

## Gradiente da qualidade ambiental entre oito áreas urbanas do nordeste do estado de São Paulo com o uso de NDVI

Polyanna da Conceição Bispo<sup>1</sup>  
Márcio de Morisson Valeriano<sup>1</sup>  
Carlos Henke de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{polyanna, valerian }@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Biológicas; Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Av. 7 de setembro, centro; 97000000; Erechim-RS, Brasil  
carloshenke@uricer.edu.br

**Abstract.** This paper aims to analyze its use to identify environmental quality gradient among eight cities located on northeast of São Paulo State, Brazil, as indicated by the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data from orbital sensors. NDVI was derived from Landsat 5 satellite data and the processing was accomplished with IDRISI 32 and Mapinfo 4.1 Geographic Information Systems. The data were analyzed according to statistical linear correlation and analysis of variance (ANOVA). An ANOVA was applied as a test for NDVI variation between the sites (8 urban areas and 3 physiognomies references). To check whether there were differences considering the location (8 cities) and context (or surrounding urban core) ANOVA was applied with two factors. Faced with rejection of the null hypothesis indicating significant differences, Tukey's test was applied to identify homogeneous groups for average values of NDVI. Statistical differences among cities and its neighbors were identified. NDVI for natural physiognomies and agricultural systems (sugar-cane) supplied data to compare urban and non-urban sites and allow us to establish each urban nucleus on a specific position inside a gradient from the typical regional natural vegetation to an intensive managed agro-ecosystem. However it was found no statistical correlation among NDVI for cities, populational density and per capita income, suggesting that the urban environmental quality is better explained by a combination of several aspects related to the urban structure and territorial occupation history for each city.

**Palavras-chave:** urbanization, geographic information systems, green area, urbanização, sistemas de informações geográficas, áreas verdes.

### 1. Introdução

O processo de urbanização consiste na forma mais notável de adensamento populacional humano. No Brasil, seja por processos migratórios ou pela manutenção de taxas de natalidade e longevidade relativamente altas, as cidades reúnem 83.5% dos habitantes em menos de 4% do território nacional (IBGE, 2000). Esta grande concentração de pessoas promove a expansão urbana e a conseqüente redução das matas no entorno imediato destas cidades, bem como em seu interior (exceto pela presença de espaços verdes públicos).

Do ponto de vista ecológico, as cidades são sistemas heterotróficos e apresentam um elevado consumo energético *per capita* em função da concentração de serviços, indústrias, além do próprio adensamento populacional. Conseqüentemente, as áreas urbanas apresentam saídas altamente tóxicas e prejudiciais aos sistemas rurais e naturais do entorno (Odum, 1988), sendo responsável por uma considerável modificação da paisagem local e circundante (McDonnell e Pickett, 1990). As áreas construídas produzem efeitos sobre as taxas de evapotranspiração, umidade relativa e temperatura do ar, formação de ilhas de calor e o favorecimento de inundações e assoreamento dos rios (Odum, 1988; Gilbert, 1991). Dentro deste contexto, as áreas verdes são de grande importância para a manutenção e melhoria da qualidade ambiental urbana, pois garantem a interceptação, absorção e reflexão da radiação luminosa e a fotossíntese funcionando como um moderador climático. Atuam, também, na biofiltração, na contenção de processos erosivos, na infiltração de água pluvial, nos movimentos de massas de ar, no fluxo de organismos entre fragmentos rurais e o meio

urbano, na atenuação sonora e na melhoria estética das cidades (Henke-Oliveira, 1996). Pode-se, portanto, considerar que a qualidade ambiental nas cidades é em parte assegurada pela manutenção das áreas verdes.

A avaliação dessa qualidade ambiental urbana fornece informações úteis aos tomadores de decisão quanto ao planejamento urbano. Entretanto, tal avaliação carece de metodologias que propiciem certo dinamismo no seu diagnóstico. Além disso, ainda não existem procedimentos que englobem todas as características necessárias para investigar as diversas facetas desta questão através de um indicador de qualidade ambiental unificado. Diante desta dificuldade, uma alternativa viável é o uso de índices espectrais de vegetação e em especial o NDVI para tal avaliação. Este se apresenta como uma forma eficaz para um diagnóstico geral, preliminar, rápido e menos dispendioso, podendo ser aplicado no estudo e no entendimento da urbanização e da qualidade ambiental urbana local e regional. Aliando-se ao NDVI os dados do Censo populacional, tais como índices de qualidade de vida relacionados à localização, tamanho das residências e status econômico é possível se explorar a qualidade ambiental da paisagem urbana (Weber, 1992; Lo e Laber, 1997; Fung e Siu, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é posicionar o NDVI de oito cidades localizadas no nordeste do Estado de São Paulo (núcleos urbanos e entornos) em relação às fisionomias referência (cana de açúcar, cerrado, cerradão) alocando-as num gradiente de qualidade ambiental e verificar se os valores do NDVI referentes aos núcleos urbanos estão relacionados com a densidade populacional e renda per capita.

## 2. Material e métodos

Este trabalho teve como âmbito geográfico às cidades do entorno da Estação Ecológica do Jataí situadas entre as coordenadas 21°15' e 22°15' de latitude Sul e 47°15' e 48°15' de longitude Oeste (Figura 1).

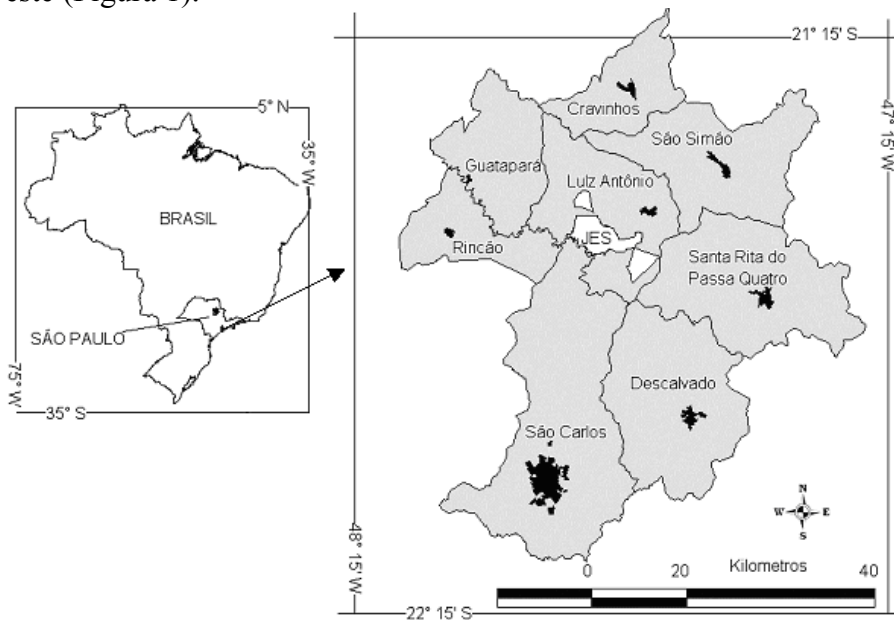


Figura 1. Área de estudo: as manchas escuras indicam os núcleos urbanos das oito cidades; no centro, em tom mais claro, se situa a Estação Ecológica do Jataí.

Tratam-se de oito áreas urbanas representadas pelas sedes dos municípios abrangidas pelo Rio Médio Mogi – Guaçú. São eles: Luis Antônio, Santa Rita do Passa-Quatro, São Carlos, Rincão, São Simão, Descalvado, Guataparã e Cravinhos. A inclusão da Estação Ecológica do Jataí neste estudo é devido a sua importância como fonte de dados NDVI para comparação entre as cidades e as fitofisionomias típicas do bioma Cerrado existentes nessa Unidade de Conservação.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizadas atividades de campo, formação do banco de dados e análise dos dados. As atividades de campo foram conduzidas usando o receptor GPS Garmim Etrex, um computador compacto, o SIG (Sistema de Informação Geográfica) GPS Trackmaker e uma imagem Landsat 5 de setembro (período seco, correspondente ao inverno) de 1997 em composição colorida falsa cor (bandas TM 3,4 e 5). Estas informações foram armazenadas em formato vetorial. Foram estabelecidos buffers de 500 metros ao redor de cada núcleo urbano para distinguir dois contextos espaciais: uma área urbanizada e seu entorno imediato. Para ambos os contextos foram extraídos dados de NDVI das bandas 3 e 4 (bandas do infravermelho e vermelho) da imagem Landsat, através do módulo “vegindex” do *software* SIG-IDRISI 2.0 (Estman,1997). Estas informações constituíram uma base de dados relacional feita no Mapinfo 4.1. Adicionalmente, foram definidas três áreas de referência representadas pelo cobertura/uso do solo distintos: cerrado *stricto sensu*, cerrado e culturas de cana de açúcar. As fisionomias Cerrado e o Cerradão situadas na Unidade de Conservação (Estação Ecológica de Jataí foram digitalizadas) foram digitalizadas, assim como os polígonos da cultura de açúcar de cana situada na vizinhança da Estação Ecológica do Jataí. As áreas da referência foram consideradas como fontes de dados de NDVI controle para comparação com os valores obtidos nas áreas urbanas das cidades e seus entornos imediatos.

Os dados foram analisados segundo estatísticas de correlação linear e análise de variância (ANOVA). Uma ANOVA foi aplicada como forma de testar variações de NDVI entre os locais (8 núcleos urbanos e 3 fisionomias referências). Para verificar se havia diferenças considerando o local (8 cidades) e o contexto (núcleo urbano ou entorno) foi aplicada uma ANOVA dois fatores. Diante da rejeição da hipótese nula, indicando haver diferenças significativas, foi realizado o teste a *posteriori* de Tukey (Linton e Harder, 2007), visando identificar grupos homogêneos para valores médios de NDVI. Adicionalmente, a densidade populacional urbana e renda per capita foram exploradas estatisticamente como fator explicativo da variação do NDVI entre as cidades. Para isso foi usado o índice da correlação de Pearson para testar correlações entre dados de NDVI e dados demográficos (2000 censo populacional, [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)) e por a renda do capita ([www.al.sp.gov.br](http://www.al.sp.gov.br)) (Tabela 1).

Tabela 1. População e dados econômicos para as áreas em estudo

Cidade	População (habitantes)	Densidade populacional (habitantes/ Km <sup>2</sup> )	Renda per capita (R\$ / habitantes)
Luis Antônio	7,160	1,699	286.32
São Carlos	192,998	5,245	456.25
São Simão	13,675	2,503	312.81
Santa Rita do Passa Quatro	26,138	3,250	471.37
Descalvado	28,921	3,640	359.01
Guatapar	6,371	4,272	234.81
Rincão	10,330	4,587	222.81
Cravinhos	28,411	5,974	351.41

### 3. Resultados e Discussão

Os efeitos da urbanizao manifestam-se através das alteraes nas variáveis ambientais locais, dentre as quais está o ndice de vegetao (NDVI). Este variou entre as cidades estudadas em virtude da intensidade do uso do solo, do processo de crescimento e expansão urbana e das características ecológicas e econmicas distintas de cada lugar.

Apesar das críticas em relação ao uso desse índice devido a seu limitado poder de informação sob vegetação com cobertura completa (Ferreira et al., 2004; Valeriano, 2003), quando o objetivo é discriminar a vegetação em áreas urbanas esse problema deixa de existir. Segundo Jardim-Lima e Nelson (2003), o NDVI é um bom índice para o monitoramento de cobertura verde em área urbana, já que o mesmo não confunde áreas florestadas com áreas urbanas. Devido a isso e a facilidade de uso, o NDVI tem sido um dos índices espectrais mais empregados no monitoramento da cobertura vegetal em áreas urbanas, bem como na avaliação da qualidade ambiental das mesmas. Neste artigo, o NDVI mostrou-se adequado uma vez que discerniu áreas florestadas (cerrado e cerradão) dos núcleos urbanos e seus entornos, corroborando a eficácia de tal índice.

Ocorreu variação entre os valores médios do NDVI dos oito núcleos urbanos, seus respectivos entornos (Figura 2), bem como das fisionomias referências estudadas. Os valores médios de NDVI mostraram que os núcleos urbanos sempre apresentaram valores de NDVI menores do que seus respectivos entornos, como esperado. Estes valores variaram de 0,079 (São Simão) a -0,015 (Cravinhos) para os núcleos urbanos e de 0,269 (Descalvado) a 0,091 (Luis Antônio) para os entornos. As fisionomias referências o cerradão, o cerrado e a cana de açúcar apresentaram respectivamente valores médios de NDVI 0,548, 0,149 e 0,036. Os menores valores de NDVI dos entornos em comparação aos núcleos ocorrem devido à conservação de sua vegetação natural, presença de culturas agrícolas e/ou ainda ao processo de expansão urbana. O NDVI do cerradão foi o maior NDVI registrado, sendo bem maior que o do cerrado, o qual foi maior do que os valores de NDVI dos núcleos urbanos. O maior valor do cerradão pode ser explicado pela maior densidade ou abundância de indivíduos e menor resposta espectral do solo em virtude da maior agregação do dossel.

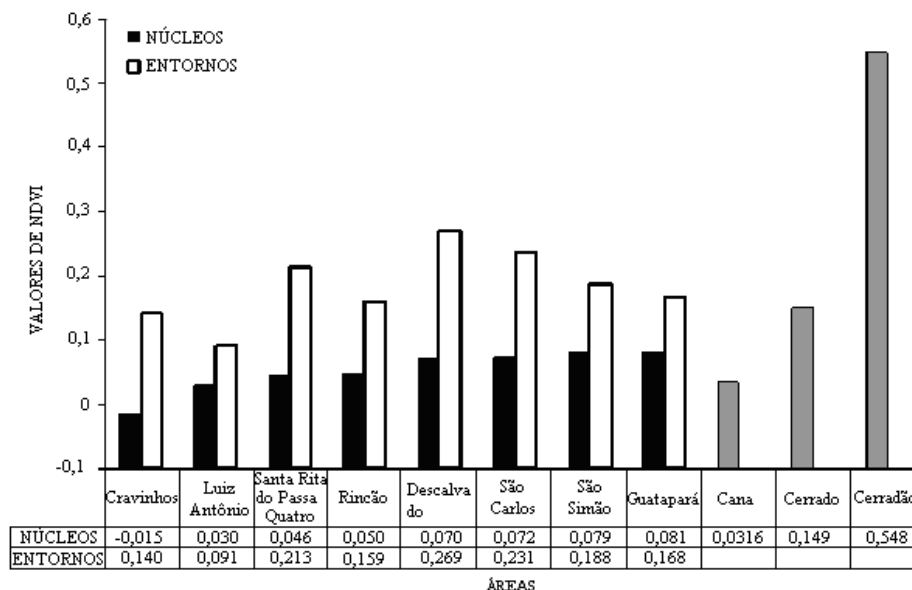


Figura 2. Dados de NDVI extraídos para os oito núcleos urbanos, seus respectivos entornos e as fisionomias referências (cerradão, cerrado e cana de açúcar).

Houve diferenças significativas entre os valores do NDVI considerando os 8 núcleos urbanos e as 3 referências como fontes de variação ( $p < 0,05$ ). Os resultados do teste a posteriori de Tukey, considerando o nível de significância 0.05 (Tabela 2) mostram grupos exclusivos para cerrado e cerradão (grupos 5 e 6, respectivamente) e núcleo urbano de Cravinhos, este com o menor NDVI (Grupo 1), seguido por outro grupo onde está Luis Antônio juntamente com a cana de açúcar (Grupo 2), seguido por grupo onde se localizam Santa Rita do Passa Quatro, Rincão, Descalvado (Grupo 3), sendo esta última também

pertencente ao próximo grupo (Grupo 4), onde também se localizam os núcleos urbanos com os maiores valores de NDVI, incluindo as cidades de São Carlos, São Simão e Guatapar.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) para os dados de NDVI, núcleos urbanos, fisionomias referencia e o respectivo teste Tukey.

<b>ANOVA UM FATOR</b>			
Fonte de variação	Graus de liberdade	F	p
Local	10	1725.753	< 0.001*

**TESTE A POSTERIORI DE TUKEY**

Local	NDVI médio	Grupos Homogneos para $\alpha=0.05$					
		1	2	3	4	5	6
Cravinhos	-0.01888	x					
Luis Antnio	0.0286561		x				
Cana de açúcar**	0.0340608		x				
Santa Rita do Passa-Quatro	0.0517814			x			
Rincão	0.0517982			x			
Descalvado	0.0681214			x	x		
São Carlos	0.0757062				x		
São Simão	0.0775837				x		
Guatapar	0.0802317				x		
Cerrado**	0.1490790					x	
Cerradão**	0.5481420						x

\* Diferença significativa entre as medias para  $\alpha=0.05$

\*\* reas referência

As fisionomias referência apresentaram altos valores de NDVI uma vez que são livres da intensa interferência antrópica por se localizarem dentro de uma Unidade de Conservao de uso restrito, exceto pela amostra referente à monocultura da cana de açúcar. A cultura canavieira representa uma atividade econmica sob influência direta e intensa das ações antrópicas, dadas às estratégias de manejo, tais como uso de agroquímicos e queimadas, tendo impactos negativos sobre a diversidade de espécies vegetais e animais. Este estudo mostrou que o valor médio de NDVI da cultura canavieira foi comparável à cidade de Luís Antnio. Essa semelhança na resposta entre ambas ocorreu devido à maior exposição do solo (correspondente à faixa espectral do vermelho) da cultura de cana nesse período sobressaltando a resposta da folhagem da cultura (correspondendo à faixa do infravermelho-próximo). Além disso, como a imagem Landsat usada no presente estudo é de setembro, período correspondente  época da colheita ou do corte da cana nesta região. Assim, houve uma expressiva influência da resposta espectral de palha da cana e de solo exposto sobre o NDVI, o que explica o seu baixo valor para a cana de açúcar neste período.

Os resultados de uma ANOVA dois fatores considerando as cidades e o contexto (núcleo urbano ou entorno) mostraram que as duas fontes de variação apresentaram efeitos significativos, sendo a interação entre esses dois fatores também significativa (Tabela 3). A interação significativa indicou que em algumas cidades as diferenças de NDVI entre o núcleo e o entorno  maior quando comparadas a outras. Descalvado, Santa Rita do Passa-Quatro e Cravinhos apresentam diferenças entre núcleo e entorno maior do que cidades como Guatapar e Luís Antnio (Figura 2). Esse padrão orienta causas relacionadas às especificidades do processo de urbanização, contatos com monoculturas e áreas naturais particulares, que afetam positivamente ou negativamente os valores NDVI nas áreas do entorno e regiões recentemente urbanizadas.

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para as cidades e seus contextos (núcleos e entornos).

<b>ANOVA DOIS FATORES</b>			
Fonte de variação	Graus de liberdade	F	p
Cidade (oito cidades)	7	150.2412	< 0.001*
Contextos (núcleo e entorno)	1	3090.979	< 0.001*
Interação (Cidade x Contexto)	7	51.258	< 0.001*

\* Diferença significativa entre as medias para  $\alpha=0.05$ .

Considerando que o NDVI é determinado pela quantidade de biomassa vegetal aérea, o seu baixo valor médio para o contexto urbano encontrado neste trabalho é justificado pela baixa quantidade de áreas vegetadas quando comparado com as referências: as áreas verdes dentro do núcleo urbano restritas a praças, cemitérios, canteiros centrais das vias públicas, jardins públicos, parques urbanos, jardins das residências ou mesmo árvores plantadas em suas calçadas. Acrescido a isso, superfícies impermeáveis e altamente reflexivas, tais como estruturas edificadas, arruamentos, quadras esportivas e solo exposto, estão presentes significativamente nas manchas urbanas implicam em alterações ambientais custosas, comprometendo alguns aspectos da qualidade ambiental. Isto se deve ao fato de os processos ecológicos limitados a essas manchas sofrerem interferência direta dessas estruturas. Os resultados de tal interferência são altas temperaturas médias, formação ilhas de calor devido à presença de superfícies altamente reflexivas (Gallo et al., 1993; Weng et al., 2004), baixa quantidade de evapotranspiração e intensificação da poluição do ar em virtude da pequena porção de áreas verdes presentes nas cidades e que são responsáveis pela redução desses efeitos justificando o uso NDVI como indicador de qualidade ambiental e conseqüentemente de vida (Lo e Faber, 1997; Fung e Siu, 2000; Wilson et al., 2003). Entretanto, é fundamental reconhecer a qualidade de vida de modo subjetivo e objetivo. De modo subjetivo relacionado com os desejos, escolhas pessoais e os estilos de vida individuais e coletivos. O modo objetivo está relacionado aos aspectos socioeconômicos e os biofísicos. Os primeiros relacionados à infra-estrutura social urbana (escola, comercio, segurança social, etc.) e tecnológica, por exemplo, que ofereçam bens e serviços para o cidadão. O segundo, por sua vez, relaciona-se às funções ambientais, tais como qualidade do ar, recreação e estética. Existe entre esses dois aspectos um ponto de equilíbrio ótimo, pois ambos reúnem as melhores condições para as pessoas que residem no meio urbano. Normalmente, a qualidade e produção de bens e serviços sociais e tecnológicos como conseqüência do desenvolvimento da cidade, se opõe às necessidades ambientais e biofísicas humanas, comprometendo a qualidade de vida. O ponto de equilíbrio para o desenvolvimento social e tecnológico de uma dada área com a sua integridade ecológica afeta a sua qualidade de vida, o que pode ser explicado pela Teoria da Deseconomia proposta por Odum (2001).

Evidentemente, existem muitas abordagens relacionadas qualidade de vida, o valor NDVI está relacionado apenas com uma: a substituição dos elementos naturais (vegetational massa, árvore, etc.) por espaços edificados e por solo exposto. Ao menos dentro desta abordagem, o NDVI pode ser um bom indicador da qualidade ambiental e qualidade de vida. Por isso torna-se razoável a possibilidade de se estabelecer um gradiente de qualidade ambiental entre as cidades.

Portanto, considerando-se os aspectos de qualidade passíveis de serem monitorados com o uso do NDVI, pode-se inferir que os núcleos urbanos de Descalvado, São Carlos, São Simão e Guataparará possuem maior qualidade ambiental que Cravinhos, conforme mostraram as análises estatísticas. Neste sentido, a Figura 3 representa mais adequadamente e sistematicamente o gradiente de NDVI para os núcleos urbanos analisados na região do Médio Mogi-Guaçu.

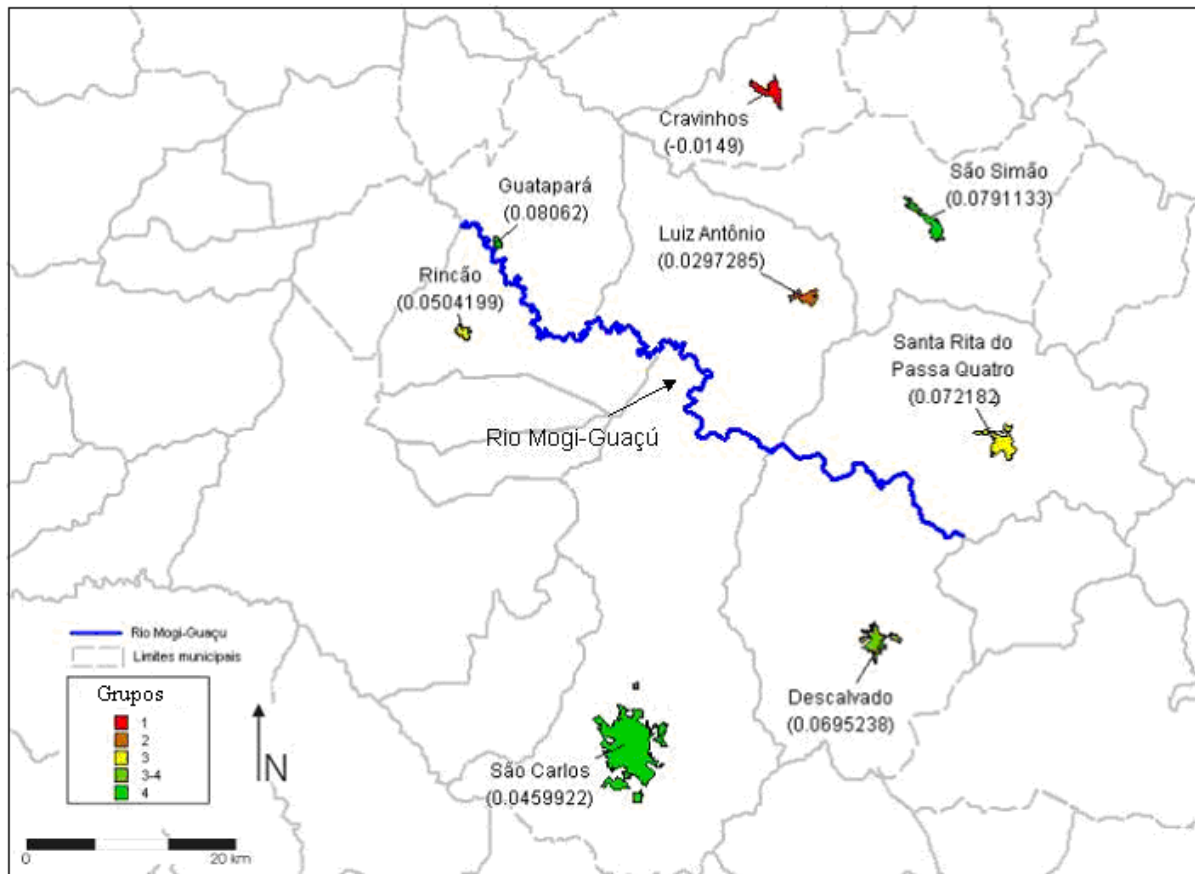


Figura 3. Gradiente de qualidade ambiental para oito núcleos urbanos com base na estatística de grupos homogêneos (teste Tukey) para os dados de NDVI.

Com o objetivo de explicar a variação do NDVI entre as cidades, foi testada a hipótese da existência de correlação entre NDVI e a densidade populacional e renda per capita das cidades. Estas variáveis não constituíram fatores significativos na explicação dos valores de NDVI (ndice de Correlação de Pearson,  $r = -0,29$ ;  $p > 0,05$ ). As diferenças entre os valores do NDVI para as diferentes cidades talvez, seja mais bem explicada pela combinação de vários aspectos específicos da estrutura urbana e a própria história de ocupação territorial do que propriamente pela estrutura populacional humana (Weber e Hirsch, 1992; Fung e Siu, 2000).

#### 4. Conclusões

A questão do crescimento urbano apresenta uma dimensão de ordem política, cabendo ao poder municipal, à comunidade científica e à comunidade em geral, desenvolver e participar das políticas públicas locais direcionadas aos planos de desenvolvimento urbano que visem a manutenção e a melhoria na qualidade ambiental e de vida nas áreas urbanas, inclusive na perspectiva da conservação dos atributos naturais de áreas do entorno, potencialmente ricas sob a tica ecológica, como estratégias para conservar a qualidade de vida futura. Este estudo encontrou informações que permitiram estabelecer para cada núcleo urbano, uma posição específica dentro de um gradiente de qualidade ambiental, tendo como base de comparação vegetação natural e monoculturas. Estes resultados asseguram a viabilidade do emprego do NDVI para avaliar a qualidade ambiental de áreas urbanas, e também sua importância para monitorar o crescimento urbano, porém a inexistência da correlação entre NDVI e os dados sócio-econmicos sugerem que é importante se considerar como pesquisa adicional a avaliação dos diferentes modelos de desenvolvimento urbanos e de sua influência na qualidade ambiental.

## 5. Agradecimentos

Bispo, P.C. agradece à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa concedida para o desenvolvimento do presente trabalho.

## 6. Referências Bibliográficas

- Estman, J. R. **Manual do usuário: Introdução, Exercícios Tutoriais**. IDRISI 2, Versão digital, Centro de recursos IDRISI Brasil, 1997. Disponível em: < <http://www.ecologia.ufrgs.br/idrisi/>>. Acesso em Nov/2007.
- Ferreira L. G.; Yoshioka H.; Huete A.; Sano E. E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v. 23, p. 425-44, 2004.
- Fung, T.; Siu, W. Environmental quality and its changes, a analysis using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, p.1011-1024, 2000.
- Gallo, K. P.; McNab, A. L.; Karl, T. R.; Brown, J. F.; Hood, J. J.; Tarpley, J. D. (1993), The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, p. 2223-2230, 1993.
- Gilbert, O.L. **The ecology of urban habitats**. Chapman e Hall, London, 1991. 369p.
- Henke-Oliveira, C. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar. São Carlos, 1996..
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).
- Jardim-Lima, D.; Nelson, B. W. Uso de índices de vegetação no monitoramento da cobertura verde no perímetro urbano da cidade de Manaus. In: XI Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. **Anais...Belo Horizonte: INPE**, 2003 p. 1827-1833.
- Lo, C. P.; Faber, B. J. Integration of Landsat Thematic Mapper and Census Data for Quality of Life Assessment. **Remote Sensing of Environment**, v., 62, p.143-157, 1997.
- Linton, L.R.; Harder, L.D. **Biology - Quantitative Biology Lecture Notes**. University of Calgary, Calgary, AB, 2007. 315p.
- Odum, E. G. **Ecologia**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, 1988. 434p.
- Odum, E. G. **Fundamentos de Ecologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 927p.
- McDonnell, M. J; Pickett, S. T. A. Ecosystem structure and function along urban-rural gradient: an unexploited opportunity for ecology. **Ecology**, v.71, p.1232-1237, 1990.
- Valeriano, M. M. Reflectância espectral de culturas agrícolas anuais (I): espectrorradiometria. **Espaço e Geografia**. Brasília, DF, v. 6, p. 1-22, 2003.
- Weber, C.; Hirsh, J. Some urban measurements from SPOT data: urban life quality indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.13, p. 3251-326, 1992.
- Weng, Q.; Lu, D.; Schubring, J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v.89, p.467-483, 2004.
- Wilson J. S.; Clay M.; Martin E.; Stuckey D.; Vedder-Risch K(2003), Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p.303-321, 2003.