

# Geoestatística e Avaliação Multicriterial no Processo de Planejamento e Desenvolvimento Local e Regional do Estado de São Paulo

Me. Luís Eduardo Gregolin Grisotto  
Eng. Carlos Alberto Amaral de Oliveira Pereira  
Eng. Alceu Guerios Bittencourt  
Eng. Renato Dias Machado

Instituição: Cobrape - Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos

## Resumo

O estudo teve como objetivo desenvolver procedimentos metodológicos, apoiando-se em ferramentas geoestatísticas e avaliação multicritério, para avaliar de forma integrada as condições de saúde, saneamento, ambiente e socioeconomia dos municípios do Estado de São Paulo. Foram efetuadas combinações entre análises espaciais, com base em Mapas de Kernel, e avaliação multicriterial para a demonstração de correlações entre índices de morbimortalidade e indicadores associados à cobertura por redes de água, esgoto e lixo, IDH, IPRS, PIB per capita, porte do município e taxa de urbanização. Os resultados indicaram que as ferramentas empregadas se mostraram eficazes na identificação das situações mais críticas e de maior complexidade, coincidentes com as áreas de menor dinamismo econômico situadas nas regiões sul, sudoeste e oeste do Estado. Conclui-se que o estudo contribuiu para o aprimoramento do processo de planejamento municipal e regional, com vistas à redução das desigualdades e, também, ao desenvolvimento das áreas mais precárias.

## 1. Introdução

As ações de saneamento, além de serem fundamentalmente uma ação de saúde pública e de proteção ambiental, são, também, um bem de consumo coletivo, um serviço essencial, um direito do cidadão e um dever do Estado.

Por evidente, os aspectos sanitários e ambientais estão intimamente relacionados ao contexto social, econômico, jurídico e institucional, tanto das famílias quanto do próprio ambiente, onde fatores como a renda média domiciliar, o produto interno bruto, a escolaridade, a inclusão social e as condições de moradia são determinantes para que se alcancem melhores condições de salubridade humana e ambiental e, com efeito, de qualidade de vida. Ainda que não se conteste a associação entre tais aspectos, há que serem estabelecidas relações objetivas – quali-quantitativas – entre eles, buscando-se compreender como sua sinergia influencia o estado de bem estar e de saúde de uma comunidade, município, bacia hidrográfica ou região.

Os impactos desse conjunto na qualidade de vida e na saúde da população deve, num passo seguinte, criar condições para a tomada de decisão em torno do planejamento e do desenvolvimento local e regional sustentável, enquanto elementos voltados à promoção da saúde.

Muito embora a redução da morbimortalidade tenha causas combinadas, conforme postulam vários autores, é bastante certa a relação entre as melhorias sanitárias, ambientais e socioeconômicas e a notável evolução na redução da incidência e prevalência de doenças.



Tais relações têm sido exaustiva e recorrentemente estudadas, através de vários métodos e técnicas, que abrangem desde o ferramental estatístico tradicional – com destaque para as análises de correlações e regressões lineares ou não lineares – até o uso de instrumentos geoestatísticos e análises multicriteriais mais complexas, alguns deles bastante recentes, ampliando as possibilidades de avaliação qualitativa e quantitativa aos pesquisadores, na tentativa incessante de captar e explicar a realidade.

Partindo de levantamentos e análises sistemáticas dessas técnicas, o presente estudo assumiu como objetivo precípuo a estruturação de uma estratégia metodológica capaz de mensurar associações entre saúde, saneamento, ambiente e socioeconomia nos municípios do Estado de São Paulo, utilizando recortes regionais previamente estabelecidos, com destaque para as bacias hidrográficas, departamentos regionais de saúde, regiões administrativas, regiões metropolitanas e macrometrópole paulista. A identificação e a espacialização dessas associações, com efeito, buscou amparar o processo de planejamento municipal e regional – atualmente débil em muitas regiões do Estado -, com a finalidade de promover o desenvolvimento em bases social e ambientalmente sustentáveis.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Análises Estatísticas e Espaciais

A base da pesquisa epidemiológica é a análise estatística, cujos conceitos e ferramentas são necessários para a síntese e a análise dos dados e fenômenos que se deseja mensurar (BONITA, 2002).

Há uma vasta literatura sobre metodologias estatísticas para uso em estudos ecológicos, destacando, entre as técnicas mais empregadas, os testes de hipótese onde predominam os métodos de teste t, teste do qui-quadrado, correlações (lineares, Pearson, etc.) e regressões lineares simples e múltiplas, paramétricas ou não paramétricas. Todavia, dado objetivo do presente estudo, fez-se necessário compreender alguns instrumentos e métodos estatísticos aplicados às análises espaciais os quais, dadas as suas especificidades, merecem detida atenção por parte dos pesquisadores.

Segundo RAMOS (2002), a necessidade de quantificação da dependência espacial presente num conjunto de geodados levou ao desenvolvimento da chamada estatística espacial. Conforme ANSELIN (1992) apud RAMOS (2002), “a característica que distingue a análise estatística dos dados espaciais é que seu foco principal está em inquirir padrões espaciais de lugares e

valores, a associação espacial entre eles e a variação sistemática do fenômeno por localização.”

No âmbito dos métodos estatísticos aplicáveis às análises espaciais, destacam-se: (i) a Média Móvel Espacial, a qual abrange o cálculo da média dos valores da vizinhança; (ii) os testes de pseudo-significância, aplicáveis aos chamados Índices de Moran ou medidas de vizinhança; (iii) estatísticas espaciais locais (ou indicadores locais de associação espacial – LISA); e (iv) métodos tradicionais de cálculos de média, mediana, moda, desvio padrão e variância, entre outros.

São igualmente importantes nas análises espaciais, as chamadas séries temporais. Estas são consideradas, nada menos, que a ordenação dos dados coletados ou disponíveis pela Vigilância Epidemiológica no tempo, resultando em abordagens evolutivas dos diversos indicadores abrangidos. As séries temporais tem a vantagem de fornecer elementos importantes para a verificação de tendências espaço-temporais, ciclos, variações sazonais, mudanças no comportamento da doença e níveis endêmicos.

Quanto às ferramentas empregadas para as análises espaciais, CÂMARA et al. (2004) destacam que os métodos exploratórios são geralmente sensíveis ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade. Pelas características de cada pesquisa, são desenhados os métodos mais apropriados, existindo – atualmente – uma grande quantidade de opções disponíveis para as mais variadas tipologias de estudos e investigações epidemiológicas e socioambientais. TEIXEIRA (2009), ao efetuar uma análise espacial e temporal da dengue no contexto socioambiental do Município do Rio de Janeiro, para o período de 1996 a 2006, empregou várias dessas ferramentas, a fim de melhor retratar a incidência da doença em bairros da cidade. Entre essas, incluem-se as Matrizes de Vizinhança, Índice Global de Moran, Krigagem e Mapas de Kernel.

### 2.2 Mapas de Kernel

O Mapa de Kernel permite determinar e/ou estimar a intensidade dos fenômenos a partir de unidades de área previamente definidas. Ainda que um certo espaço não seja considerado de pequena escala, a sua abrangência perante outras áreas (caso dos 645 municípios do Estado de São Paulo, analisados agregadamente) sugere que instrumentos dessa natureza demonstrem-se em condições particularmente favoráveis para a identificação de padrões espaciais de intensidade, incidência ou prevalência de doenças. O mapa de kernel é uma técnica não-paramétrica de interpolação exploratória que gera uma superfície de densidade para a identificação visual



de “áreas quentes”. Além de estimar a intensidade da ocorrência dos casos, permite a filtragem da variabilidade dos dados e a retenção de suas principais características.

As chamadas áreas quentes, nesse caso, correspondem aos maiores valores atribuídos a cada ponto em relação aos pontos vizinhos. Isso poderia significar, por exemplo, que as áreas mais quentes são equivalentes a pontos mais críticos em relação a um determinado parâmetro de morbidade ou mortalidade, facilitando a verificação e a interpretação dos diversos fenômenos que ocorrem numa dada porção territorial. E é com base nesse conceito que a presente pesquisa adotou a terminologia ponto crítico ao invés de áreas quentes, conforme se observa na metodologia e nos resultados do presente estudo.

Conforme detalhado por TEIXEIRA (2009), a estimativa de Kernel é definida por dois parâmetros básicos, quais sejam: o raio de influência (l) ou largura de banda; e a função de estimação k (Kernel). A aplicação da técnica de kernel permite distribuir os resultados dos eventos em superfícies contínuas de ocorrência, onde diversas ponderações são efetuadas atribuindo-se maiores valores ou pesos aos mais próximos e de menor peso aos mais afastados. TEIXEIRA (2009) sublinha que o método de kernel “permite uma rápida visualização das áreas que merecem atenção, além de não ser afetada por divisões político-administrativas”. Em síntese, o método de kernel trata de uma técnica de suavização dos eventos e ocorrências, sendo a largura de banda a variável que determina essa suavização. Quanto maior essa largura de banda, maior ou menor o alisamento espacial resultante.

As etapas processuais para a geração do mapa de kernel abrangem: (i) a definição do ponto (ou centroide) da(s) área(s) de estudo; (ii) identificação das coordenadas geográficas dos pontos; (iii) associação dos pontos aos dados da pesquisa – atributos; (iv) cálculo e geração dos mapas, gerando superfícies contínuas, resultando-se num arquivo com grade composta por colunas e linhas.

Algumas adequações são, ainda, possíveis à técnica de kernel, conforme comentadas por RAMOS (2002). O autor destaca a questão da representação de áreas descontínuas enfrentada por MARTIN (1996a), o qual realizou uma adaptação do método Kernel associando-o às ideias de preservação de volume e gerando o que se chamou de método dos centroides populacionais ou Método de Martin.

### 2.3 Avaliação Multicritério

As Avaliações Multicritério (AMC) ou Multicriteria Analysis (MCA) são ferramentas muito difundidas e aplicadas em pesquisas científicas. As AMC são tidas como modelos ou métodos de apoio ao planejamento e à decisão, onde, por meio de técnicas estatísticas e matemáticas, criam-se condições que possibilitam a combinação e a comparação de situações, alternativas, recursos e cenários, utilizando, para isso, medidas, pesos ou notas proporcionais à importância das variáveis envolvidas. O que se põe em evidência, nesse tipo de ferramenta, é o gerenciamento de opções de escolha, que buscam orientar a tomada de decisão na direção de uma escolha acertada.

Para BARREDO (1996) apud RIVERA (2007), o propósito da AMC é pesquisar um número de alternativas à luz de múltiplos critérios e objetivos em conflito, gerando soluções compromisso e hierarquizações das alternativas de acordo com seu grau de atração. Prossegue o autor mencionando que a tomada de decisões, nesse caso, pode ser entendida como “um mundo de conceitos, aproximações e métodos, para auxiliar as instâncias decisórias a descrever, ordenar, hierarquizar, selecionar ou descartar objetos com base em uma avaliação de acordo com vários critérios que podem representar objetivos, metas, valores de referência, níveis de aspiração ou utilidade” (Op. Cit. p. 48).

Com respeito à estrutura de uma AMC, destaca BARREDO (1996) apud RIVERA (2007) que os componentes de uma análise multicriterial incluem os objetivos, critérios (fatores e limitantes), regra de decisão, funções e avaliação, esta última vinculada a um modelo ou sistemática de decisão.

Nos estudos de priorização de áreas, para fins ambientais, VALENTE & VETTORAZZI (2005) abordam as técnicas de abordagem multicriterial de maneira objetiva, assinalando que a integração com sistemas de informações geográficas são diferenciais da metodologia (MALCZEWSKI, 1999 e EASTMAN, 2001). É lembrado pelos autores que os critérios da AMC, nesse caso, podem ser tanto fatores quanto restrições. Prossegue mencionando que a integração desses fatores pode ser realizada a partir de várias técnicas, com destaque para os métodos de Combinação Linear Ponderada (CLP) e da Média Ponderada Ordenada (MPO) (MALCZEWSKI, 2000).

RIVERA (2007) destaca, ainda, a ampla aplicação das AMCs quando combinadas a sistemas georreferenciados de informação (GIS), assumindo como desafio inerente à sua configuração a solução de problemas espaciais complexos.



Um dos trabalhos de grande expressão, que caracteriza e emprega de forma sistemática a análise multicritério, foi descrito por GENERINO (2006), quando examinou a sua pertinência como ferramenta de planejamento em reuso de água no Distrito Federal. A autora utilizou o método ELECTRE III (da família ELECTRE de AMCs) e desenvolveu consultas a diversos decisores, visando definir os pesos dados às variáveis empregadas no modelo decisório. A utilização do método possibilitou a escolha de melhores alternativas para o reuso de água, com destaque para o aproveitamento dos efluentes tratados das ETEs Sul e Samambaia/Melchior e, como conclusão, a autora demonstrou que esse instrumento de apoio ao planejamento e à decisão revelou-se bastante apropriado. Tais sistemáticas de consultas a decisores, usualmente, conferem maior credibilidade e consistência à aplicação de pesos ou notas aos diversos atributos e variáveis de uma análise multicritério, cujo conceito foi replicado na presente pesquisa, conforme se verifica na abordagem metodológica e nos resultados apresentados nos capítulos subsequentes.

### 3. Estruturação Metodológica

A presente pesquisa buscou verificar e analisar as relações entre as condições de saúde e as demais variáveis, visando testar hipóteses, referindo-se a uma pesquisa de caráter analítico. Nesse âmbito, pois, trata-se, de uma pesquisa eminentemente transversal, que mensura as condições de saneamento e saúde num dado momento, buscando-se medir a suposta causa e o respectivo efeito sem levar em conta os acontecimentos passados ou futuros, conforme explicita (FORATTINI, 1980).

Por meio da agregação e espacialização dos dados, o desenho epidemiológico utilizado caracterizou-se pelo estudo ecológico, tendo em vista que a pesquisa aborda uma área geográfica definida – os 645 municípios do Estado de São Paulo-, utilizando dados populacionais e associação entre indicadores que representam condições de saúde e de vida da população.

Após sucessivas tentativas de organização e estruturação de métodos, técnicas e ferramentas estatísticas e espaciais de análise, a presente pesquisa foi organizada em dois grandes blocos de atividades, a saber: (i) o levantamento bibliográfico, a pesquisa documental e de campo, incluindo o delineamento epidemiológico, a definição e análise dos indicadores de saúde, saneamento, socioeconomia, desenvolvimento e meio ambiente e a análise espacial; e (ii) a análise integrada de dados, visando a identificação e espacialização das associações entre a morbimortalidade e as demais variáveis, visando a proposição de diretrizes para o planejamento e

o desenvolvimento local e regional no Estado de São Paulo.

#### 3.1 Levantamento e Coleta de Dados

A pesquisa realizou levantamento bibliográfico buscando identificar e analisar, através de materiais já elaborados, publicações, livros e outras fontes de interesse, aqueles estudos realizados que associam saúde, saneamento, ambiente e socioeconomia e, também, que abrangem ferramentas e técnicas estatísticas e espaciais. Foram acessados arquivos públicos e particulares, fontes estatísticas e dados censitários (IBGE, SEADE, etc.). Também foram obtidos dados de campo, restringindo-se a informações sobre saneamento coletadas no âmbito do Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água” (ANA, 2011), relativas a todos os municípios paulistas.

#### 3.2 Definição dos Indicadores

Os indicadores selecionados para a pesquisa foram organizados a partir do modelo FPEEEA - Forças Motrizes, Pressões, Estados, Exposições, Efeitos e Ações, proposto pela Organização Mundial de Saúde – OMS, adotando as dimensões de saneamento, ambiente, economia e sócio-demografia para a sistematização dos campos de análise e indicadores correspondentes. Foram definidas como variáveis as seguintes:

##### - Variáveis Dependentes

o Mortalidade: (i) Taxa de Mortalidade Infantil no ano de 2010, por município de residência (número de óbitos infantis menores de 1 ano por 1000 nascidos vivos); e (ii) Taxa de Mortalidade Geral por Doenças Infecciosas e Parasitárias - Capítulo CID-10:I, em 2010, por município de residência (número de óbitos por 1000 nascidos vivos);

o Morbidade: (i) Morbidade Geral por município residência (número de internações por 1000 habitantes); (ii) Morbidade por Diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível (número de internações por 1000 habitantes); e (iii) Morbidade por 21 Doenças de Veiculação Hídrica constante do CID-10.

##### - Variáveis Independentes

o Indicadores de Saneamento: (i) % Domicílios Atendidos por Redes de Água, em 2010 (AGUA); (ii) % Domicílios com Sanitários ou Banheiros ligados à rede geral de esgoto ou pluvial, em 2010 (ESGOTO); (iii) % Domicílios com Coleta de Lixo, em 2010 (LIXO).

o Indicadores Ambientais: Situação dos Municípios em 2010 quanto à Oferta de Água (Situação dos Mananciais) e Sistemas de Produção



de Água (ATLAS), tendo como base os dados do Atlas Brasil (ANA, 2011);

o Indicadores Econômico-Financeiros e de Desenvolvimento: (i) PIB – Produto Interno Bruto per capita (R\$/hab), 2008 (PIB); (ii) Rendimento nominal mensal domiciliar per capita dos municípios, (% de domicílios enquadrados em até 1/2 salário mínimo) – (RENDA) IBGE 2010 (BRASIL, 2011); (iii) Despesas com Saúde dos municípios paulistas per capita (R\$/hab), em 2010 (DESP R\$); (iv) Investimentos per capita em Sistemas de Abastecimento de Água (INVATLAS), previstos no âmbito do Atlas Brasil (R\$/hab);

o Indicadores Sócio-Demográficos: (i) IPRS - Índice Paulista de Responsabilidade Social, para o ano de 2008; (ii) IDH-M - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, para o ano 2000; (iii) Taxa de Urbanização, em 2010 segundo o IBGE (TX URB); (iv) população total (POP).

### 3.3 Análise Integradas dos Dados

A análise integrada dos dados foi feita a partir de uma sequência de fases, cada uma delas dotada de instrumentos e ferramentais compatíveis à determinação de resultados de associação entre as variáveis dependentes e independentes estudadas. Todas as variáveis dependentes e independentes foram correlacionadas, uma a uma, por meio de regressão linear simples, visando avaliar o nível de associação entre elas. Os resultados das regressões visaram fornecer insumos para a análise espacial subsequente e, essencialmente, para orientar o estabelecimento dos critérios e valores na construção da análise multicritério (AMC) e dos mapas decorrentes, os quais configuram-se nas bases para as diretrizes de planejamento e desenvolvimento regional indicadas na presente pesquisa.

Além das análises estatísticas, foram efetuadas análises espaciais, com base em dois momentos distintos: (i) uma primeira fase, em sequência às correlações estatísticas, onde foi empregado o método de combinação linear ponderada – CLP, a partir de escalas pré-determinadas pelo pesquisador, produzindo um processo hierárquico analítico. As combinações lineares efetuadas abrangeram operações de superposição Booleana, tais como a interseção (E) e união (OU), conforme descritas por RINNER e MALCZEWSKI, 2002, sendo que os resultados foram expressos em mapas comparativos, utilizando Software ArcGis (ESRI) versão 10; (ii) uma segunda fase, compreendendo o emprego dos mapas de Kernel, a partir dos resultados da análise multicritério. Os mapas de Kernel produzidos e respectivas suavizações foram elaborados no software Arcmap Desktop versão 10, utilizando Ferramenta de Análise Geoestatística (Geostatistical Analyst

Tools) para Interpolação de Kernel com Barreiras (Kernel Interpolation With Barriers). Os parâmetros empregados na análise abrangeram: campo de magnitude – NFM (Nota Final do Município, obtido da análise multicritério); células (cell size) = 2210 metros, equivalente à largura ou altura da célula; Largura de Banda: 50.000m; Cume ou Ridge= 50; número de faixas de classes (quebras) para a simbologia = 80 divisões, correspondentes a faixas ou escalas visando a visualização da suavização.

A avaliação multicritério - AMC foi construída a partir de metodologia específica, utilizando aspectos de diversas tipologias já empregadas em pesquisas científicas. A AMC foi construída a partir dos resultados das análises estatísticas (correlações), análises espaciais e das consultas a especialistas e profissionais com atuação nas áreas temáticas de interesse à pesquisa em tela. No caso da análise estatística, os resultados das correlações e regressões efetuadas serviram como subsídio à escolha das variáveis com maior representatividade, amparando a fase subsequente de atribuição de notas e pesos a cada uma delas. Aquelas variáveis que indicaram melhores associações foram selecionadas e indicadas para a construção da AMC. Os resultados da análise espacial, a seu tempo, também possibilitaram a escolha de variáveis que melhor representaram as interpolações e intersecções dos municípios com as faixas (escalas) de valores das variáveis dependentes e independentes, identificando o número, a proporção e a distribuição geográfica dos municípios, gerando bancos de dados e mapas georreferenciados que permitiram a visualização das informações processadas. Às variáveis selecionadas foram efetuadas ponderações e combinações diversas, que estabeleceram áreas e regiões prioritárias, escalas de relevância e análise de agrupamentos de municípios, cujos desdobramentos resultaram na quantificação de pesos para cada caso. Esses pesos foram combinados e geraram valores médios para cada uma das variáveis e para o conjunto completo de variáveis (mortalidade, morbidade ou média geral). Tais pesos foram aplicados aos valores de cada variável, compondo uma equação multicritério parcial (construída, somente, com base nos pesos decorrentes da análise espacial).

As consultas a especialistas com atuação setorial foram realizadas por meio da constituição de uma equipe de profissionais, selecionados a partir da reconhecida atuação e experiência em áreas temáticas afetas à presente pesquisa. Esses profissionais foram previamente contatados para verificação da disponibilidade e aceitação quanto à participação na presente pesquisa, sendo-lhes encaminhado por e-mail ou entregue pessoal-



mente, na sequência, um questionário. A distribuição dos questionários iniciou-se em 05/09/11, prolongando até meados de novembro de 2011. Ao todo foram envolvidos 15 profissionais, sendo 3 do setor de saúde, 3 do setor de saneamento, 4 da área de planejamento urbano e desenvolvimento regional, 3 do setor ambiental e 2 de recursos hídricos.

Tendo, por fim, os insumos da análise estatística, espacial e da referida consulta a especialistas, foi construída uma equação multicritério, contendo os pesos relativos a cada variável. A análise estatística subsidiou a escolha e o ajuste dos pesos das alternativas; a análise espacial, do ponto de vista quantitativo, gerou um peso proporcional a cada variável (que, inclusive, permitiu a construção de uma avaliação multicritério parcial), aplicando-se um coeficiente de importância relativa de 0,3 a todo o conjunto de valores (peso global de 30% à análise espacial); e da consulta de especialistas também resultaram pesos atribuídos às variáveis, com peso proporcional de 0,7 (70%) na composição final dos valores e combinações. A adoção desses pesos proporcionais consideraram vários aspectos, que abrangem desde a importância da experiência comprovada dos profissionais até a complexidade dos fatores socioambientais envolvidos na análise espacial ou, ainda, as restrições do próprio método empregado.

A avaliação multicritério final compôs um índice geral para cada município, abrangendo a construção de uma equação geral com múltiplos atributos, vinculados a objetivos e critérios (camadas) devidamente espacializadas. Inicialmente o cruzamento dos atributos foi efetuado de maneira simplificada, com espacialização e georreferenciamento pelo ArcGis. Em seguida, foi aplicada a metodologia dos mapas de Kernel, com a finalidade de gerar insumos para a formulação de diretrizes e estratégias de planejamento e gestão, voltadas ao desenvolvimento regional.

RESULTADO FINAL	Mortalidades	Morbidades	Índice Geral
POP	0,06	0,11	<b>0,09</b>
PIB	0,09	0,08	<b>0,08</b>
RENDA	0,07	0,07	<b>0,07</b>
IDH	0,08	0,08	<b>0,08</b>
IPRS	0,05	0,07	<b>0,06</b>
ATLAS	0,09	0,08	<b>0,09</b>
AGUA	0,13	0,14	<b>0,13</b>
ESGOTO	0,11	0,08	<b>0,09</b>
LIXO	0,11	0,08	<b>0,09</b>
TX URB	0,12	0,15	<b>0,14</b>
DESP RS	0,08	0,07	<b>0,07</b>
INVATLAS	0,00	0,00	<b>0,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Tabela 1: Resultado Final dos Pesos Relativos a cada Variável

#### 4. Resultados e Discussão

A combinação entre os resultados das análises estatísticas, os pesos de cada variável atribuídos no âmbito da análise espacial e os pesos ponderados e conferidos nas consultas aos especialistas no âmbito da avaliação multicritério, resultaram nos chamados pesos relativos finais, que subsidiaram a elaboração dos mapas de kernel, conforme consta da Tabela 1 a seguir.

Os valores foram obtidos através de médias ponderadas ordenadas, integrando, por exemplo, os pesos das taxas de mortalidade infantil e mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias num único indicador denominado “mortalidade”. Da mesma forma, para todas as morbidades, foi composto um único indicador intitulado “morbidade”, como resultado das combinações e médias retrocitadas.

Conclui-se que as variáveis relacionadas ao saneamento (água, esgoto, lixo e resultados do Atlas), juntamente com a taxa de urbanização, PIB, IDH e despesas com saúde configuram-se nos indicadores preponderantes para a mortalidade (agregando-se as duas taxas de mortalidade avaliadas). Para a morbidade, o padrão é semelhante, acrescentando-se o porte da população no rol de destaque das variáveis.

No cálculo da média geral de todos os índices, indicado na Tabela como “Índice Geral”, prevalece a taxa de urbanização, a percentagem de domicílios ligados a redes de água e esgoto, percentual de domicílios com coleta de lixo, resultados do Atlas Brasil, população, PIB e IDH, em sequência decrescente, entre as variáveis de maior relevância. Surpreende, somente, que a taxa de urbanização demonstre o maior peso, ainda que os valores estejam próximos aos dos indicadores de saneamento.

A nota final atribuída a cada município foi obtida a partir da interação entre os citados pesos e os valores proporcionalizados dos coeficientes de morbimortalidade, resultando em um valor final para cada município, cujo valor ensejou a elaboração do mapa de Kernel. As áreas consideradas mais críticas coincidem com o maior nível de coincidências, interpolações e/ou intersecções entre as variáveis dependentes (morbimortalidade) e independentes (doze variáveis avaliadas) que revelam condições mais precárias (menor cobertura de saneamento, menor PIB, etc.).



Pode-se dizer, portanto, que o mapa de kernel apresentado adiante é o resultado combinado e ponderado de todos os mapas de kernel parciais, pertinentes aos resultados específicos de cada variável. Esse mapa é apresentado na Figura 1 seguinte, ilustrando os resultados segundo o recorte territorial das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs.

Os pontos mais críticos (nas cores mais “quentes” ou avermelhadas do mapa), apresentados no Mapa Final de Kernel, mostram a maior intensidade dos fenômenos combinatórios, sugerindo que essas áreas demandam ações mais emergentes e/ou integradas (estruturais e não estruturais), podendo ser interpretadas como zonas

mais críticas ou prioritárias do ponto de vista do planejamento e do desenvolvimento local ou regional. Conforme se observa, essas áreas coincidem com regiões economicamente menos dinâmicas do Estado de São Paulo (casos do Alto e Médio Paranapanema, Vale do Ribeira e demais regiões do extremo sul, sudoeste, centro-oeste e oeste paulista), com características particulares sob a perspectiva ambiental, social, institucional e de infraestrutura, que demandam atenção na avaliação dos processos que aí concorrem para afligir os indicadores de morbimortalidade, ora em evidência.

Nos mapas de kernel que integram todas as variáveis, é possível verificar que os pontos mais



Figura 1: Criticidade das Condições de Saúde, Saneamento, Ambiente e Socioeconomia por UGRHI

críticos ou epicentros da combinação entre as variáveis de saúde (mortalidade e morbidade) e demais indicadores (saneamento, socioeconomia e meio ambiente) localizam-se nas regiões sul, sudoeste, oeste e noroeste do Estado, coincidente com as áreas mais afastadas dos grandes centros urbanos onde, de acordo com a metodologia apresentada, demandam mais planejamento, recursos e esforços para que as condições de saúde, sanitárias, socioeconômicas e ambientais sejam melhoradas.

Esses pontos críticos, portanto, constituem o resultado da combinação das maiores taxas de mortalidade e morbidade com a menor cobertura de redes de água, esgoto e coleta de lixo; menores IDH, IPRS e PIB per capita; menor concentração populacional (menor porte dos

municípios) e menores taxas de urbanização. De acordo com os resultados da presente pesquisa, entre as localidades com maior valor de kernel, 58% dos municípios possuem menos do que 10 mil habitantes. Caso fossem computados os municípios com menos de 15 mil habitantes, totalizar-se-iam 118 cidades que representariam 73% do citado universo dos 162 municípios mais críticos. Assinale-se que os maiores municípios que integram esse primeiro quartil de resultados de kernel incluem Tupã (63,4 mil hab.) e Itapeva (87,7 mil), não se verificando nenhum município com mais de 100 mil habitantes.

Na Tabela 2 adiante, é indicado o ranking das 20 maiores notas utilizadas nos mapas de kernel, segundo a equação multicritério anteriormente apresentada, indicando-se a localização dos



municípios de acordo com as UGRHIs, Regiões Administrativas e Departamentos de Saúde correspondentes aos valores do quartil superior (equivalente a 75% da amostra ou 25% dos maiores valores).

Sob o enfoque dos recortes regionais, os pontos mais críticos mostrados nos mapas de kernel situam-se predominantemente nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHIs do Ribeira do Iguape e Litoral (UGRHI 11), Alto Pa-

Código IBGE	Município	Notas	UGRHI	Regiões Administ.	Departamentos de Saúde
3502606	Aparecida d'Oeste	3,644	São José dos Dourados	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3519204	Iacri	2,656	Aguapeí	Marília	Marília
3534906	Pacaembu	1,943	Aguapeí	Pres prudente	Marília
3555703	União Paulista	1,923	Baixo Tietê	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3536000	Parapuã	1,902	Aguapeí	Marília	Marília
3519006	Herculândia	1,848	Aguapeí	Marília	Marília
3510708	Cardoso	1,827	Turvo/Grande	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3505807	Bastos	1,812	Peixe	Marília	Marília
3532702	Nipoã	1,786	Baixo Tietê	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3507159	Bom Sucesso de Itararé	1,738	Alto Paranapanema	Sorocaba	Sorocaba
3516002	Flórida Paulista	1,738	Peixe	Pres prudente	Marília
3531001	Monções	1,633	Baixo Tietê	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3524501	Jaci	1,599	Tietê/Batalha	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3545407	Salto Grande	1,569	Médio Paranapanema	Marília	Marília
3518909	Guzolândia	1,564	São José dos Dourados	Araçatuba	Araçatuba
3543808	Rinópolis	1,546	Aguapeí	Marília	Marília
3520707	Indiaporã	1,514	Turvo/Grande	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3517109	Glicério	1,507	Baixo Tietê	Araçatuba	Araçatuba
3536604	Paulo de Faria	1,498	Turvo/Grande	SJ Rio Preto	São José do Rio Preto
3515806	Flora Rica	1,475	Peixe	Pres prudente	Presidente Prudente

Tabela 2: Ranking dos Municípios Mais Críticos, segundo Mapas de Kernel

ranapanema (UGRHI 14), Médio Paranapanema (UGRHI 17), Pontal do Paranapanema (UGRHI 22), Peixe (UGRHI 21), Aguapeí (UGRHI 20), Baixo Tietê (UGRHI 19), São José dos Dourados (UGRHI 18), Turvo/Grande (UGRHI 15), Pardo (UGRHI 4) e Mantiqueira (UGRHI 1), todas elas com baixas densidades populacionais médias, grande número de municípios de pequeno porte (abaixo de 15 mil habitantes), baixas taxas de urbanização e cujo valor adicionado representa menos de 15% do total do Estado (juntas).

## 5. Conclusões

O uso dos mapas de kernel e das avaliações multicritério se mostrou bastante adequado e eficaz na análise integrada dos problemas que afligem muitos municípios paulistas. Os mapas de kernel revelaram pontos mais críticos, ou seja, regiões onde se verifica maior intensidade na combinação das variáveis consideradas, revelando maior precariedade do ponto de vista demográfico, sa-

nitário, ambiental, socioeconômico e de saúde nas regiões sul, sudoeste e oeste do Estado de São Paulo.

Com a estruturação metodológica proposta, conseguiu-se apreender a complexidade das associações e, ao mesmo tempo, permitiu-se identificar, avaliar e espacializar as regiões mais vulneráveis do Estado, motivando o aprimoramento dos processos de planejamento municipal e regional, com vistas à redução das desigualdades, à melhoria das condições de saúde e de qualidade de vida e, também, ao desenvolvimento econômico e social dos municípios e regiões abrangidas. Recomenda-se que essas técnicas sejam incorporadas aos processos de planejamento e gestão territorial e urbana, sendo também utilizados pelas diversas instâncias tomadoras de decisão.



## 6. Referências

- Ana- Agência Nacional de Águas** (Brasil). (2011) Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional – Volume I. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos; Consórcio Engecorps/Cobrape. Brasília: ANA, SPR. 68p.
- Anselin L.** Local Indicators of Spatial Association-LISA.(1995).Geographical Analysis; 27(2): 93-115.
- Barredo J.** Sistemas información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.1996.Editorial RA-MA, España. 261 p.
- Bonita R., Beaglehole R., Kjellstrom T.** Epidemiologia básica.(2010). 2.ed. Santos- SP; 213p.
- Camara G., Carvalho MS., Cruz O.G., Correia V.** Análise espacial de áreas. In: Druck, S; Carvalho, MS; Câmara, G; Monteiro, AMV (eds). Análise espacial de dados geográficos. Planaltina (DF): Embrapa.
- Eastman J.** Decision support: decision strategy analysis. (2001) Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University. 22 p.
- Forattini O.P.** 1980. Epidemiologia Geral. São Paulo: Ed. Artes Médicas.
- Generino R.C.M.** (2006).Contribuição da abordagem multicritério na seleção de alternativas de reuso de água: aplicação em um caso de irrigação agrícola e paisagística no Distrito Federal. Tese de Doutorado. São Paulo. 181 p.
- Malczewski J.** (1999).GIS and multicriteria decision analysis. NewYork: John Wiley. 362p.
- Martin D.** (1998).An assessment of surface and zonal models of population. International Journal of Geographical Information Systemsa.
- Ramos F.R.** (2002).Análise Espacial de Estruturas Intra-Urbanas: O Caso de São Paulo. Dissertação de Mestrado. INPE. São José dos Campos. 142 p.
- Rinner C., Malczewski J.** (2002). Web-enabled spatial decision analysis using Ordered Weighted Averaging (OWA). Journal of Geographical Systems; (4): 385-403.
- Rivera H.** (2007).Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada. Dissertação de Mestrado. Curitiba-PR. 216 p.
- Teixeira T.R.de A.** Análise espacial e temporal da dengue no contexto socioambiental do Município do Rio de Janeiro, 1996-2006. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. 129 p.
- Valente R., Vettorazzi C.** (2005).Comparação entre métodos de avaliação multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal. Scientia Forestalis; (69): 51-61.