

MAPEAMENTO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA COM O USO DA TÉCNICA AHP (*ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*)

Valéria Lima

Universidade Estadual de Maringá | Brasil

E-mail: vlima@uem.br

RESUMO:

A qualidade ambiental urbana pode indicar desigualdades socioespaciais no ambiente urbano, considerando os fatores sociais, econômicos e ambientais. A metodologia apresentada neste artigo utiliza a quantificação de indicadores socioambientais, através de técnicas de análises espaciais. A análise foi realizada na cidade de Nova Andradina/MS e foram selecionados os indicadores: tipos de cobertura dos telhados, renda, saneamento ambiental, temperatura do ar e densidade de vegetação. Através da técnica AHP (Analytic Hierarchy Process), no aplicativo Spring 5.2, que consiste em análises combinatórias entre os indicadores, foi gerada uma rotina de programação com os pesos de cada um e foi realizado o processamento no LEGAL (Linguagem de Álgebra de Mapas) dentro deste mesmo aplicativo, resultando nos mapas de Qualidade Ambiental Urbana de Nova Andradina. De uma forma geral, a cidade apresentou qualidade ambiental regular, de acordo com os critérios e procedimentos utilizados. Esse resultado tem relação direta com o saneamento ambiental devido à presença de domicílios com esgotamento sanitário, via fossa rudimentar.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade Ambiental Urbana; Indicadores socioambientais; Técnica AHP; Nova Andradina.

MAPPING OF URBAN ENVIRONMENTAL QUALITY WITH THE USE OF AHP TECHNIQUE (*ANALYTIC HIERARCHY PROCESS*)

ABSTRACT:

The urban environmental quality may indicate the socio-spatial inequalities of the urban environmental by considering the social, economic and environmental factors. This article uses a methodology that deals with the quantification of social-environmental indicators by using spatial analysis techniques. According to the characteristic of the city the Nova Andradina, state of Mato Grosso do Sul, the following indicators were selected: roofing types, income, environmental sanitation, air temperature and vegetation density. By using the AHP technique (Analytic Hierarchy Process), in the Spring 5.2 application, which consists of combinatorial analyzes among the indicators, a programming routine with the weight of each one was generated, and the processing was performed in LEGAL (Map Algebra Language) within this same application, which resulted in the maps of the Urban Environmental Quality of the Nova Andradina. In general, the city showed a regular environmental quality, according to the criteria and procedures used. This result is directly related to environmental sanitation due to the presence of residences with a sewage system via a rudimentary cesspit.

KEYWORDS: Urban environmental quality; Social-environmental indicators; AHP technique; Nova Andradina.

MAPEO DE LA CALIDAD AMBIENTAL URBANA CON LA TÉCNICA AHP (*PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA*)

RESUMEN:

La calidad ambiental urbana puede indicar desigualdades socioespaciales en el entorno urbano, considerando factores sociales, económicos y ambientales. La metodología presentada en este artículo utiliza la cuantificación de indicadores sociales y ambientales a través de técnicas de análisis espacial. De acuerdo con las características de la ciudad de Nova Andradina/MS, fueron seleccionaron los siguientes indicadores: tipos de cobertura del techo, ingresos, saneamiento ambiental, temperatura del aire y densidad de la vegetación. Con la técnica AHP (Analytic Hierarchy Process), en lo programa Spring 5.2, que consiste en análisis combinatorios entre los indicadores, se generó una rutina de programación con los pesos de cada uno y el procesamiento se realizó en LEGAL (Lenguaje de Álgebra de Mapas). Dentro de esta misma aplicación, lo que resulta en los mapas de Calidad Ambiental Urbana de Nova Andradina. En general, la ciudad presentó una calidad ambiental regular, de acuerdo con los criterios y procedimientos utilizados. Este resultado está directamente relacionado con el saneamiento ambiental debido a la presencia de hogares con saneamiento ambiental, por pozo rudimentario

PALABRAS CLAVE: Calidad Ambiental Urbana; Indicadores sociales y ambientales; Técnica AHP; Nova Andradina.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a discussão sobre a importância da qualidade ambiental nas cidades tem aumentado, e cada vez mais está sendo citada e incorporada nos planos diretores, nas ações e gestões públicas, visando a melhoria da qualidade de vida da população e na tentativa de minimizar os problemas ambientais urbanos e as desigualdades socioespaciais.

Nem sempre os espaços urbanos são planejados para atender as necessidades básicas de toda a população e, muitas vezes, os elementos que compõem as preocupações da qualidade ambiental não são considerados de forma integrada. Quando se trata de qualidade ambiental, é comum considerar as áreas verdes, vegetação das vias de circulação, conforto térmico, drenagem urbana, resíduos sólidos, saneamento básico, poluição sonora e do ar, entre outros elementos. As cidades são ambientes complexos pela quantidade de atividades e serviços desenvolvidos no mesmo espaço, quantidade de pessoas que habitam esses e pelas desigualdades socioespaciais que são geradas pelo próprio ciclo da produção e apropriação do espaço urbano.

Para compreender a qualidade ambiental de uma cidade, é importante que seja considerado indicadores que possam indicar quais são as áreas que possuem qualidade ambiental adequada e inadequada. Portanto, além da escolha dos indicadores, é necessário considerar as metodologias que possam representar estes e gerar um mapa síntese para a avaliação da qualidade ambiental urbana.

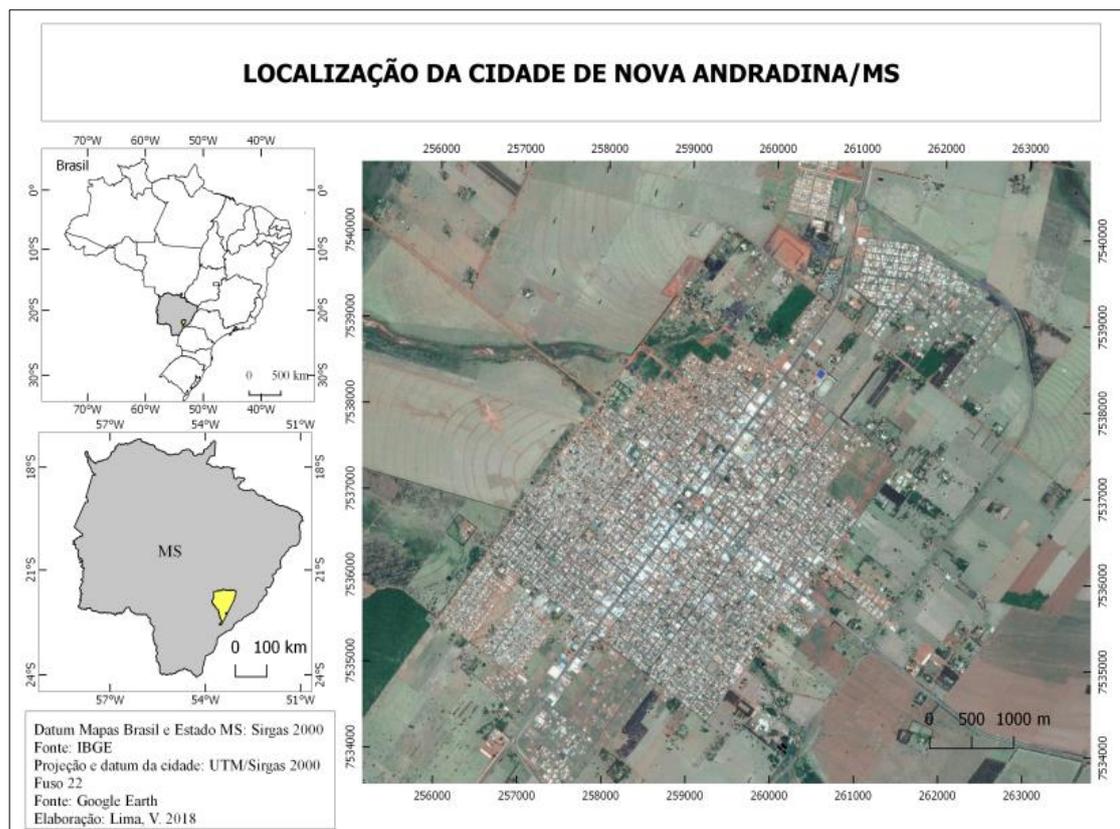
O uso de técnicas de geoprocessamento, com análises espaciais podem indicar resultados interessantes para apoiar decisões e intervenções de políticas públicas, para atuarem nos aspectos fundamentais para a melhoria da qualidade ambiental nas áreas que são indicadas com baixa ou inadequada qualidade ambiental.

Neste sentido, este artigo apresenta uma metodologia utilizando a técnica de suporte à decisão – AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Ela se baseia numa comparação pareada entre os indicadores e na relação de importância entre estes. A partir desta relação e importância, é gerado pesos para cada indicador levando em consideração os critérios estabelecidos e no valor da razão de consistência. Esta técnica foi utilizada no aplicativo Spring, e a rotina de programação gerada pela técnica com os pesos é processada no LEGAL (*Linguagem de Álgebra de Mapas*). (LIMA, 2013)

Os procedimentos metodológicos foram aplicados na cidade de Nova Andradina, localizada no sudeste do Mato grosso do Sul (Figura 01). Possui aproximadamente 40.000 habitantes, é uma cidade pequena, possui um centro comercial bem definido com pouca vegetação arbórea; até 2013, 80% da cidade possuía esgotamento sanitário via fossa, uma parte dessas eram rudimentares, possui uma concentração de renda nas áreas centrais; com relação ao seu relevo, é uma área relativamente plana. Utilizou-se para o mapeamento os indicadores: tipos de cobertura dos telhados, renda, saneamento ambiental, temperatura do ar e densidade de vegetação.

Através da técnica AHP, foi possível calcular pesos para esses indicadores, sendo que de acordo com os critérios utilizados, o saneamento e a vegetação tiveram maior peso em relação aos demais. Com base nesta técnica, foi possível mapear a qualidade ambiental de Nova Andradina. O resultado teve relação principalmente com o saneamento ambiental, considerando os problemas relacionados ao esgotamento sanitário via fossas rudimentares.

Figura 1 – Localização da cidade de Nova Andradina/MS.



Fonte: IBGE, 2010; Google Earth.

QUALIDADE AMBIENTAL URBANA

Considerando que “qualidade” significa “propriedade, atributo ou condição das coisas ou das pessoas”¹, pode-se dizer que a qualidade ambiental se refere ao padrão a ser estabelecido e/ou alcançado de comprometimento ambiental. Considerada então, como um fator que pode indicar o grau de comprometimento ambiental, referindo-se à associação dos fatores ecológicos e socioeconômicos.

De acordo com Perloff (1973), o interesse sobre a qualidade ambiental surge, em grande parte, da influência de outros temas, como a preocupação da qualidade do ar, da água, das áreas verdes, e claro, não podendo negar a preocupação com o desenvolvimento das “comunidades urbanas” e, por fim, sobre a qualidade de vida dos habitantes da cidade.

Este autor chama atenção para:

nuestra capacidad para tratar eficazmente los problemas tremendamente complejos del médio urbano – problemas que se hacen más complejos cada año que pasa – se verá con toda seguridad muy ampliada si podemos aguzar nuestros conceptos, clarificar la naturaleza e los problemas, perfeccionar nuestros instrumentos de medida (incluyendo la medida de las soluciones alternativas propuestas), e idear nuevos arreglos institucionales para hacer frente a las nuevas situaciones (PERLOFF, 1973, p. 09).

¹ Significado do Dicionário Aurélio, 6^a ed., 2006.

Sendo a qualidade ambiental o padrão de comprometimento ambiental que envolve elementos naturais (meio físico e biológico) e antrópico (economia, cultura, relações sociais), deve-se conhecer e estabelecer qual padrão está sendo almejado.

Esse padrão é atribuído ao ambiente através de indicadores, associa elementos importantes para a qualidade de vida da população e refere-se, também, ao ambiente, visto que é crescente a preocupação por uma melhora da qualidade do ambiente dentro das preocupações que envolvem a problemática ambiental.

Machado (1997) indica que a qualidade ambiental é de difícil definição e está intimamente relacionada à qualidade de vida, pois deve existir uma interação e um equilíbrio entre o meio ambiente e as atividades que envolvem a vida do ser humano e este muda de escala, tempo e lugar.

Fica evidente, em todos os segmentos, o reconhecimento da importância de uma boa qualidade ambiental para o ser humano relacionar-se e viver em sociedade, articulado com os padrões de vida e de consumo que incluem os processos econômicos, mas, seria superficial diante da tentativa de compreender as relações estabelecidas entre a sociedade e a natureza, influenciadas pelas ideologias do conhecimento científico, não considerar a importância da conceituação e não elencar os principais fatores que envolvem o tema.

Os principais fatores ligados ao tema da qualidade ambiental podem ser identificados através de questionamentos que devem ser solucionados para estabelecer critérios nas análises da qualidade do ambiente, no caso urbano, como “qual o padrão de qualidade a ser usado para determinar essa boa qualidade; qual seria o seu mínimo; quais os critérios a serem empregados para determinar os parâmetros de qualidade ambiental?” (MACHADO, 1997, p. 17).

Percebe-se que são muitas questões que envolvem as preocupações com a qualidade ambiental urbana, mas, fica evidente a necessidade de espaços de qualidade incluindo o saneamento e infraestruturas adequadas. Quando esses elementos são mapeados de forma integrada, é possível indicar as áreas que necessitam de atenção para minimizar os problemas ambientais urbanos.

Neste contexto, através de técnicas de geoprocessamento, é possível estabelecer critérios para representar de forma integrada esses elementos, a partir de indicadores socioambientais, para mapear a qualidade ambiental urbana.

Indicadores socioambientais

Na metodologia apresentada neste artigo, utilizou-se os indicadores relevantes para cidade em questão, considerando aspectos sociais, econômicos, ambientais e de infraestrutura, sendo estes: cobertura das edificações, densidade de vegetação, renda, saneamento ambiental e temperatura do ar.

Para o mapeamento utilizou-se os dados do censo demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, imagens de alta resolução dos satélites WorldView-II de 2011 e Alos de 2010 (resolução espacial de 0,50 m e 10 m respectivamente), e trabalhos de campo.

Com relação a cobertura das edificações é caracterizada pelos diferentes materiais dos telhados, ou seja, considerou-se à predominância de telhas de cimento (de fibrocimento, com ou sem amianto), telhas metálicas (de aço galvanizado e alumínio), telhas de cerâmica. Alguns materiais, como as telhas de cimento, podem influenciar no aumento da temperatura e, conseqüentemente no conforto térmico, quando sobreposto com as informações de uso e ocupação e renda, é possível identificar possíveis disparidades sociais em áreas com baixa qualidade ambiental. O mapeamento deste indicador foi realizado através da classificação supervisionada com a segmentação das imagens do satélite WorldView-II, no Spring 5.2.

A renda representa um dos aspectos econômicos da paisagem urbana. Através dos dados do censo demográfico do IBGE de 2010, por setores censitários, do rendimento por domicílios, foram mapeadas as áreas com baixa, média, alta e muito alta renda, adaptando a própria metodologia do IBGE. Geralmente, nas cidades, a baixa qualidade ambiental localiza-

se em áreas menos favorecidas com relação à infraestrutura e, geralmente, são áreas de baixa renda. Portanto, este indicador é importante para verificar como está distribuída a concentração de renda da população.

A infraestrutura urbana encontra-se entre as preocupações mais importantes da análise da qualidade ambiental, por serem elementos que fazem parte do ordenamento e do planejamento das cidades. Tais elementos, como energia elétrica, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, pavimentação das vias públicas, sistema de coleta, disposição e tratamento de resíduos sólidos e líquidos, podem indicar ambientes de melhor ou pior qualidade ambiental. Essas variáveis compõem o indicador 'saneamento ambiental', classificado em adequado, parcialmente adequado e inadequado.

Os serviços de saneamento nas áreas urbanas são essenciais e envolvem preocupações com o ambiente, com a saúde, com a qualidade de vida e com aspectos sanitários. Os dados de fornecimento de energia elétrica, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo, foram mapeados através dos dados do censo demográfico do IBGE de 2010, por setores censitários.

A ausência de pavimentação pode causar problemas à população e ao ambiente, pois através da poeira, por exemplo, pode causar o aumento nos índices de doenças respiratórias e, além disso, acarretar em processos erosivos nessas vias. Este foi mapeado através de informações de trabalho de campo e por interpretação visual das imagens de alta resolução do satélite WorldView-II.

Com relação ao clima, as paisagens urbanas configuram-se em locais que modificam os elementos físicos e a dinâmica natural, interferindo na qualidade de vida da população, e essas alterações interferem com maior ou menor grau no clima urbano. Conforme Monteiro (1976), o clima urbano é uma modificação "substancial de um clima local", através das alterações da superfície que influencia, por exemplo, no conforto térmico.

Essas alterações provocam mudanças como aumento de calor, ventilação, até mesmo nas precipitações. Através da poluição do ar, essas alterações podem manifestar-se também, na composição da atmosfera. Assim, o clima urbano é formado por "um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização" (MONTEIRO, 1976, p. 95).

A formação de ilhas de calor nas cidades é uma das consequências desses fatores que podem ser amenizados através do aumento de áreas verdes e vegetadas nas cidades, utilização de materiais construtivos adequados, manutenção de corredores de ventilação através do desenho urbano, entre outros.

Através das informações de temperatura da superfície, temperatura do ar e umidade, podem contribuir para a análise da qualidade ambiental, já que as mudanças na temperatura, na direção dos ventos e na umidade, possuem relação direta com a forma de organização da cidade, através do uso da terra, das taxas de ocupação, da ausência de cobertura vegetal e dos padrões construtivos.

Optou-se por incorporar no mapeamento da qualidade ambiental as temperaturas do ar intra-urbanas. Para a verificação destas foram realizadas medidas em transectos móveis, no período noturno e em condições atmosféricas estáveis, nos percursos norte-sul e leste-oeste da cidade de Nova Andradina, com o apoio de sensores digitais, presos em haste de madeira com 1,5m de comprimento, acoplados na lateral de veículos (velocidade máxima de 20km/h). Com auxílio de um GPS foi registrado as coordenadas a cada trinta segundos, sincronizado com o sensor. Após essa coleta, os dados (x, y e z) foram especializados por técnicas de análise espacial com a interpolação de dados.

A vegetação é um elemento importante na análise da qualidade ambiental e para a qualidade de vida da população. Seu mapeamento foi realizado através de técnicas de sensoriamento remoto. Neste caso, foi aplicado o NDVI – Índice de vegetação de diferença normalizada, nas imagens do satélite Alos, bandas 4 (infravermelho próximo) e banda 3 (faixa do visível) (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). Posteriormente, foi realizada a classificação supervisionada da imagem NDVI segmentada, com o classificador *Battacharya*. Este classificador necessita de amostras da imagem segmentada. Após o mapeamento dos

indicadores, foi realizada a conversão das representações vetoriais para matricial, que é a necessária para aplicar a técnica de suporte à decisão (AHP) no Spring.

A TÉCNICA AHP - ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

O mapeamento da qualidade ambiental depende da espacialização de todos os indicadores, assim como o estabelecimento de critérios para quantificá-los. Este procedimento foi realizado através da técnica de suporte à decisão – AHP. Esta é uma importante ferramenta para estabelecer pesos em indicadores socioambientais devido à capacidade de incorporar e considerar decisões e critérios do pesquisador para a relação de importância entre os indicadores.

Esta técnica permite estimar os pesos para cada indicador, isto é, a contribuição relativa de cada um dos fatores envolvidos. Ela foi proposta por Thomas Saaty (1978), é denominada Técnica AHP (Analytical Hierarchy Process), a qual se baseia na lógica da comparação pareada, como detalham Correa e Camargo, (2010, p. 67):

O Processo Analítico Hierárquico é iniciado pelo tomador de decisão, ajustando uma hierarquia global de decisões. Esta estrutura identificará os fatores a serem considerados tão bem como as várias alternativas de decisão. Então, procedem-se através de comparações pareadas as quais resultarão na determinação dos pesos dos fatores e avaliações (CORREA e CAMARGO, 2010, p. 67).

De acordo com os autores Correa & Camargo (2010), o tomador de decisões, ou pesquisador, precisa organizar os indicadores de forma hierárquica para identificar os problemas do ambiente urbano. Através de uma comparação pareada entre estes indicadores, essa técnica determina os pesos para cada um.

Para a aplicação dessa técnica, o primeiro passo é a elaboração de uma listagem de importância relativa entre os indicadores. A técnica permite que diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão sejam comparados dois-a-dois e, através de um critério de importância relativa, é atribuído um ‘peso’ ao relacionamento entre os fatores, conforme uma escala pré-definida, apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - escala de valores AHP para comparação pareada

| Intensidade de importância | Definição |
|-----------------------------------|--|
| 1 | Importância Igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo |
| 2* | Importância Igual / Moderada |
| 3 | Importância Moderada: um fator é ligeiramente mais importante que o outro. |
| 4* | Importância Moderada / Essencial |
| 5 | Importância Essencial: um fator é claramente mais importante ou melhor que o outro. |
| 6* | Importância Essencial / Demonstrada |
| 7 | Importância Demonstrada: um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática. |

| | |
|----|---|
| 8* | Importância Demonstrada / Extrema |
| 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 |

Fonte: CORREA; CAMARGO, 2010 p. 68. Org.: autor

Conforme Câmara *et al* (2001, p. 268), a técnica AHP é uma “teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos”.

Na estruturação de um modelo hierárquico, através da comparação ponderada, todos os sub-critérios e critérios é calculado um valor de razão de consistência entre $[0, 1]$, sendo que “0” (zero) indica a completa consistência do processo de julgamento.

A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada indicador, é possível o estabelecimento de pesos que podem ser utilizados para a combinação dos diferentes mapas destes indicadores para analisar a qualidade ambiental urbana.

Para aplicar a técnica é aconselhável que o índice de consistência seja sempre menor que 0,1. Se for maior que 0,1, a sugestão será refazer o procedimento de comparação pareada entre os indicadores.

Se o índice de consistência for compatível com o recomendado, após o cálculo de pesos, o sistema salva uma rotina de programação no banco de dados para ser processada e manipulada no LEGAL. Como o mapa final não é gerado automaticamente, é necessário entrar com dados dos planos de informação nessa rotina e dados de saída para a geração de uma grade numérica com os valores da análise espacial. O mapa final somente é visualizado depois do processo de fatiamento e associação de classes temáticas.

A técnica AHP também é conhecida como *fuzzy* ponderado, em que os pesos de cada indicador podem ser definidos “empiricamente de modo heurístico ou por processos estatísticos” (CÂMARA, Gilberto *et al*, 2001, p. 14). Sendo assim, a avaliação do peso depende da análise da importância da evidência resultando num escalonamento das evidências, segundo um grau de importância relativa entre elas.

O resultado dos pesos dos indicadores levou em consideração os critérios estabelecidos e no valor da razão de consistência.

Relação de importância entre os indicadores - AHP

Considerou-se que os indicadores de densidade de vegetação e, principalmente, saneamento ambiental possuíram uma intensidade de importância superior aos demais indicadores, de acordo com a sua relevância para a qualidade ambiental urbana.

Além desses critérios, outro fator que foi considerado refere-se ao valor da razão de consistência, que foi de 0.009. Esse valor indicou a consistência dos critérios utilizados, já que, de acordo com Saaty (1990; 2003), se admite um valor de até 10%, ou seja, de até 0.1. Sendo assim, os valores atribuídos através da relação de importância foram adequados ao contexto dos indicadores utilizados para a análise (Figura 02).

Os pesos calculados possuem valores entre 0 e 1. Após o estabelecimento da relação de importância, foi gerado um script em extensão *.alg que foi manipulado no LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico).

Figura 2 – Critérios utilizados da relação de importância entre os indicadores socioambientais

| Critério | Peso | Critério |
|----------------|------|----------------------|
| DENSIDADE_VEGE | 3 | Algo Melhor |
| COBERTURA_SOLC | 3 | Algo Melhor |
| SANEAMENTO | 5 | Melhor |
| COBERTURA_SOLC | 2 | Um Pouco Melhor |
| DENSIDADE_VEGE | 9 | Absolutamente Melhor |
| DENSIDADE_VEGE | 1 | Igual |
| DENSIDADE_VEGE | 6 | Bem Melhor |
| SANEAMENTO | 9 | Absolutamente Melhor |
| TEMPERATURA_DC | 2 | Um Pouco Melhor |
| SANEAMENTO | 7 | Muito Melhor |

Razão de Consistência 0,009

Fonte: Spring 5.2.

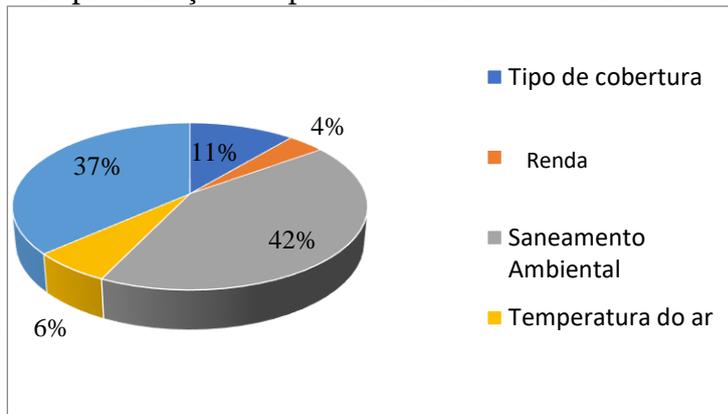
Esses pesos foram aplicados para a elaboração do mapa de qualidade ambiental de Nova Andradina, que estão apresentados na Tabela 02 e no gráfico 01.

Tabela 02 – Pesos dos indicadores

| Indicadores | Pesos |
|------------------------|-------|
| Tipo de cobertura | 0,111 |
| Classe de renda | 0,039 |
| Saneamento Ambiental | 0,422 |
| Temperatura do ar | 0,063 |
| Densidade de vegetação | 0,366 |

Fonte: Autor

Gráfico 01 – Representação dos pesos dos indicadores ambientais em porcentagem



Fonte: Autor

O peso do indicador de saneamento ambiental, como se observa na tabela 02 e no gráfico 01, representou 42% na análise de qualidade ambiental, seguido da densidade de vegetação, com 37%, tipos de cobertura com 11%, temperatura do ar com 11% e renda com 4%.

Considerou-se que a renda associada a outros fatores, como a inadequada infraestrutura pode interferir na qualidade ambiental, mas muitas vezes, de maneira indireta. Por isso, este indicador teve menos peso, se comparado a outros.

Estabelecimento de pesos para as classes dos indicadores

Foi necessário estabelecer manualmente os pesos de 0 a 1 para as classes de cada indicador na rotina de programação do LEGAL, antes do processamento, sendo que quanto mais próximo a 1, melhor a situação da classe do indicador.

Para o indicador “tipo de cobertura” foi atribuído maior valor para a classe “predominância de telha de cerâmica”, devido a sua baixa influência no aumento da temperatura local (Tabela 03).

Tabela 03 – Pesos das classes do indicador “tipo de cobertura”

| Tipo de cobertura | Pesos |
|---|-------|
| Predominância de telha de cimento | 0.1 |
| Predominância de telha metálica | 0.1 |
| Predominância de telha de cerâmica | 0.3 |
| Predominância mista de telhas de cerâmica e cimento | 0.15 |
| Predominância mista de telhas de cerâmica e metálica | 0.15 |
| Predominância mista de telhas de cimento e metálica | 0.1 |
| Predominância mista de telhas de cerâmica, cimento e metálica | 0.1 |

Elaboração: autor

Para o indicador de renda, como este influencia de forma indireta na qualidade ambiental, foram atribuídos valores de acordo com a tabela 04, considerando que a alta e a média concentração de renda, neste caso, foram atribuídos valor de 0.3. Porém, como a renda teve um peso apenas de 4%, considerando os outros indicadores, os valores das classes deste indicador não interferem diretamente no resultado.

Tabela 04 – Pesos das classes do indicador “renda”

| Concentração de renda | Pesos |
|-----------------------|-------|
| Muito alta | 0.3 |
| Alta | 0.3 |
| Média | 0.25 |
| Baixa | 0.15 |

Elaboração: autor

De acordo com a influência do saneamento ambiental para a qualidade ambiental, estabeleceu-se peso no valor de 0.7 para a classe “adequado”, seguida da “parcialmente adequado” com 0.3, e a classe “inadequado” valor zero. (Tabela 05).

Tabela 5 – Pesos das classes do indicador “saneamento ambiental”

| Saneamento ambiental | Pesos |
|-----------------------|-------|
| Adequado | 0.7 |
| Parcialmente adequado | 0.3 |
| Inadequado | 0 |

Elaboração: autor

Para o indicador de temperatura do ar, a classe “baixa” obteve maior peso, conforme a Tabela 06, por ser uma condição melhor no que se refere a qualidade ambiental.

Tabela 06 – Pesos das classes do indicador “temperatura do ar”

| Temperatura do ar | Pesos |
|-------------------|-------|
| Alta | 0.2 |
| Média | 0.3 |
| Baixa | 0.5 |

Elaboração: autor

Para as classes do indicador de densidade de vegetação, atribuíram-se os valores conforme a tabela 07, considerando a classe de “alta” densidade com valor 0.5, seguida da classe “média” densidade com 0.3 e a “baixa”, 0.2. Não foi atribuído peso para a classe “ausência de vegetação”, justificando-se o valor zero.

Tabela 07 – Pesos das classes do indicador “densidade de vegetação”

| Densidade de vegetação | Pesos |
|------------------------|-------|
| Alta | 0.5 |
| Média | 0.3 |
| Baixa | 0.2 |
| Ausência de vegetação | 0 |

Elaboração: autor

Os pesos foram estabelecidos considerando sempre o fator positivo para a vegetação, para o saneamento adequado e com maior peso para as coberturas com telhas de cerâmica.

MAPEAMENTO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA

A partir desses critérios e do processamento da rotina de programação do LEGAL, no Spring, gerou-se uma grade numérica na categoria MNT (modelo numérico do terreno) com valores entre 0 e 1, representando do menor para o maior valor da grade, considerando que os valores mais próximos a 1 correspondem a melhor qualidade ambiental.

A grade numérica de Nova Andradina apresentou os valores mínimo e máximo, respectivamente, com as cotas de 0.029550 e de 0.552950.

Para o mapeamento da qualidade ambiental a partir destes resultados, utilizou-se a técnica de fatiamento. Para isso, foi realizada a definição de fatias, ou seja, a separação das áreas com valores dentro de um intervalo predeterminado. Utilizou-se o valor inicial de 0 e o final de 1, que foram associadas a 5 classes temáticas. Para cada classe temática foi associada uma cor, variando do vermelho – que indica péssima qualidade ambiental, até o verde – que

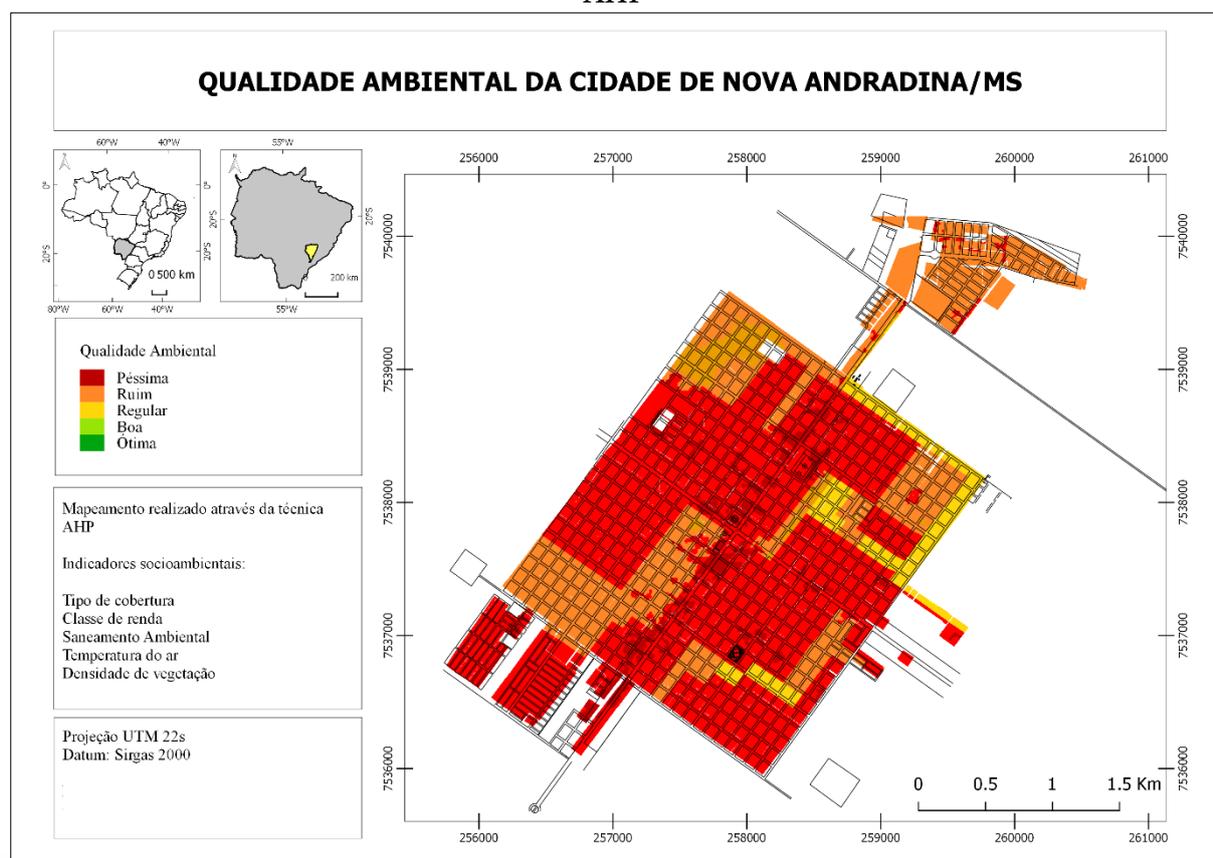
indica ótima qualidade ambiental (Figura 3). Assim, os valores gerados na grade, após o fatiamento, foram representados em cores que identificam a situação da qualidade ambiental de Nova Andradina.

Analisando os valores de cota máxima na grade numérica da cidade, ficou evidente que nenhuma área foi classificada como boa ou ótima qualidade ambiental, consoante os critérios e indicadores utilizados.

Considerando os indicadores e critérios apresentados neste artigo, a qualidade ambiental de Nova Andradina, pode ser considerada como regular em sua maioria e, em pontos específicos, como ruim, informação que pode ser visualizada tanto Figura 3, quanto no valor de cota máxima que foi de 0.552950, numa escala de 0 e 1. Esse resultado tem relação direta com a questão do saneamento ambiental, que teve maior influência na quantidade e presença de domicílios com esgotamento sanitário via fossa rudimentar, ou seja, fossa negra.

A influência desse tipo de esgotamento sanitário vai além do perceptível e do que pode ser medido nessas análises, devido a sua probabilidade de contaminação do solo e água. Além disso, o saneamento ambiental, a baixa densidade ou ausência de vegetação arbórea também influenciaram nos resultados. Observou-se em trabalhos de campo nas cidades a ausência da vegetação em muitos pontos, influenciando diretamente na qualidade ambiental.

Figura 3 – Mapa de qualidade ambiental da cidade de Nova Andradina, com o uso da técnica AHP



Não se pode, obviamente, deixar de considerar a importância dos demais indicadores para tais resultados, tendo em vista suas influências para os estudos de qualidade ambiental. Por isso, considerou-se, por exemplo, o indicador renda que interfere de forma indireta na maioria dos casos, mas que assume sua relevância na análise, por exemplo, ao ser associado com dados de saneamento e tipos de cobertura. Portanto, este foi considerado, mesmo tendo peso menor do que os demais.

Nova Andradina teve uma influência forte da ausência de vegetação na porção central da cidade, apresentando qualidade ambiental classificada como péssima.

CONCLUSÃO

Para compreender e avaliar a qualidade ambiental na complexidade dos ambientes urbanos foi importante analisar os indicadores que melhor os representam, pois a visão sistêmica e o pensamento holístico são fundamentais para a reconstrução e análise de uma realidade total (LEFF, 2006).

Com esta metodologia, através de técnicas de análises espaciais, foi possível mapear a qualidade ambiental urbana. Considera-se que os indicadores utilizados podem fazer parte de análises de qualidade ambiental em cidades médias e grandes, mas que sejam somados a outros, cuja relevância também deve ser repensada.

Conclui-se também que entre os indicadores, os de clima, que são importantes para estas análises, pois pode indicar interferências no conforto térmico e ilhas de calor. Os mapeamentos com base nas imagens de satélites continuam suas informações por pixel, diferente dos que tinham como base os setores censitários. Para resolver este problema, utilizou-se o remapeamento de todos os indicadores em manchas para facilitar a análise espacial e aplicação dos critérios.

No mapa final de qualidade ambiental, muitas áreas de ambas as cidades foram representadas com uma transição abrupta entre as classes, devido aos limites fixos dos mapas das variáveis por setores censitários. Uma possibilidade é o uso da lógica fuzzy no mapeamento das variáveis.

O resultado da qualidade ambiental teve interferência direta no peso do indicador de saneamento ambiental e de vegetação. A cidade de Nova Andradina possuía, em quase 80% da área urbana esgotamento sanitário via fossa, e sua maioria era rudimentar.

Muitas vezes, o que não está visível influencia muito mais negativamente na qualidade ambiental do que os fatores aparentemente visíveis, como é o caso das fossas rudimentares, cujos problemas são muito difíceis medir e quantificar, podendo contaminar os solos e as águas.

A cidade não apresentou boa ou ótima qualidade ambiental, de acordo com os indicadores selecionados e critérios utilizados. Isso mostra a grande importância do papel da gestão e planejamento urbano mesmo em cidades pequenas. Toda discussão que permeia a qualidade ambiental urbana também inclui, de certa forma, a preocupação com a qualidade de vida.

Nova Andradina possui ausência de vegetação na área central da cidade e, no geral, a baixa densidade de vegetação arbórea que também influenciaram nos resultados, isso foi observado tanto pelas imagens de satélite quanto em trabalhos de campo.

A visão integrada de vários elementos da paisagem urbana qualifica as análises e auxilia na possibilidade de leituras mais amplas para (re)pensar estratégias de intervenção, não apenas para melhorar o que está ruim, mas para alcançar uma qualidade ambiental que seja a ideal às cidades e às pessoas que nelas vivem.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G. *et al.* **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 09/05/2018.

CÂMARA, Gilberto *et al.* **Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas.** Relatório técnico, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_suporte_decisao.pdf> acesso em 09/05/2018.

CARDOZO, Francielle da Silva; Herrmann, Maria Lúcia de Paula. **Uso da técnica AHP no mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4134

CORREA, Virgínia; CAMARGO, Eduardo Celso Gerbi. **Análise multi-critério.** In: **Apostila do curso de Análise espacial de dados geográficos.** INPE, 2010 p. 67-85

LEFF, Enrique. **Epistemologia Ambiental.** 4 ed. São Paulo: Cortez, 2006.

LIMA, Valéria. **A sociedade e a natureza na paisagem urbana: análise de indicadores para avaliar a qualidade ambiental.** 2013. 358 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013.

MACHADO, Lucy Marion Calderini Philadelpho. **Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos.** In: Indicadores Ambientais. MARTOS,

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: USP/IG, 1976.

PERLOFF, Harvey S. **La calidad Del medio ambiente urbano.** Barcelona/Espanha: Oikos-tau S.A..

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yoshio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007.

SAATY, Thomas L. **Decision-marking with the AHP: why is the principal eigenvector necessary.** European Journal of Operational Reserch, North-Holland, v. 145, p. 85-91, 2003.

SAATY, Thomas L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process.** European journal of operational Reserch, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

SPRING: **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.** Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

Recebido em: 16/10/2017

Aprovado para publicação em: 27/05/2018