

Criação de um índice de condição socioambiental com múltiplos parâmetros para avaliação da qualidade ambiental urbana

Leonardo Rodrigues de Deus¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹
Iris de Marcelhas e Souza¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ldedeus, leila}@dpi.inpe.br
iris@dsr.inpe.br

Abstract. The development of methods to measure the quality of the urban environment is important for the management of urban space. Given this, the objective of this work is to construct an index of socio-environmental condition integrating several variables obtained from remote sensing data and census data. Were used two images WorldView 2, a thermal imaging Landsat-TM, and a set of spreadsheets census of 2010 to generate 15 variables. All variables were aggregated to census tracts in the study area and was used the method of overlapping layers in GIS environment to build the proposed index. Each variable was ranked in 5 thematic classes, and each class was weighted with values from 1 to 5 according to their influence to the socio-environmental condition, and then the variables were summed to obtain the index. Besides the socio-environmental condition index, the variables were grouped for creating three intermediate indexes: index of environmental condition; index of socioeconomic condition; density index of space occupation. The results show that the index of socio-environmental condition is suitable for provide a summary of the socio-environmental conditions of the study area based on analysis of a set of variables obtained from different sources, beyond methodology used to enable analysis of the influence of the intermediate indices and of the variables in the computation of the final index.

Palavras-chave: remote sensing-GIS integration, urban analysis, overlapping layers, WorldView 2 image, integração entre sensoriamento remoto e GIS, análise urbana, sobreposição de camadas, imagem WorldView 2.

1. Introdução

Segundo dados das Nações Unidas, em meados de 2009, o número de pessoas vivendo em áreas urbanas superou o número de pessoas que vivem em áreas rurais, e desde então o mundo se tornou predominantemente urbano (UNITED NATIONS, 2010).

Embora a urbanização tenha proporcionado oportunidades sociais e culturais aos cidadãos, ela trouxe também a ameaça de degradação ambiental, devido à possibilidade de deslizamentos de encostas, enchentes e aumento da temperatura local, à poluição, aos congestionamentos, aos ruídos, à redução da área verde e espaços livres, aumentando a pressão sobre os recursos naturais e contribuindo para a deterioração do espaço urbano (MA et al., 2010; NUCCI et al., 2005; XU, 2010).

Estes problemas têm levado a preocupação com a qualidade ambiental urbana a assumir um papel importante na gestão do espaço urbano, visto que ela é tratada como elemento fundamental para o alcance da melhoria da qualidade de vida dos cidadãos, além da sociedade estar cada vez mais consciente que os seres humanos são componentes do ambiente natural, e que a saúde humana está ligada às condições ambientais (GOMES; SOARES, 2004; JACKSON, 2003). A avaliação da qualidade ambiental urbana pode fornecer um entendimento amplo das condições ambientais da cidade e auxiliar no estabelecimento de prioridades que garantam a proteção ambiental (HAIYAN, 2002). Mas a qualidade ambiental urbana é uma questão complexa, que pode ser avaliada a partir de uma variedade de perspectivas, por meio da interação de diversos fatores físicos, econômicos e sociais, obtidos de diferentes fontes de dados e em diferentes escalas, sendo que a quantidade e diversidade de variáveis utilizadas determinam a amplitude da análise (LIANG; WENG, 2011).

Portanto, estudos que buscam o desenvolvimento de métodos capazes de mensurar a qualidade do ambiente urbano segundo diferentes perspectivas tornam-se importantes na gestão do espaço urbano, sendo uma ferramenta para avaliar e auxiliar na proposição de políticas públicas que proporcionem desenvolvimento sustentável e melhoria da qualidade de vida da população.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho consiste na criação de um índice de condição socioambiental, com base na integração de variáveis obtidas de dados de sensoriamento e dados censitários, que sirva como um instrumento para avaliação da qualidade ambiental urbana.

2. Metodologia

A área de estudo deste trabalho é cidade de Uberlândia-MG, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba do estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil (DINIZ; BATELA, 2005). A Figura 1 ilustra a localização geográfica da cidade no contexto nacional.

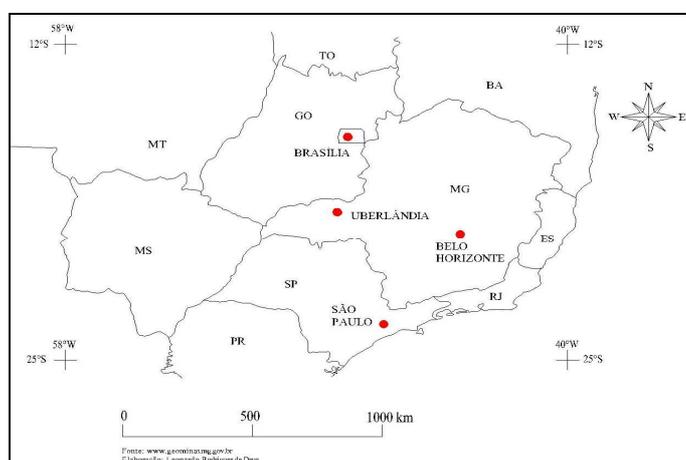


Figura 1. Localização geográfica de Uberlândia-MG.

2.1 Obtenção das Variáveis

Foram utilizados três conjuntos de dados para a produção das variáveis consideradas no estudo:

- duas imagens WorldView II, uma de 14/09/2010 e outra de 19/04/2011, com 8 bandas multiespectrais e resolução espacial de 2m, que juntas formam um mosaico contendo toda a mancha urbana da área de estudo;
- uma imagem da Banda 6 (infravermelho termal) do sensor TM, a bordo do satélite Landsat 5, de 09/10/2010, com resolução espacial de 120m;
- conjunto de planilha contendo dados do censo demográfico de 2010, agregados por setores censitários.

Ao todo foram produzidas 15 variáveis a partir dos dados disponíveis para o estudo, e todas foram agregadas para os 634 setores censitários que compõem a área de estudo.

A partir das planilhas do censo demográfico de 2010, após alguns cálculos entre os dados brutos, foram obtidas 10 variáveis:

- V01: porcentagem de domicílios com arborização no entorno;
- V02: porcentagem de domicílios com esgoto a céu aberto no entorno;
- V03: porcentagem de domicílios com lixo acumulado no logradouro no entorno;
- V04: renda média dos domicílios (R\$);

- V05: renda média dos chefes de família (R\$);
- V06: porcentagem de chefes de família sem rendimento;
- V07: porcentagem de pessoas alfabetizadas com 5 anos ou mais de idade;
- V08: porcentagem de chefes de família alfabetizados;
- V09: densidade populacional (habitantes/hectare);
- V10: densidade residencial (residências/hectare);

Das imagens WorldView II foram obtidas 4 variáveis, sendo duas referentes à presença de vegetação e outras duas referentes à presença de superfícies artificiais. Estas variáveis foram obtidas pelo NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), Equação 1, e pelo NHFD (Non-Homogeneous Feature Difference), Equação 2, proposto por Wolf (2010).

$$NDVI = \frac{NIR1 - R}{NIR1 + R} \quad (1)$$

$$NHFD = \frac{RedEdge - Coastal}{RedEdge + Coastal} \quad (2)$$

O NDVI é o índice de vegetação mais empregado em estudos que buscam medir quantidade de biomassa ou vigor da vegetação, sendo úteis em revelar a condição fisiológica e a distribuição da vegetação (FUNG; SIU, 2000). Já o NHFD, busca a partir das novas bandas espectrais do sensor WorldView 2, Costal e Vermelho Borda, destacar as feições não homogêneas da cena, sendo um índice útil para destacar áreas construídas (WOLF, 2010).

Para gerar os dois índices as imagens passaram por um processo de correção atmosférica pelo método de subtração do objeto escuro, e em seguida os níveis digitais foram convertidos em valores de radiância, utilizando o utilitário de calibração para WorldView 2 disponível no software ENVI 4.8, e por fim foi gerado as imagens índices, segundo as equações mostradas anteriormente. Como para as imagens NHFD, as áreas de interesse aparecem com os valores mais baixos, estas imagens foram multiplicadas por menos um (-1) para que o processo de interpretação fosse o mesmo da imagem NDVI. Além disso, os locais com presença de água e nuvem apareceram bem destacados na imagem NHFD, e uma máscara foi produzida manualmente e empregada para que estes locais fossem excluídos do resultado final.

De posse das imagens índices, foi extraído o valor médio dos índices para cada setor censitário da área de estudo, gerando assim duas variáveis:

- V13: média do NDVI dentro do setor;
- V14: média do NHFD dentro do setor.

Na sequência as imagens índices foram limiarizadas para se obter os locais com presença de vegetação e de superfícies artificiais na área de estudo. Dado que a área de estudo é formada por duas imagens que são de datas diferentes, cada imagem foi processada e limiarizada separadamente, e apenas o resultado final destacando os locais com presença de vegetação e de superfícies artificiais foi mosaicado.

A partir destes processos foram gerados as outras duas variáveis extraídas das imagens WorldView 2:

- V11: porcentagem de área coberta por vegetação dentro do setor;
- V12: porcentagem de área coberta por superfícies artificiais dentro do setor.

A última variável empregada no estudo foi obtida através da banda do infravermelho termal da imagem Landsat-TM:

- V15: média da temperatura aparente dentro do setor (°C).

Para obtenção da imagem de temperatura aparente foi utilizada a metodologia descrita por Chander e Markham (2003). Para que a temperatura fosse representada em graus Celsius, os valores da imagem de temperatura aparente foram subtraídos por 273,15. Todo o processamento da imagem Landsat-TM foi realizado no software SPRING 5.1.6.

2.2 Integração das Variáveis e Construção do Índice

Com todas as variáveis agregadas para os setores censitários da área de estudo, cada variável foi classificada em 5 classes temáticas, utilizando o método de passo igual. Em seguida as classes temáticas de cada variável foram ponderadas, com valores variando de 1 a 5, segundo a sua influência para a condição socioambiental no setor, sendo que valores mais altos indicam situação desejável para melhor condição socioambiental. Para as variáveis V01, V04, V05, V07, V08, V11 e V13 os valores mais altos foram considerados como desejáveis para a melhor condição socioambiental. Já para as variáveis V02, V03, V06, V09, V10, V12, V14 e V15, os valores mais baixos é que são desejáveis para a melhor condição socioambiental.

Antes de criar o índice final as variáveis foram agrupadas em três grupos diferentes: variáveis relacionadas à questão ambiental; variáveis relacionadas à questão socioeconômica; e variáveis relacionadas à densidade de ocupação do espaço. O primeiro grupo foi composto por seis variáveis: V01, V02, V03, V11, V13, V15. O segundo foi composto por cinco variáveis: V04, V05, V06, V07, V08. E o terceiro grupo foi composto por quatro variáveis: V09, V10, V12, V14.

Para cada grupo, as variáveis definidas foram somadas, e os resultados foram normalizados entre 0 e 1, produzindo três indicadores intermediários: índice de condição ambiental; índice de condição socioeconômica; índice de densidade de ocupação do espaço.

Por fim, para a geração do índice de condição socioambiental todas as variáveis foram somadas, e o resultado final foi normalizado entre 0 e 1.

Todos os procedimentos realizados nesta etapa foram executados no software SPRING 5.1.6.

3. Resultados e Discussão

O índice de condição ambiental leva em consideração as variáveis relacionadas à presença de vegetação nos setores (V01, V11, V13), à existência de lixo acumulado e esgoto a céu aberto no entorno dos domicílios (V02, V03), e à temperatura média no setor (V15). Após a soma das variáveis para geração deste índice os valores esperados poderiam variar entre 6 e 30, mas o resultado obtido variou entre 9 e 30. Os valores mais baixos deste índice indicam menor presença de vegetação nos setores, e mais ocorrência de lixo acumulado nos logradouros e esgoto a céu aberto no entorno dos domicílios, além de uma temperatura média mais alta nestes setores.

A Figura 2 mostra a porcentagem de setores censitários por classe temática do índice de condição ambiental após os valores obtidos pela soma das variáveis terem sido normalizados entre 0 e 1. Observa-se nesta figura que 76% dos setores censitários têm valores intermediários em relação à condição ambiental, o que sugere condição aceitável, mas passível de melhoras. Pouco mais de 11% dos setores foram classificados com índice entre 0,6 e 0,8, que pode ser visto como uma boa condição ambiental, e apenas aproximadamente 4% dos setores tem uma condição ambiental ótima (valores entre 0,8 e 1,0). Os demais setores censitários, 8% do total, foram classificados com valores menor ou igual a 0,4, o que indica uma condição ambiental baixa, com predominância das variáveis que contribuem de forma negativa para o índice.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial do índice de condição ambiental. Observa-se que os setores com pior condição ambiental estão agrupados na região nordeste da cidade, no bairro Dom Almir. Os setores nesta condição possuem ainda falta de infraestrutura urbana, além pouquíssima presença de arborização, levando assim a uma baixa condição ambiental. Para os setores com valores do índice entre 0,2 e 0,4, observa-se um agrupamento na região central, outro no bairro Dom Almir, e um terceiro agrupamento na região sul, no bairro Granada. Analisando as variáveis que compõem este índice, observa-se que cada agrupamento

é explicado por variáveis diferentes. Na região central, a ausência de arborização e a temperatura média mais elevada são os contribuintes para os baixos valores de condição ambiental. Para os setores no bairro Dom Almir, a ausência de arborização é fator condicionante para os baixos valores. Enquanto que para os setores da região sul, a presença de lixo acumulado nos logradouros é quem mais contribui para os baixos valores. Já os valores mais altos do índice ocorrem nos setores que apresentam destacada presença de arborização, além de temperaturas mais amenas e não apresentam problemas de esgoto a céu aberto e lixo acumulado nos logradouros.

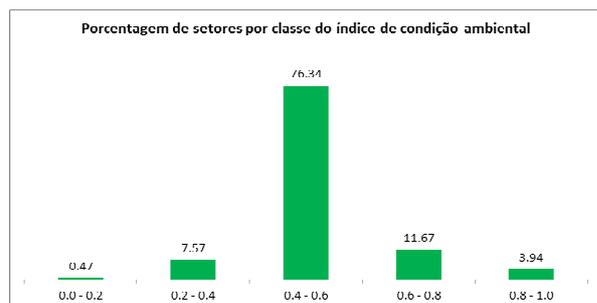


Figura 2. Porcentagem de setores por classe temática do índice de condição ambiental.

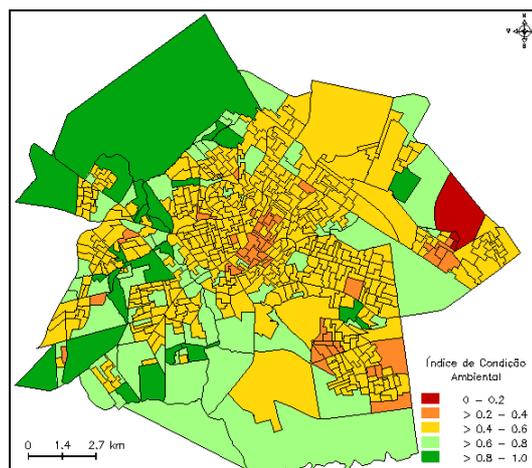


Figura 3. Distribuição geográfica do índice de condição ambiental.

O índice de condição socioeconômica considera as variáveis relacionadas a renda (V04, V05, V06), e a escolaridade (V07, V08). Os valores somados destas variáveis variaram entre 9 e 25. Sendo que os valores mais altos indicam setores com mais pessoas alfabetizadas e com renda média mais alta.

A Figura 4 mostra que, assim como para o índice de condição ambiental, a grande maioria dos setores censitários (78%), teve valores intermediários para o índice de condição socioeconômica após a normalização. Como as variáveis relacionadas a escolaridade apresentaram valores altos para toda a cidade, com mais de 97% dos setores classificados para as classes mais altas das duas variáveis, o fator renda foi o responsável pelos valores intermediários do índice de condição socioeconômica, indicando que predomina na cidade população de renda média.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial do índice de condição socioeconômica, sendo destacada a ocorrência em toda a área de estudo dos setores com valores intermediários do índice. Os setores com os valores mais altos para este índice (0,8 a 1,0) ocorrem na região central da cidade, nos bairros Fundinho e Tabajaras, e em direção a região sul, onde é marcante a presença de vários condomínios fechados. Os setores com valores entre 0,6 e 0,8 também apresentam uma tendência de agrupamento da região central em direção a região sul, mas observa-se alguns agrupamentos menores na região leste, no bairro Santa Mônica, na região norte, nos bairros Umuarama e Alto Umuarama, além do bairro Morada do Sol, na região oeste, que é um grande condomínio fechado com características de chácaras de lazer. Os setores que apresentam valores baixos para o índice são justamente os setores onde a renda média pessoas é mais baixa, e onde se encontram o maior número de chefes de família sem rendimento.

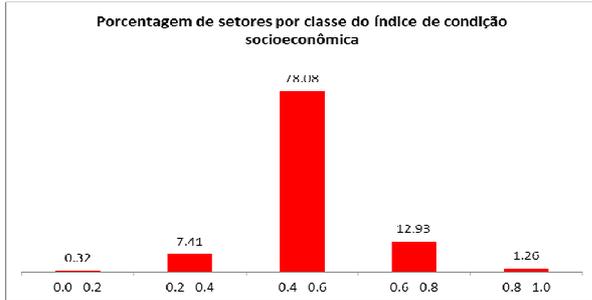


Figura 4. Porcentagem de setores por classe temática do índice de condição socioeconômica.

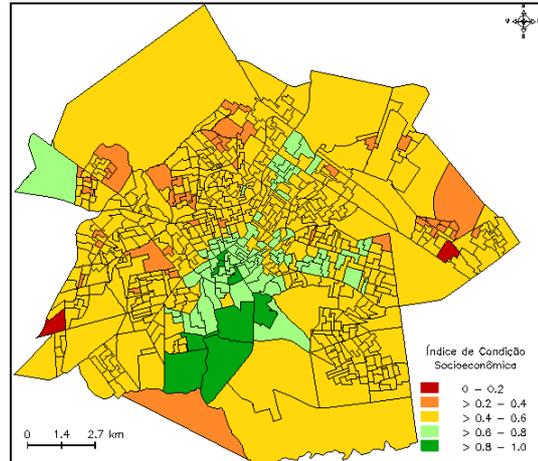


Figura 5. Distribuição geográfica do índice de condição socioeconômica.

Em relação ao índice de densidade de ocupação do espaço as variáveis consideradas são as variáveis que analisam a densidade populacional e a densidade residencial (V09 e V10), e as variáveis relacionadas ao índice NHFD (V12 e V14), que indica presença de área construída. A soma destas variáveis resultou em valores entre 5 e 20, com os valores mais altos indicando menos área construída dentro do setor, e menor densidade populacional e residencial, portanto mais espaço livres ocorrem no setor, contribuindo de forma positiva para o índice de condição socioambiental.

A Figura 6 mostra uma predominância de setores censitários com valores médios a altos para o índice de densidade de ocupação do espaço, o que indica que em sua maior parte a cidade é constituída por setores que tem densidade de média a baixa.

A Figura 7 mostra a distribuição espacial do índice de densidade de ocupação do espaço. De maneira geral observa-se que a região central da cidade concentra os setores censitários mais densamente ocupados, e a medida que se direciona para as bordas da cidade a densidade é menor. Fora da região central algumas áreas aparecem com densidade alta na região oeste da cidade, nos bairros Tocantis, Luizote e Planalto, que são bairros afastados do centro da cidade mas possuem uma urbanização consolidada.

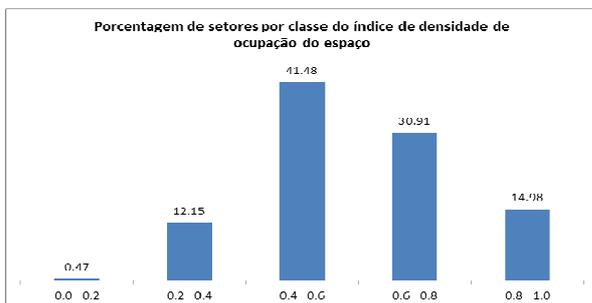


Figura 6. Porcentagem de setores por classe temática do índice de densidade de ocupação.

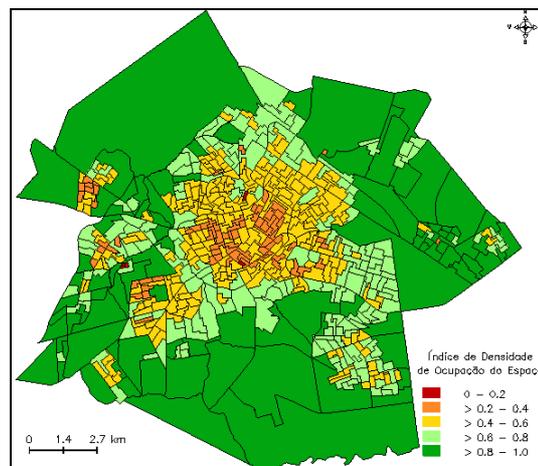


Figura 7. Distribuição geográfica do índice de densidade de ocupação do espaço.

Com a integração de todas as variáveis obteve-se o índice de condição socioambiental, que apresenta um diagnóstico sintético da cidade em relação às variáveis analisadas. Após a

soma de todas as variáveis os valores esperados poderiam variar entre 15 e 75, e o resultado obtido variou de 40 a 71. Este resultado mostra que não existem setores onde acontece de todas as variáveis terem a pior situação possível para a composição do índice de condição socioambiental.

A Figura 8 destaca que mais de 90% dos setores da cidade tem valores médios a baixos para o índice de condição socioambiental, indicando que a cidade carece de melhorias relacionadas a algum dos três índices previamente analisados. Observa-se que quase 60% dos setores foram classificados com valores entre 0,2 e 0,4, que pode ser qualificado como uma condição ambiental ruim, e quase 10% dos setores foram classificados com os valores mais baixos do índice, o que qualifica uma condição socioambiental péssima. Menos de 8% dos setores foram classificados com valores acima da média.

A Figura 9 ilustra a distribuição espacial do índice de condição socioambiental, e mostra que apenas 5 setores censitários foram classificados com valores acima de 0,8 para o índice de condição socioambiental. Os três setores agrupados na região sul da cidade coincidem com uma parte da cidade marcada pela ocorrência de loteamentos fechados de alto padrão, com baixa densidade, renda alta e presença de arborização, assim como acontece com o setor localizado na região oeste da cidade, que também é um condomínio fechado. O setor localizado na região sudoeste, se refere a um setor com loteamento de chácaras, e embora não seja tenha sido classificado como de alta renda, é um setor com densidade muito baixa e com presença de muita arborização, o que contribuiu para que o índice de condição socioambiental fosse alto. Os setores com os valores mais baixos (0 – 0,2) ocorrem com mais destaque na região central da cidade, onde a presença de arborização é baixa e a densidade de ocupação é mais alta, e os demais setores classificados com os valores mais baixos também obedecem a essa mesma premissa, sendo que apenas para os setores localizados na região leste da cidade o índice de condição socioeconômica destes setores contribuiu de forma mais enfática para os baixos valores de condição socioambiental. O restante da cidade, com setores com valores entre 0,2 e 0,8, são resultado da gama de valores possível de se obter ao integrar todas as variáveis, e as áreas com urbanização mais consolidada apresentam os valores mais baixos, enquanto os setores que com valores mais altos coincidem com setores pouco urbanizados.

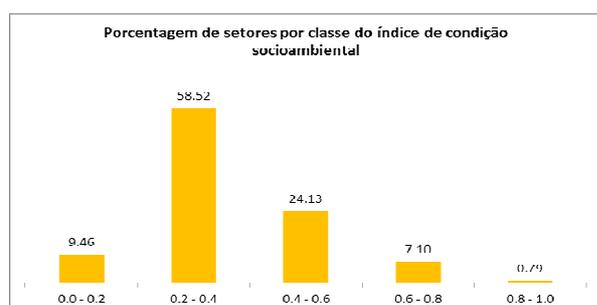


Figura 8. Porcentagem de setores por classe temática do índice de condição socioambiental.

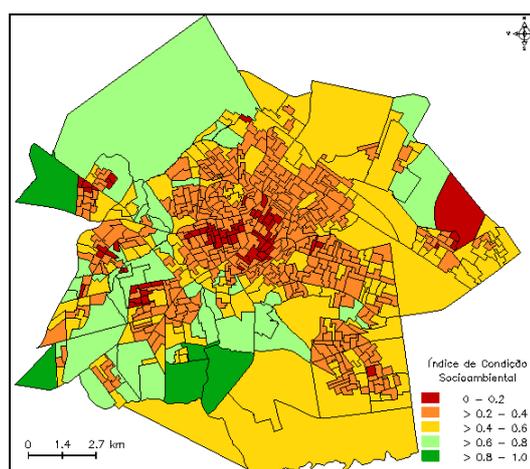


Figura 9. Distribuição geográfica do índice de condição socioambiental.

4. Considerações Finais

O índice de condição socioambiental mostrou-se adequado para apresentar uma síntese da condição socioambiental da área de estudo com base na análise de um conjunto de variáveis obtidas de diferentes fontes, indicando quais áreas da cidade apresentam boa condição e quais

necessitam de melhorias em determinado fator, sendo portanto, uma ferramenta útil para conhecimento e gestão do espaço urbano.

Os resultados obtidos indicaram que os índices de condição ambiental e de densidade de ocupação do espaço tiveram mais influência no cômputo do índice de condição socioambiental, visto que, de maneira geral, as áreas com menor taxa ocupação e consequentemente mais presença de vegetação foram os setores que alcançaram os valores mais altos para o índice.

A metodologia empregada se mostrou adequada para este tipo de trabalho, pois permite, além da análise sintética da condição socioambiental através do índice final, que os diferentes fatores sejam analisados separadamente, inclusive possibilitando avaliar a contribuição de cada variável na construção dos índices intermediários e final.

Um estudo de pesquisa de opinião sobre a condição socioambiental de onde as pessoas moram e trabalham pode ser realizada para investigar se os resultados serão coerentes com os obtidos pelo índice criado e assim validar o mesmo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Digital Globe por disponibilizar as imagens WorldView 2 utilizadas neste estudo.

Referências Bibliográficas

- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n. 11, 2003.
- Diniz, A. M. A.; Batella, W. B. O Estado de Minas Gerais e suas regiões: um resgate histórico das principais propostas oficiais de regionalização. *Sociedade e Natureza*, v. 17, n. 33, p. 59-77, Dez. 2005.
- Gomes, M. A. S.; Soares, B. R. Reflexões sobre qualidade ambiental urbana. *Estudos Geográficos*, v. 2, n. 2, p. 21-30, 2004.
- Fung, T.; Siu, W. Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 5, p. 1011-1024, 2000.
- Haiyan, W. Assessment and prediction of overall environmental quality of Zhuzhou City, Hunan Province, China. *Journal of Environmental Management*, v. 66, n. 3, p. 239-340, 2002.
- Jackson, L. E. The relationship of urban design to human health and condition. *Landscape and Urban Planning*, v. 64, n. 4, p. 191-200, 2003.
- Liang, B.; Weng, Q. Assessing urban environmental quality change of Indianapolis, United States, by the remote sensing and GIS integration. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 4, n. 1, p. 43-55, 2011.
- Ma, Y.; Kuang, Y.; Huang, N. Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 12, p. 110-118, 2010.
- Nucci, J. C.; Kroker, R.; Schmidt, E.; Buccheri Filho, T. Mapeamento da qualidade ambiental urbana. In: *International Congresso n Environmental Planning and Management*, 11-15 September, 2005, Brasília. **Proceedings ...** Brasília: 2005.
- United Nations. **World urbanization prospects: the 2009 revision**. New York: United Nations, 2010.
- WOLF, A. Using WorldView-2 Vis-NIR MSI imagery to support land mapping and feature extraction using normalized difference index ratios. *Digital Globe 8-Band Research Challenge*, pp. 1-13, 2010.
- Xu, H. Analysis of impervious surface and its impacts on urban heat environment using the normalized difference impervious surface index (NDISI). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 76, n. 5, p. 557-565, 2010.