Existência de arborização	Calçamento	Pavimentação
Esgotamento a céu aberto	1	1	4	4	6	5	5
Lixo acumulado	1	1	3	3	5	4	4
Iluminação Pública	0,25	0,333	1	0,333	4	5	5
Rede de distribuição de água	0,25	0,333	3	1	5	6	6
Existência de arborização	0,167	0,2	0,25	0,2	1	0,5	0,333
Calçamento	0,2	0,25	0,2	0,167	2	1	1
Pavimentação	0,2	0,25	0,2	0,167	3	1	1

Vê-se pelo gráfico apresentado (Figura 4) que as duas variáveis de maior peso foram a existência de esgotamento a céu aberto e a existência de lixo acumulado, representando juntas mais da metade da importância relativa sobre o fenômeno em questão, seguidas pela existência de rede de distribuição de água e ausência de iluminação pública. A variável com menor peso aferido é a existência de arborização, com o valor do autovetor de 0,033. Somadas as variáveis existência de calçamento, pavimentação e existência de arborização, que compõe um bloco dos valores mais baixos, tem-se 0,136 de importância relativa representada pelo autovetor. Vale salientar, contudo, que essa importância reflete uma relação hierárquica entre as variáveis e não uma relação quantitativa entre elas.

Terminada essa etapa passou-se para os procedimentos de álgebra de mapas. De acordo com Ferreira (2003), esse tipo de procedimento em SIG utiliza uma série de dados em forma de mapas constantes na base inicial (mapas de evidência) e cria um novo dado em forma de mapa com informações originais, não constantes na base inicial. Esse tipo de operação permite, a partir de uma série de mapas em formato *raster*, a execução de procedimentos algébricos comuns (soma, adição, subtração, multiplicação e divisão), álgebra booleana ou

mesmo a partir de lógica nebulosa (*fuzzy*). No entanto, é preciso ter a clareza de que:

Na produção de mapas de síntese na resolução de problemas espaciais através da combinação de vários mapas usando a álgebra de mapas é natural se pensar que todos eles não têm a mesma significância, e não podem ter a mesma significação (RAFFO, 2012, p.30).

Diante dessa constatação, uma alternativa é a ponderação dos valores nas operações algébricas, através dos pesos das variáveis frente o problema em questão. Esse tipo de procedimento ganha destaque em aplicações que consideram a complexidade inerente as interações entre as diversas dimensões espaciais e processos ambientais (MOURA, 2014; SAMIZAVA *et al.*, 2008). Frente a essa problemática, o modelo para inferência da vulnerabilidade foi estabelecido a partir da seguinte fórmula (2), considerando a operação de soma ponderada:

$$S = \sum V_i * P_i \quad (2)$$

onde S = vulnerabilidade a doenças sanitárias; V_i = mapa de evidência da i -ésima variável; P_i = peso da i -ésima variável;

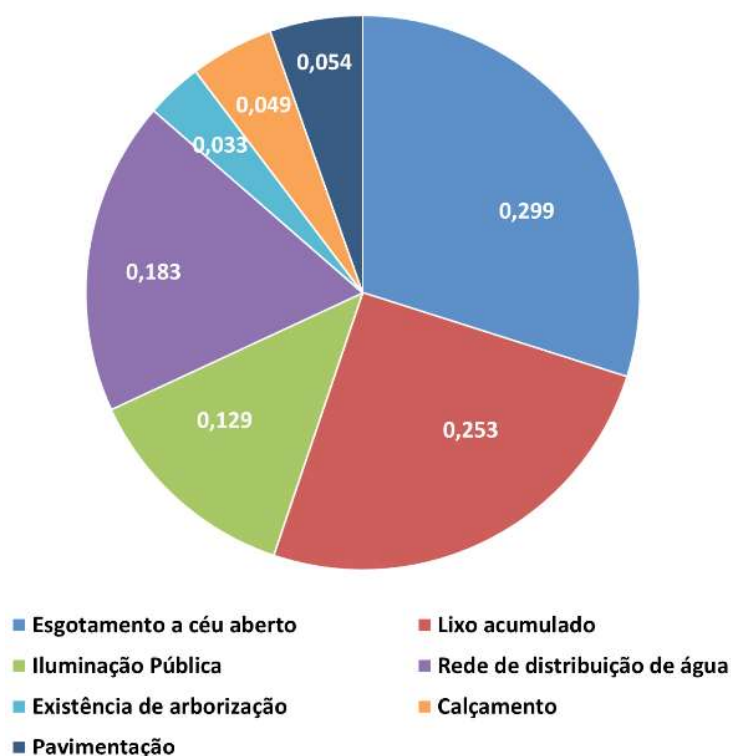


Fig. 4 - Valores dos vetores de prioridade calculados através da AHP. Fonte: Organizado pelos autores.

4. RESULTADOS

Como resultado foi gerado um novo mapa com valores variando em uma escala de 1 a 4 onde 1 representa baixa vulnerabilidade e 4 alta vulnerabilidade, e os resultados 2 e 3 intermediando os extremos (Figura 5).

Como pode ser visto no mapa da Figura 5, o município de Campinas foi o único que apresentou áreas com alta vulnerabilidade. Essas áreas estão ou na parte sul do território municipal, ou a oeste, na divisa com o município de Hortolândia. É válido ressaltar que ambas porções do território localizam-se distantes da região central do município, reforçando a compreensão da realidade apresentada por Candoletta e Silva Neto (2015), ao indicarem que, na RMC, os loteamentos surgidos a partir de 1970, em zonas relativamente distanciadas do centro, costumam redundar em áreas deficitárias quanto suas infraestruturas e suporte das condições de vida da população. Efeito esse, do processo de urbanização do território em

descompasso com a urbanização da sociedade (SANTOS, 1993).

Hortolândia, por sua vez, apresentou valores médios de vulnerabilidade em grande parcela de seu território, condição esta que se estende até o município de Monte Mor. O primeiro município citado, a saber, com emancipação recente, datada em 1993, constituiu-se a partir de bairros anteriormente pertencentes à Campinas e Sumaré e tem representado nas últimas décadas o principal destino de migrantes intrametropolitanos de baixa renda da RMC (DOTA, 2015).

Com o objetivo de verificar a consistência nos resultados apresentados, foi calculado a taxa de internação por doenças infectocontagiosas para o ano de 2010, de modo a observar possíveis associações com as áreas destacadas no mapa (Figura 5). Para evitar bruscas variações anuais por conta de epidemias, como a dengue, utilizou-se no numerador a média das internações entre os anos de 2009, 2010 e 2011, e no denominador a população total dos municípios no ano de 2010.

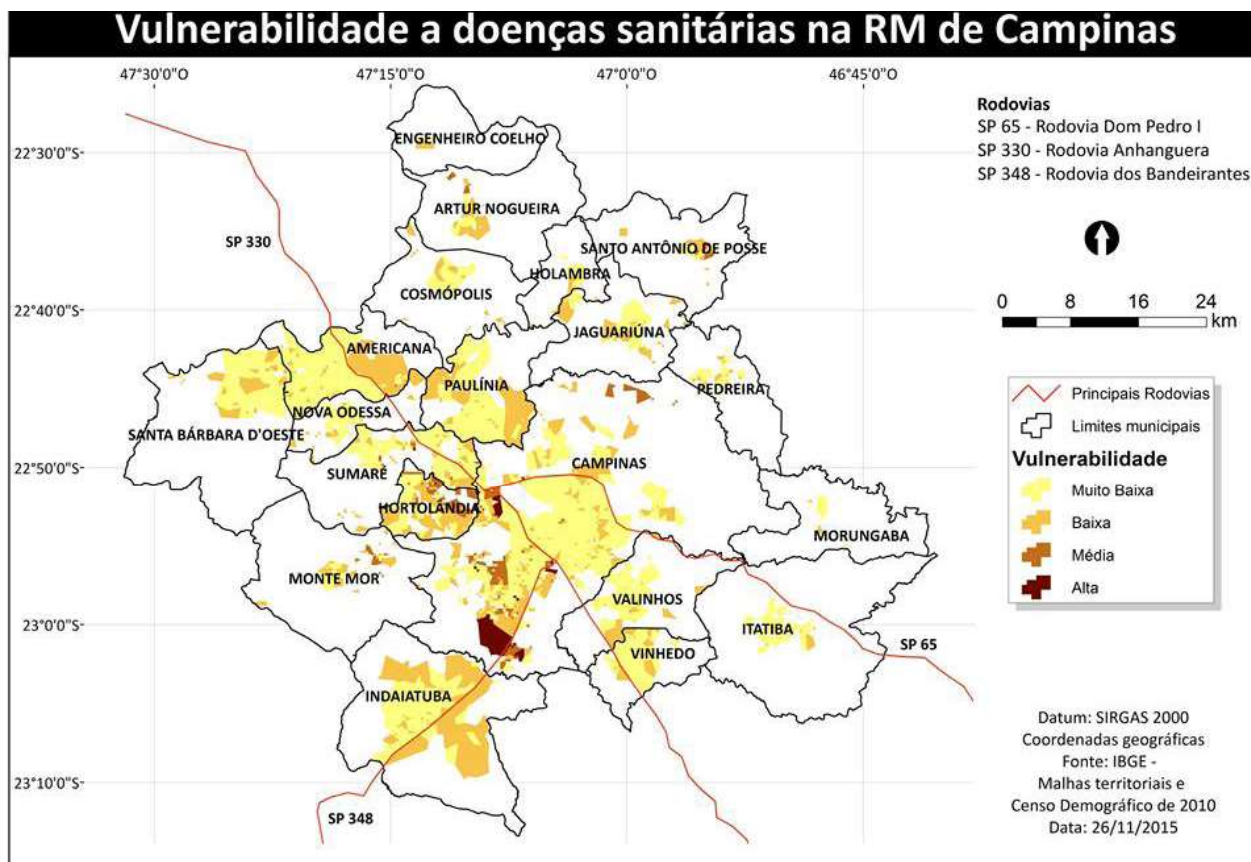


Fig. 5 - Mapa da vulnerabilidade a doenças sanitárias por setores censitários da RMC. Fonte: IBGE. Censo Demográfico de 2010 e Malhas Territoriais.

No gráfico (Figura 6) estão as taxas dos vinte municípios, assim como a média da RMC: Hortolândia, Jaguariúna e Santo Antônio de Posse, seguidos por Campinas e Cosmópolis apresentaram as maiores taxas. Na Figura 5, os três apresentam proporção considerável de suas áreas com valores de média vulnerabilidade.

Por outro lado, os municípios com as menores taxas (Holambra, Nova Odessa, Santa Bárbara d'Oeste e Valinhos) apresentaram a maior parte do seu território com “muito baixa” vulnerabilidade, e poucas áreas com baixa vulnerabilidade.

Verifica-se, portanto, forte correlação dos municípios que concentram grande proporção de áreas com maior risco na Figura 5 com os dados de internação por município. Apesar da

limitação nos dados de internações hospitalares, que são disponibilizados apenas em nível municipal e não permite uma verificação mais pontual com os resultados do mapa da Figura 5, revela-se forte correlação entre os municípios com maiores taxas de internação (Figura 6) e aqueles com maior quantidade de áreas de média vulnerabilidade (Figura 5).

Por fim, chama atenção o papel que as rodovias exercem como enclaves territoriais. Veja-se, por exemplo, que as áreas com alta e média vulnerabilidade entre os municípios de Campinas e Hortolândia estão como que cercadas pelas rodovias Anhanguera e Bandeirantes. Mesmo o município de Americana apresenta uma clara divisão em muito baixa e baixa vulnerabilidade delimitada pela rodovia Anhanguera.

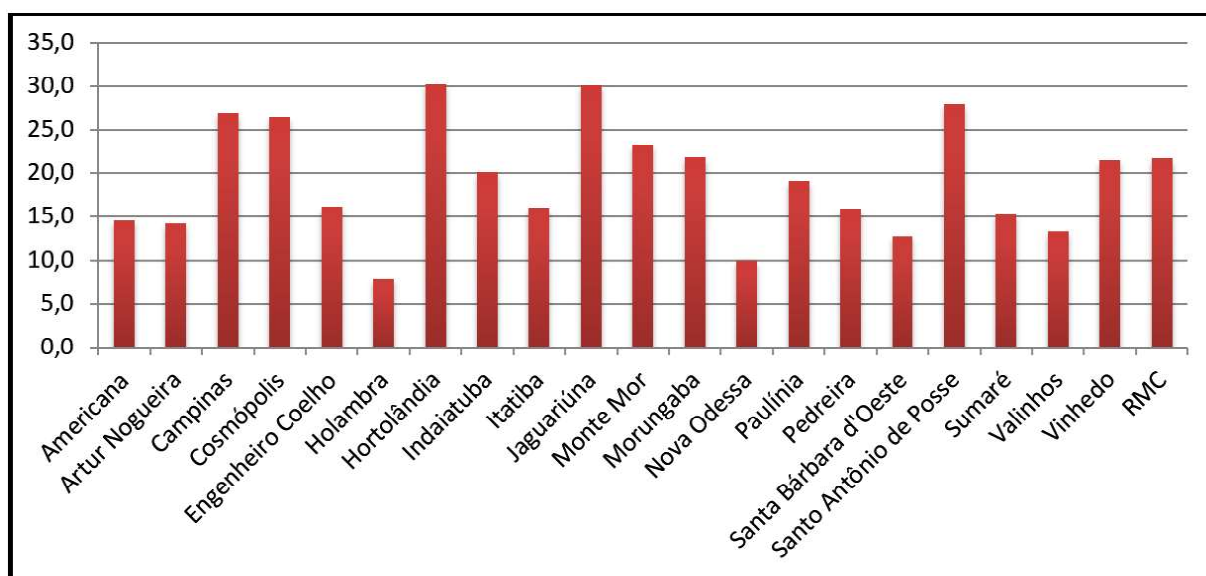


Fig. 6 - Taxa de internação por doenças infectoparasitárias (por 10 mil). Municípios selecionados da RMC, 2010. Fonte: DATASUS. Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). Organizado pelos autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método AHP mostrou-se eficaz no sentido de priorizar as variáveis com maior potencial para a ocorrência do fenômeno analisado, auxiliando, desse modo, o procedimento de tomada de decisão quanto ao peso de cada variável-síntese do modelo. Também, a álgebra entre os mapas assumiu grande importância na formulação de um mapa que sintetizasse as diversas informações contidas nos mapas de evidência. Vale ressaltar que, ao retornar no mapa final, uma escala de valores de 1 a 4 possibilitou que se utilizassem as mesmas

classes de vulnerabilidade aplicadas nos mapas de evidência, facilitando a leitura e interpretação por parte dos tomadores de decisão.

O modelo final construído, considerando o objetivo primário do trabalho, definido como o uso da modelagem espacial em SIG para a identificação de áreas com maior vulnerabilidade ao contágio com as doenças relacionadas à falta de saneamento, mostrou-se um instrumento eficaz, não apenas pela localização dos pontos críticos, mas fundamentalmente porque permite ao gestor público focar o investimento nas áreas mais críticas, trazendo benefícios diretos desses

investimentos em termos de saúde pública, via aplicação de políticas públicas no território. Este objetivo pôde ser visualizado pelos resultados obtidos na aplicação da metodologia aqui explorada na RMC, onde foi possível notar quais municípios e, sobretudo, quais porções territoriais destes municípios possuem maior necessidade de investimentos, como a região sul de Campinas, por exemplo. Diante dos dados apresentados, observa-se que as regiões de maior vulnerabilidade, são aquelas que merecem mais atenção e maior investimento por parte governamental. Evitando assim, que as populações residentes nessas áreas sofram com constantes doenças infectocontagiosas, ocasionando outros tipos de problemas, como a superlotação nos postos de saúde e hospitais.

A metodologia aplicada evidenciou as áreas mais necessitadas e que, muitas vezes, têm essa necessidade omitida pelos números e condições apresentados ao município como um todo. Em que pese, esse tipo de procedimento pode ser base para ações que direcionem os gastos públicos em tempos de contingência financeira, tal qual o Brasil e outros países tem enfrentado. Medidas desse tipo podem também reduzir os gastos com saúde a longo prazo, uma vez que, a prevenção materializada nas melhorias territoriais tende a ser menos onerosa do que o despendimento de verbas para tratamento de tão vasta gama de doenças que podem ser contraídas pelo não atendimento as condições básicas de saneamento.

Recomenda-se para estudos futuros, a verificação da metodologia em outras áreas, bem como a comparação entre diferentes realidades territoriais. Outras variáveis podem ser incorporadas ao modelo buscando aperfeiçoá-lo às complexas realidades espaciais. Nesse sentido a análise fatorial pode tornar-se de grande relevância para a definição das dimensões e fatores de importância do fenômeno estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira da Infraestrutura e Indústrias de Base (ABDIB). **ANÁLISE INFRAESTRUTURA**. v. 5, n 20, julho 2010. 87p.

ARÁN, M.; PEIXOTO JR, C. A. Vulnerabilidade e vida nua: bioética e biopolítica na atualidade.

Revista de Saúde Pública, v. 41, n. 5, p. 849-57, 2007.

BAENINGER, R. Região Metropolitana de Campinas: expansão e consolidação do urbano paulista. In: HOGAN, D; BAENINGER, R; CUNHA, J. M. P. e CARMO, R. L.(orgs.) **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Nepo/Unicamp, p.321-348, 2001.

BARATA, R. C. B. O desafio das doenças emergentes e a revalorização da epidemiologia descritiva. **Revista de Saúde Pública**, v. 31, n. 5, p. 531-7, 1997.

CANDOLETTA, V.; SILVA NETO, M. L. Questões estruturais e conjunturais dos loteamentos em São Paulo: o caso do Village Campinas. In. XX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS. Campinas, 2015. **Anais**. p. 2015. n.p.

DOTA, E.; CAMARGO, D. M. Regionalização, mobilidade pendular e os desafios metropolitanos na RM de Campinas. **Revista Política e Planejamento Regional**. Rio de Janeiro, v.2, n.1, p.127-148, Janeiro/Junho 2015.

DOTA, E. **Mobilidade Residencial Intrametropolitana na RM de Campinas: uma abordagem a partir da distribuição espacial dos migrantes**. (Tese de Doutorado). IFCH/Unicamp, 2015. 260p.

FERREIRA, M. C. **Procedimento metodológico para análise espacial e modelagem cartográfica de epidemias de dengue**. Tese de Livre Docência. Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas: UNICAMP, 2003.

_____. **Iniciação à Análise Geoespacial: teorias, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. São Paulo: Editora Unesp: 2014. 344p.

IBGE. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso: 27 outubro 2015.

INPE. **Manuais Tutorial de geoprocessamento, 2005**. n.p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/analise.html>>. Acesso: 27 outubro 2015.

- MARANDOLA JÚNIOR, E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. In **Revista brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jun. 2005.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 312p.
- OLIVEIRA, F. J. P.; NASCIMENTO, L. F. C. Análise espacial da distribuição de doenças diarreicas nos municípios do Vale do Paraíba Paulista. **Ambiente Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 115-123, 2009.
- PORTAL HORTOLÂNDIA**, disponível em: <<http://www.portalhortolandia.com.br>>. Acesso: 25 julho 2016.
- QGIS Development Team, 2015. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://www.qgis.org>> Acesso: 30 de novembro de 2015.
- RAFFO, J. G. G. O Processo Analítico Hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, volume Especial 30 anos, p. 26-37. 2012
- RAMOS, F. R.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Territórios Digitais Urbanos. In: ALMEIDA et. al. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, p 34-53, 2007.
- SABESP**, disponível em: <<http://site.sabesp.com.br>>. Acesso: 1 outubro 2015.
- SAMIZAVA, T. M. KAIDA, R. H. IMAI, N. N. NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n.1, p.43-55, 2008.
- SANEPAR**, disponível em: <<http://educando.sanepar.com.br>>. Acesso: 25 setembro 2015.
- SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993. 157p.
- SEADE** (Censo demográfico de 2010), disponível em <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso: 29 setembro 2015.
- TAUIL, P. L. Urbanização e ecologia do dengue. In: **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 99-102, 2001.
- TOBIN, G. A.; WHITEFORD, L. M. “Provisioning Capacity: A Critical Component of Vulnerability and Resilience Under Chronic Volcanic Eruptions.” In: PFEIFER, K.; PFEIFER, N. (ed.) **Forces of Nature and Cultural Responses**. New York: Springer, p. 139-166, 2012.
- TORRES, H. D. G.; MARQUES, E.; FERREIRA, M. P.; BITAR, S. Pobreza e espaço: padrões de segregação em São Paulo. In: **Estudos Avançados**, v. 17, n. 47, p. 97-128, 2003.
- WISNER, B. BLAIKIE, P. CANNON, T. DAVIS, I. **At Risk: Natural Hazards, People’s Vulnerability and Disasters**. Routledge, London, 2003. 470p.
- TORRES, H. D. G.; MARQUES, E.; FERREIRA, M. P.; BITAR, S. **Pobreza e espaço: padrões de segregação em São Paulo**. In: **Estudos Avançados**, v. 17, n. 47, p. 97-128, 2003.
- WISNER, B. BLAIKIE, P. CANNON, T. DAVIS, I. **At Risk: Natural Hazards, People’s Vulnerability and Disasters**. Routledge, London, 2003. 470p.