



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

USO DE MÉTRICAS DE PAISAGEM E SENSORIAMENTO REMOTO PARA AVALIAR A RELAÇÃO ENTRE AS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE E OS PADRÕES DE OCUPAÇÃO DOS SOLOS EM CUIABÁ-MT

Marcelo Paes de Barros¹; Mainara Biazati Gouveia²;
Suelen Máisa Wazlawick³; Valquiria Cristina Gomes da Silva⁴

RESUMO

Métricas de paisagem com o auxílio de um SIG, incluindo métodos de autocorrelação espacial e semivariância foram usados para caracterizar quantitativamente os padrões dos diferentes tipos de cobertura do solo e a correlação destes com a temperatura radiante da superfície, derivada de imagem infravermelha termal Landsat TM de 01 de fevereiro de 2011, em Cuiabá, MT. Os resultados mostram que as áreas de maior abundância de vegetação apresentaram temperaturas de superfície próximas de 39,5 °C, enquanto que as áreas que apresentaram altas temperaturas, da ordem de 43,5 °C, estão localizadas em regiões mais urbanizadas. A variabilidade espacial das temperaturas da superfície radiante causada pelo comportamento térmico de diferentes tipos de cobertura de terra e das características do padrão de paisagem pôde ser melhor compreendida através dos mapas das métricas de paisagens desses espaços. Ambos os resultados das análises mostram que o uso da terra tem influência na temperatura urbana. Esses resultados poderiam ser utilizados para subsidiar estratégias de planejamento urbano para minimizar os efeitos do desconforto térmico das áreas identificadas como ilhas de calor.

Palavras-chave: Expansão Urbana; Vegetação; Spring; Fragstats

USE OF LANDSCAPE METRICS AND REMOTE SENSING TO EVALUATE THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE TEMPERATURES AND LAND USE PATTERNS IN CUIABÁ-MT

ABSTRACT

Landscape metrics with the aid of a GIS, and other methods including spatial autocorrelation and semivariance were used to quantitatively characterize the patterns of different land-cover types and the correlation with surface radiant temperatures, derived from Landsat TM thermal infrared images of 01 February, 2011, Cuiabá, MT. Results show that areas that have higher amount of vegetation had surface temperatures of 39,5 °C, while the areas that showed higher temperatures, of the order of 43,5 °C, are located in regions where they occur the largest percentages of edifications and paved-building. The spatial variability of surface radiant temperatures caused by the thermal behavior of different land-cover types and landscape pattern characteristics can be better understood through landscapes metrics maps of these spaces. Both the analysis results show that the land usage will influence urban temperature. These results could be used to subsidize urban planning strategies to minimize the effects of thermal discomfort of the areas identified as heat islands.

Keywords: Urban Sprawl; Vegetation; Spring; Fragstats

Trabalho recebido em 06/08/2011 e aceito para publicação em 23/07/2012.

¹ Autor Correspondente. Engenheiro Civil, Doutorando em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso, docente do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT): Av. Fernando Corrêa, s/nº, bairro Coxipó, Cuiabá-MT, CEP 78060-900, tel. (65) 3615-8000, e-mail: mpb9@terra.com.br.

² Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e Matemática pela Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG), docente da Escola Estadual Porfíria Paula de Campos: Rua Abdala José de Almeida, s/nº, Santa Izabel, Várzea Grande-MT, CEP 78150-, tel. (65) 3684-6571

³ Graduanda em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT): Av. Fernando Corrêa, s/nº, bairro Coxipó, Cuiabá-MT, CEP 78060-900

⁴ Graduanda em Licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT): Av. Fernando Corrêa, s/nº, bairro Coxipó, Cuiabá-MT, CEP 78060-900

1. INTRODUÇÃO

A partir do século XX, a interferência antrópica com as intensas modificações introduzidas no meio natural, ocasionadas pelo processo de urbanização, tem causado mudanças significativas no ritmo da variação climática da Terra.

Atenta aos contrastes dessa mudança, a comunidade científica, governantes, e a sociedade em geral, começaram a discutir sobre as transformações que poderiam ocorrer no comportamento climático do Planeta. Toda essa preocupação culminou na Conferência das Nações Unidas sobre a sociedade e o meio ambiente, realizada em Estocolmo, em junho de 1972. Todavia, essas discussões se limitam, muita das vezes, às mudanças climáticas na escala global. Entretanto, conforme define Monteiro (1971) as mudanças no ritmo climático são mais sensivelmente observadas em escalas menores.

Atualmente as cidades abrigam maior parte da população mundial, e a ocupação desordenada do solo em área urbana, como é o caso da cidade de Cuiabá, Mato Grosso, reduzindo a cobertura vegetal, altera a rugosidade da superfície do solo, muda as características de relevo e de permeabilidade, provocando redirecionamentos e variações na velocidade do vento local, de forma a privilegiar algumas áreas e prejudicar

outras (OKE, 1996). O aquecimento elevado em alguns espaços das cidades modifica as condições iniciais do clima por meio da alteração do balanço energético na biosfera-atmosfera, diminuindo a capacidade de trocas térmicas através da evapotranspiração, ocasionando o fenômeno da ilha de calor (LANDSBERG, 1981). Dentre as diferentes questões ambientais associadas com as atividades humanas, algumas destas decorrem dos efeitos das ilhas de calor urbanas (Urban Heat Island – UHI).

A caracterização das UHI no ambiente das cidades pode ser realizada com informações da temperatura do ar adquiridas a partir de estações meteorológicas fixas ou de transectos realizados por automóveis. No entanto, desde 1970 técnicas de sensoriamento remoto também tem sido utilizadas para análises de clima urbano em diferentes escalas (RAO, 1972; PRICE, 1979). De acordo com Florenzano (2007) as imagens de satélite, além de proporcionarem uma visão sinóptica, abordam o aspecto multi-temporal, mostrando a dinâmica de extensas áreas da superfície terrestre ao longo do tempo e permitindo identificar e caracterizar diferentes tipos de ambiente e suas transformações, causadas, principalmente, pelo impacto do ser humano na ocupação e uso do espaço. Esta técnica possibilita investigar os efeitos do

desenvolvimento urbano sobre a distribuição espacial da temperatura superficial do solo (Land Surface Temperature – LST), estimada de acordo com a Lei de Planck, por consequência detectando UHIs.

Estudos aplicando sensoriamento remoto para estimar as LSTs no ambiente urbano indicam que as diferenças de valores obtidos em áreas adjacentes podem ser explicadas pela relação entre os fluxos de calor sensível e latente no solo, menor em regiões mais vegetadas e maior em áreas de vegetação mais escassa (WENG *et al.*, 2004; JUSUF *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2009; LI *et al.*, 2009). Esta relação é função de variáveis como o teor de água no solo e a abundância de vegetação.

Buscando relacionar, não apenas a abundância da vegetação, mas a forma como esta ocupa o espaço urbano alguns trabalhos utilizaram métricas de paisagem para detectar padrões espaciais de mudanças na estrutura da paisagem que justifiquem a interação entre a forma, a dimensão espacial e o comportamento do ambiente térmico do lugar (WENG, 2003; DIBARI, 2007; TANG *et al.*, 2008). As métricas da paisagem são métodos quantitativos aplicados na Ecologia da Paisagem, um ramo da ecologia que estuda a estrutura, a função e a mudança da paisagem em um ambiente heterogêneo e as suas consequências sobre

microorganismos, populações e ou comunidades de um mesmo ecossistema (FORMAN E GODRON, 1986).

Este trabalho tem por objetivo, utilizando técnicas de geoprocessamento e os dados orbitais das bandas refletivas e térmicas do LANDSAT-5 sensor TM para a cidade de Cuiabá, MT, investigar o comportamento das LSTs em três bairros da cidade com diferenças significativas na forma de ocupação e uso dos solos. Em paralelo, o mapa do comportamento térmico do lugar, confeccionado conforme estas técnicas, permitirá avaliar possíveis correlações entre as métricas da paisagem e o ambiente térmico do lugar.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A cidade de Cuiabá deve sua origem a exploração do ouro nos rios da região no início do século XVIII, se constituindo a partir das lavras, criando um traçado sem plano com ruas estreitas e tortuosas. A localização no interior do continente deixou a cidade durante muito tempo a margem do movimento capitalista realizado sobre a vida urbana, acontecendo de forma acelerada e desorganizada somente a partir das décadas de 1960\70.

A intensificação deste processo produziu, na década de 1980, as mais altas taxas de crescimento populacional da história da cidade, com uma expansão de

136% do seu sítio urbano sobre as áreas periféricas. O ritmo de crescimento da cidade não foi acompanhado pelo investimento do setor público em infraestrutura e serviços para atender as necessidades da população. A demora no atendimento dessas necessidades resultou na ocupação ilegal de áreas periféricas, originando os bairros Santa Izabel, Del Rei, Renascer, entre outros (VILARINHO NETO, 2005). O crescimento desordenado da área urbana produziu grandes problemas ambientais como: córregos assoreados cheios de esgoto, poluição do ar e sonora e a formação de ilhas de calor nas áreas centrais (PIAIA, 1997). Atualmente a cidade de Cuiabá conta com aproximadamente 700 mil habitantes sendo um pólo das atividades econômicas da região através de suas indústrias e comércio.

Localizada no Centro Geodésico da América do Sul, compreendida entre as coordenadas geográficas de latitudes 15° 30' a 15° 44' sul e longitudes 56° 56' e 56° 12' oeste de Greenwich, a macrozona urbana da cidade de Cuiabá, MT, com 252 km², está situada numa área rebaixada com altitudes variando entre 200 m e 450 m (Figura 01). O clima da região, na zona intertropical do Planeta, é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, identificado prioritariamente pela temperatura, apresentando duas estações

bem definidas, uma seca, de abril a outubro, e outra chuvosa, de novembro a março, com médias entre 28 °C e 32 °C, estação que também apresenta maiores médias diárias do saldo de radiação solar no hemisfério sul.

A pluviosidade média anual fica em torno de 1500 mm, concentrada na estação chuvosa, enquanto que na outra estação, influenciada pela massa de ar tropical continental que estaciona na região, é caracterizada por ventos quentes e secos. A concentração das chuvas produz na região grandes contrastes ao longo do ano nas superfícies vegetadas, apresentando nos períodos de secas, alto risco de queimadas, favorecendo uma modificação periódica espacial e temporal no albedo e na umidade do solo e, conseqüentemente, na variabilidade dos processos físicos da atmosfera da região.

A cobertura vegetal da área urbana é constituída por remanescentes de cerrado e matas ciliares, formando um verdadeiro cinturão em torno da área urbana de Cuiabá.

Para a realização deste trabalho, focado principalmente no processo de urbanização, procurou-se delimitar uma área da cidade de Cuiabá onde o processo se apresentou mais intenso. Com base neste aspecto foram escolhidos para o estudo 3 bairros da região sudeste do município, região de maior incremento populacional nos últimos

30 anos, caracterizados pelas diferentes concentrações de área construída, áreas

verdes, adensamento populacional e complexidade de uso do solo.

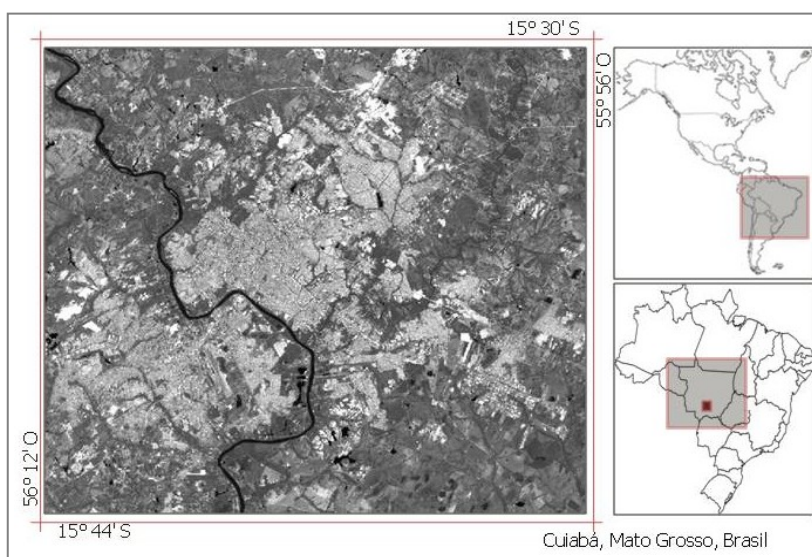


Figura 01 – Mapa Base da Área de Estudo
Fonte: INPE (2011)

Os bairros delimitados para o estudo ocupam uma área total de 1,86 km², separados, de um extremo a outro, por uma extensão linear de 5,0 km (Figura 02). Os bairros estão posicionados nas adjacências das vias estruturantes paralelas, Avenida das Torres e Estrada do Moinho, ambas com acesso à BR 364, principal ligação da cidade com o Sul do País.

O bairro Renascer, fruto de uma invasão realizada na década de 1980, apresenta ruas estreitas e carência de infraestrutura básica. Apenas as árvores dos quintais das residências pontuam de verde o bairro, onde não existem praças, arborização nas vias, ou outras áreas verdes, com exceção de uma grande área alagada, de difícil ocupação, na porção sul do bairro.

Os bairros Jardim Itália e Santa Cruz foram loteamentos planejados pela mesma incorporadora, mas que na atualidade apresentam características diferentes quanto a ocupação dos solos. Enquanto o Jardim Itália é um bairro consolidado, com quase a totalidade dos lotes construídos, no Santa Cruz muitos dos lotes ainda não foram ocupados, mantendo ainda uma porção do cerrado original da região. No jardim Itália também inexistem praças e as áreas verdes aparecem apenas na divisa deste bairro com o Santa Cruz, a nascente de um córrego que corta o bairro, uma área de preservação permanente (APP).

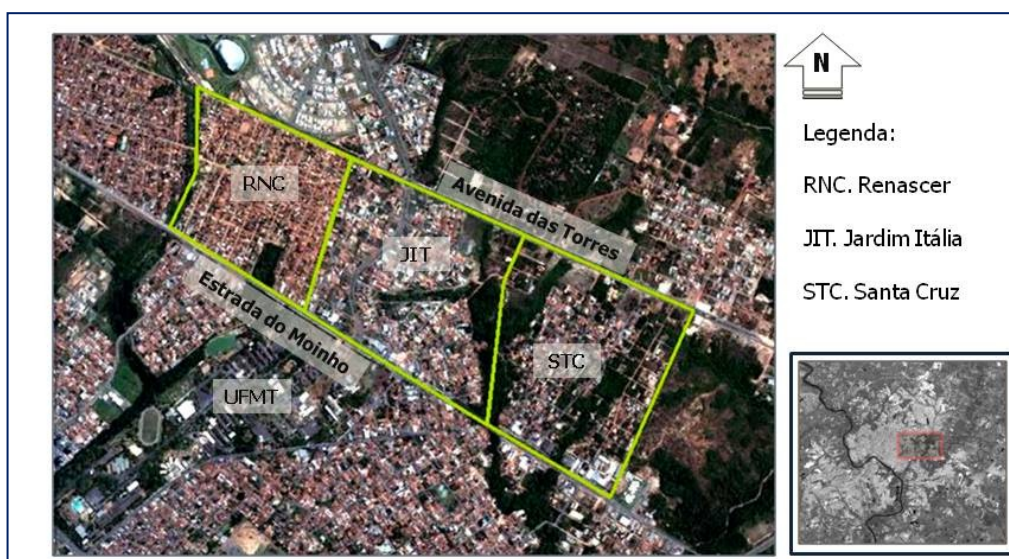


Figura 02 – Bairros do Estudo
Fonte: Google Earth 2010.

No entanto, as áreas verdes mais importantes da região, em diversidade e extensão, são as matas ciliares dos Córregos Moinho, Carumbé e Barbado, além dos extensos fragmentos de cerrado, não protegidos, dos bairros Santa Cruz I e II, e do Instituto de Lingüística de Cuiabá, com 10 ha e 30 ha, respectivamente (GUARIM; VILANOVA, 2008).

2.2. Temperatura Superficial do Solo

As informações espaciais sobre a temperatura da superfície do solo urbano na área de estudo foram extraídas da imagem digital TM/Landsat 5, órbita 226, ponto 71, data de 01 de fevereiro de 2011. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING versão 5.1.6).

O procedimento descrito por Li *et al.* (2009) foi adotado para recuperação da LST. Um modelo quadrático foi usado para converter o número digital (DN) da banda termal, canal 6, da imagem Landsat para temperaturas radiantes (MALARET *et al.*, 1985):

$$T_B = 209,831 + 0,834ND - 0,00133ND^2 \quad \text{Eq.(01)}$$

Onde T_B é a temperatura radiante do corpo negro.

Os valores de temperatura radiante obtidos foram referenciados para um corpo negro, que é bastante diferente das propriedades de objetos reais. Portanto, foi necessária a correção de emissividade espectral (ϵ). Para cada tipo de uso do solo foi atribuído um valor de emissividade. Área com vegetação recebeu o valor de emissividade de 0,95, área urbanizada

0,923, solo nu 0,92 e corpos d água 0,9925 (LI et al., 2009).

Assim, a LST corrigida pela emissividade foi calculada da seguinte forma (ARTIS & CARNAHAN, 1982):

$$T_s = \frac{T_B}{1 + (\lambda \times T_B / \alpha) \ln \varepsilon} - 273,15 \quad \text{Eq. 02}$$

Onde T_s é a temperatura da superfície radiante em Celsius ($^{\circ}\text{C}$), a T_B temperatura do corpo negro em Kelvin (K), λ o comprimento de onda da radiação emitida, neste caso, $\lambda = 11,5 \mu\text{m}$ (MARKHAM & BARKER, 1985), $\alpha = h.c/K = 1,438.10^{-2} \text{ m.K}$, $h =$ constante de Planck $= 6,626.10^{-34} \text{ J/s}$, $c =$ velocidade da luz no vácuo $= 2,998.10^8 \text{ m/s}$, $K =$ constante de Boltzman $= 1,38.10^{23} \text{ J/K}$, e ε é a emissividade da superfície.

As operações descritas acima resultaram em uma matriz de LSTs para a área de estudo, onde cada valor da matriz expressa a LST média de uma região de 120 x 120 m, dimensão correspondente a resolução espacial da imagem. Considerando que as propriedades da superfície da terra variam muito em um ambiente urbano, de modo que as LSTs apresentam dependência espacial em função dos diferentes tipos de uso do espaço, foi confeccionado por krigagem ordinária um mapa de superfície contínua das LSTs da área de estudo para o horário da imagem. Este mapa foi superposto a

imagem do lugar permitindo a caracterização do ambiente térmico do espaço.

2.3. Métricas da Paisagem

No estudo, conforme a descrição de McGarigal & Marks (1995), foram utilizadas as métricas descritas a seguir:

2.3.1. Índice de Forma Ponderado pela Área (Shape Index Area-Weighted Mean – SHAPE_AM)

O índice de forma indica o quanto irregular é uma forma, medindo a complexidade da forma de um fragmento em relação a forma básica, o quadrado, o menor nível de complexidade. O valor do índice SHAPE tem limite inferior igual a 1, quando todos os fragmentos apresentam o formato de um quadrado, indicando fragmentos mais retilíneos, com forte ação humana. O índice SHAPE apresenta maior valor quanto mais complexo for o fragmento. No estudo o índice foi ponderado pela área de cada fragmento, de forma que fragmentos maiores tiveram maior peso no cálculo da métrica que fragmentos menores.

$$\text{SHAPE_AM} = \sum_{j=1}^n \left\{ \left(\frac{0,25p_j}{\sqrt{a_j}} \right) \left(\frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \right) \right\} \quad \text{Eq.(03)}$$

Sendo a_{ij} e p_{ij} , respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m, do fragmento j da classe i .

2.3.2. Dimensão Fractal dos Fragmentos Ponderada pela Área (Area-Weighted Mean Patch Fractal Dimension – FRAC_AM)

A dimensão fractal varia entre 1 e 2, para um fragmento bi-dimensional. Valores próximo a 1 indicam formas com perímetros muito simples, como círculos ou quadrados. Polígonos mais complexos têm seus perímetros aumentados, também ocupando mais área, de forma que o valor do índice FRAC se aproxima de 2. O índice supera as limitações de outros índices que relacionam perímetro e área, interessantes por refletirem a complexidade da forma.

$$FRAC_AM = \sum_{j=1}^n \left\{ \left(\frac{2 \ln(0,25p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right\} \quad \text{Eq. (04)}$$

Sendo a_{ij} e p_{ij} , respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m, do fragmento j da classe i .

2.3.3 Dimensão Fractal Perímetro-Área (Perimeter-Area Fractal Dimension – PAFRAC)

O índice é calculado pela divisão de 2 pela inclinação da linha de regressão

obtida pela regressão do logaritmo das áreas dos fragmentos pelo logaritmo dos perímetros dos fragmentos. Também refletindo a complexidade da forma, como as métricas FRAC e SHAPE, a métrica PAFRAC só faz sentido se a relação logarítmica entre o perímetro e a área for linear em toda a gama de dimensões de fragmentos.

Pelo fato de empregar uma análise de regressão, o índice está sujeito a resultados espúrios quando são usadas poucas amostras. As duas abordagens de Dimensão Fractal oferecem respostas um pouco diferente, não sendo possível afirmar qual é superior a outra, de forma que ambas são utilizadas na prática, cabendo ao pesquisador observar a melhor abordagem para os seus estudos.

$$PAFRAC = \frac{2}{\frac{\left(n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} - \ln a_{ij}) \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij} \right) \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij} \right)}{\left(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij}^2 \right)}} \quad \text{Eq. (05)}$$

Na equação 05, os termos a_{ij} e p_{ij} expressam, respectivamente, a área, em m^2 , e o perímetro, em m, do fragmento j da classe i , e n_i é o número de fragmentos da classe i .

2.3.4. Índice de Agregação (Aggregation Index – AI)

O Índice de Agregação responde às exigências para a quantificação dos níveis

de agregação em uma única classe. A determinação do valor do índice para determinada classe i é baseada nas bordas compartilhadas por pixels de mesma classe, não incluindo adjacências com fragmentos de outras classes. Apenas vizinhanças internas à paisagem são utilizadas no cálculo desta métrica, adjacências com o limite do recorte da paisagem não afetam essa métrica. A agregação máxima, $AI = 100$, é obtida quando existe um único fragmento da classe, compacto, não necessariamente um fragmento quadrado.

$$AI = \frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \left(100 \right) \quad \text{Eq. (06)}$$

Onde g_{ii} corresponde ao número de adjacências entre pixels de mesma classe e g_{iimax} o número máximo de adjacências dos pixels da classe i .

Para determinar as métricas da paisagem foi utilizada uma imagem do sensor HRC do satélite CBERS-2B órbita/ponto 116_E/117_5 com passagem em 20 de junho de 2009, fornecida pela DGI-INPE (INPE, 2009). A imagem, com resolução espacial de 2,5 m, é disponibilizada gratuitamente pelo catálogo de imagens INPE.

Usando o software SPRING, foi feito o processamento e a manipulação dos dados obtidos da imagem para delimitação

da área de estudo. O recorte que delimita apenas a área de estudo foi realizado pelo aplicativo IMPIMA do SPRING. Neste recorte foram identificadas quatro classes de ocupação dos solos: uma para superfícies de corpos de água, duas classes associadas às áreas com vegetação, áreas de vegetação arbórea, correspondentes aos dosséis das árvores, e áreas de vegetação de gramíneas, e uma para alvos de elevada reflectância, solos expostos e áreas urbanizadas.

Com o recorte classificado, foram distribuídos 90 pontos pela área de estudo. A partir deste recorte original, cada ponto foi tomado como centro para a determinação de um recorte secundário, com um raio de 60 m (Figura 03).

Ao final do processo foram obtidos 90 recortes secundários de cada um dos pontos escolhidos, abrangendo uma área de influência de 120 m x 120 m. A dimensão do recorte, 120 x 120m, foi estabelecida em função da resolução espacial da imagem Landsat banda 6.

Usando outro aplicativo, o *Fragstats*, pôde-se extrair os índices de paisagem para cada recorte secundário. Os dados foram tabulados no programa de computador Microsoft *Excel* e posteriormente foram transferidos para o aplicativo *Surfer 8*, para a construção dos mapas da distribuição destes índices no espaço.

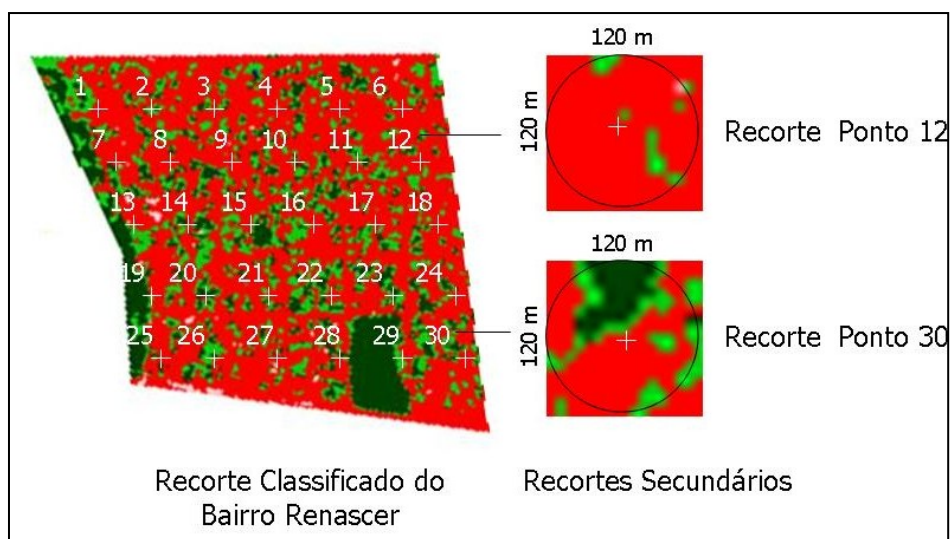


Figura 03 – Exemplos de Construção dos Recortes Secundários.

O *Surfer 8* oferece diferentes funções para expressar a correlação espacial das variáveis trabalhadas. Neste estudo foram usados variogramas para definir a função que melhor expressasse a autocorrelação espacial das métricas. O Variograma, uma função básica da geoestatística, foi usado para fornecer uma descrição concisa da escala e padrão da variabilidade espacial. Para a escolha da função matemática teórica de modelagem do variograma foi utilizado, como critério estatístico, aquela que apresentou o maior coeficiente de determinação, R^2 , significando o melhor ajuste dos dados.

Aplicando os parâmetros de ajuste do variograma, efeito pepita, patamar e alcance, os mapas da distribuição destes índices puderam ser confeccionados.

Apesar de calcularmos as métricas para todas as classes, como a avaliação das alterações dos ambientes térmicos da área de estudo

foi baseada principalmente na abundância de vegetação, as análises foram realizadas a partir dos valores das métricas para os fragmentos de vegetação arbórea presentes na área de estudo.

3. RESULTADOS

3.1. Padrão de Uso do Solo

O mapa dos padrões de uso e cobertura do solo para a área de estudo em fevereiro de 2011 é apresentado na Figura 04. A análise visual permite identificar padrões muito diferentes de uso do solo e de alterações nas coberturas destes, em especial na quantidade de vegetação arbórea. A maior concentração de áreas verdes com vegetação arbórea no Bairro Santa Cruz contrasta com as grandes porções de áreas urbanizadas dos outros dois bairros.

Concentradas geralmente nos extremos dos bairros, as áreas verdes do

Renascer e do Jardim Itália constituem 14,6% e 20,3%, respectivamente, da área total de cada bairro (TABELA 01). Com relação ao maior fragmento de área verde, no Santa Cruz o maior de vegetação arbórea ocupa 3,5% da área total do bairro, enquanto que no Renascer a grande área verde situada nas proximidades da Estrada do Moinho, cobrindo apenas 2,1% da área total do bairro, representa 31% da área verde deste.

As áreas verdes são constituídas por 322 fragmentos no Jardim Itália com uma área média de 451 m²/fragmento, enquanto que no Santa Cruz são apenas 254 fragmentos com média de 1032 m²/fragmento. No Renascer os 348 fragmentos de área verde apresentam uma média 196 m² de área cada fragmento. Neste caso, suprimindo o maior fragmento de área verde para o cálculo da área média dos fragmentos reduz para o valor de 135 m².

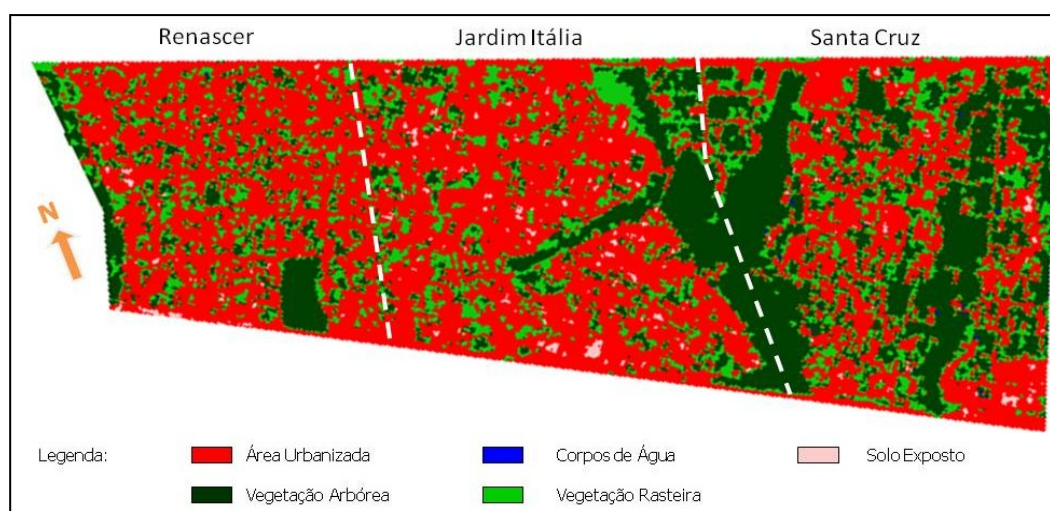


Figura 04 – Mapa de Uso e Cobertura dos Solos

Tabela 01– Distribuição das Classes de Ocupação dos Solos nos Bairros

Solo	Cobertura do	Renascer		Jardim Itália		Santa Cruz	
		ha	%	ha	%	ha	%
Urbanizado	30,84	66,00	43,10	60,31	27,73	40,79	
Vegetação Arbórea	6,83	14,62	14,54	20,34	26,22	38,57	
Vegetação Rasteira	8,68	18,57	12,72	17,80	13,48	19,82	
Corpos d água	0,01	0,03	0,01	0,01	0,09	0,14	
Solo Nu	0,37	0,78	1,10	1,54	0,46	0,68	
Área Total	46,73		71,47		67,99		

3.2. Análise dos Padrões dos Variogramas

Os modelos de variogramas construídos para as métricas da paisagem demonstraram uma estrutura espacial significativa para alcances máximos de 1262 m a 3717 m (Figura 05).

A proporção da variância estrutural foi de 0,87 e 0,90 para os índices PARA_AM e AI, respectivamente, com a variabilidade na força do modelo proporcional à variação estrutural (TABELA 02). Esta proporção é um indicativo da quantidade de variação ao

acaso de um ponto para outro, de modo que quanto maior o valor da variância estrutural maior a dependência espacial entre as variáveis. Valores menores como os encontrados para os índices SHAPE_AM e FRAC_AM implicam que fatores aleatórios podem desempenhar um papel importante na determinação da heterogeneidade espacial destes índices, de forma que processos em escalas menores não devem ser ignorados.

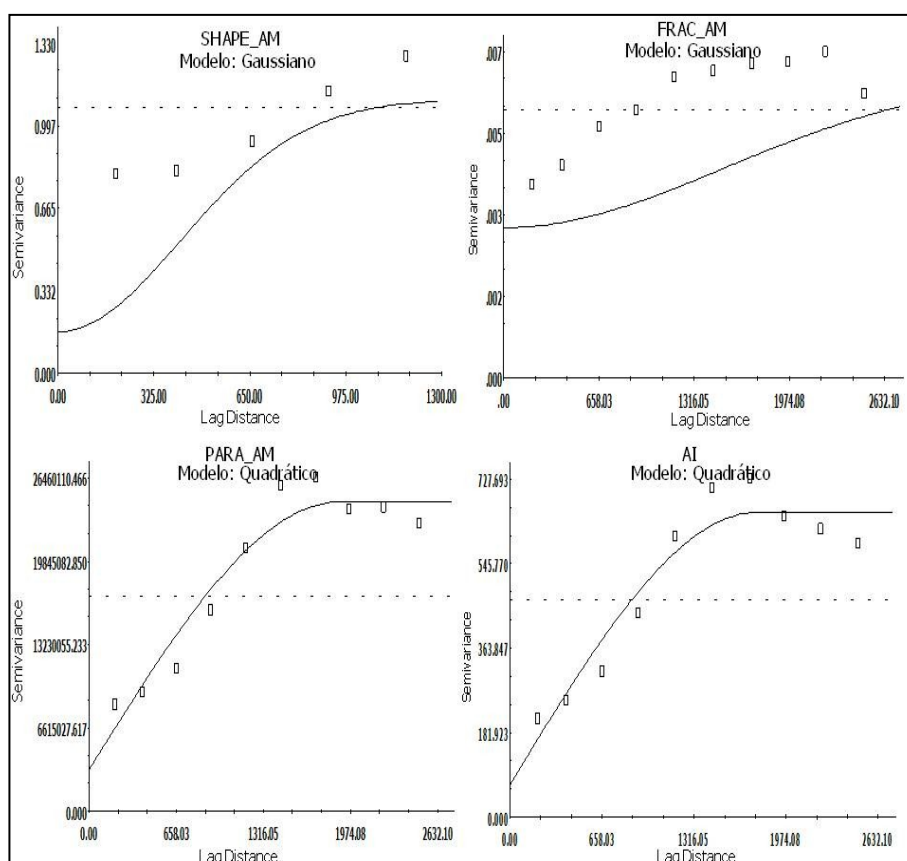


Figura 05 – Variogramas das Métricas de Paisagem

Tabela 02– Modelos de Variogramas e Parâmetros das Métricas

Variável	Efeito Pepita (C_0)	Variância Total do Modelo ($C + C_0$)	Variância Estrutural ($C/(C + C_0)$)	Alcance (m)	r ²
SHAPE_AM	0,583	1,167	0,50	1262	0,572
FRAC_AM	0,003	0,006	0,50	3717	0,931
PARA_AM	$3,28 \cdot 10^6$	$2,26 \cdot 10^7$	0,87	1884	0,933
AI	69,00	656,10	0,90	1767	0,917

3.3. Característica Espacial dos Padrões de Usos de Solos

A figura 06 mostra o ambiente térmico, em função das LSTs, na área de estudo. A imagem, tirada em fevereiro de 2011 as 9 h, em pleno verão, revelou temperaturas do solo variando de 39,5 °C a 43,5 °C. A análise visual da figura permite identificar claramente o gradiente de temperatura em direção ao bairro Renascer, com máximos desta variável ocorrendo no centro deste bairro.

A variabilidade na distribuição da temperatura parece bem explicada pelos usos dos solos dos espaços. A semelhança

visual dos mapas das métricas que a observação conjunta destes comparados ao mapa das LSTs, com base na geoestatística, permite sugerir a existência de correlação espacial entre as métricas da paisagem e as LSTs. Correlação positiva para o índice PAFRAC e negativa para os demais índices.

Apesar da aparente correlação, apenas o mapa da Dimensão Fractal apresentou o gradiente desta variável, expresso pelas linhas de níveis, em uma direção próxima a do gradiente de temperaturas.

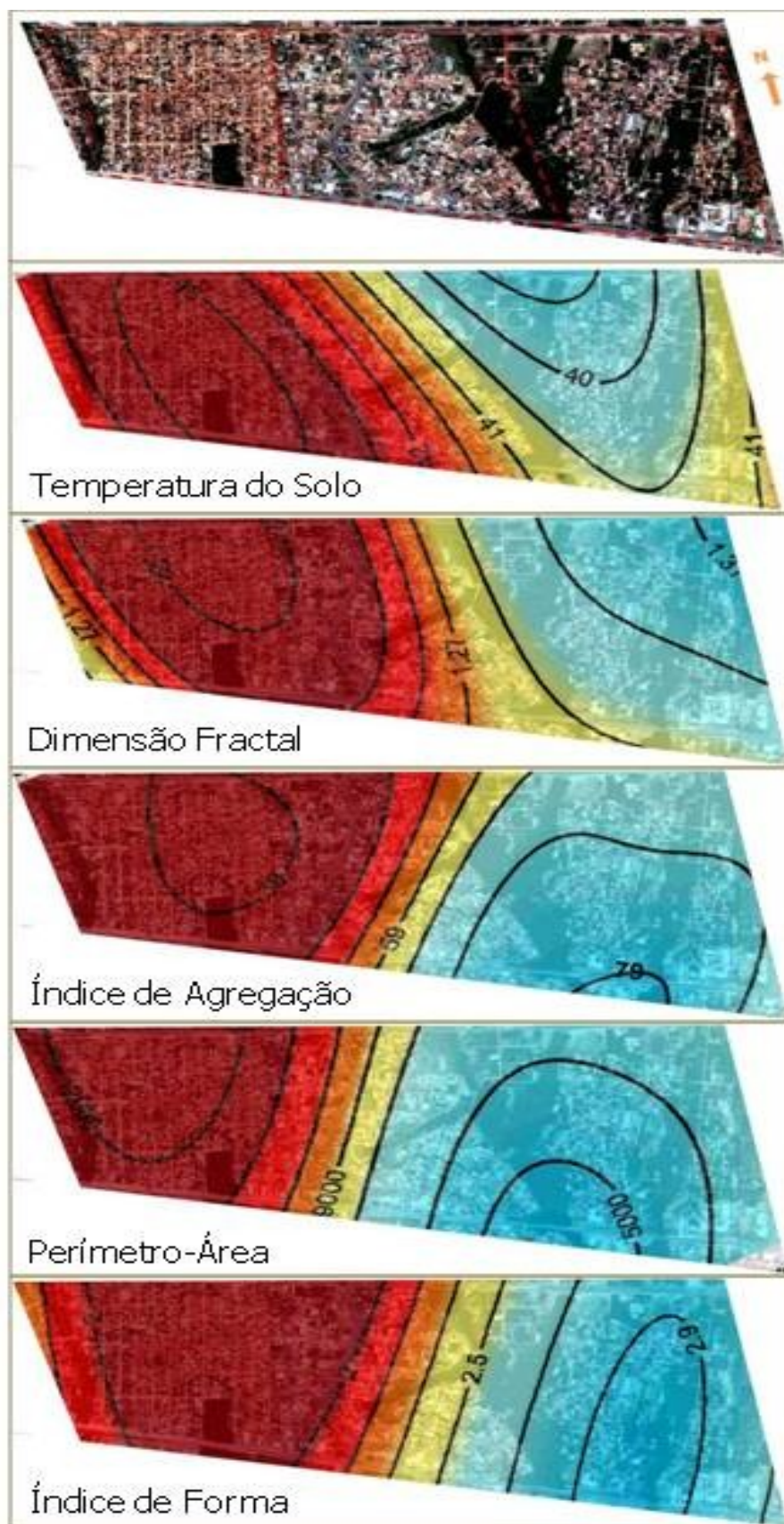


Figura 06 – Mapas do Ambiente Térmico e das Métricas de Paisagem.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O mapa do ambiente térmico permite identificar LSTs elevadas no bairro Renascer já nas primeiras horas da manhã. Abrangendo toda a área de estudo, o mapa parece indicar um extremo máximo de temperatura no centro deste bairro. Existem ao menos duas características diferentes que podem explicar este resultado: A concentração de pequenos lotes, com elevadas taxas de ocupação, em ruas estreitas e a baixa taxa de arborização do lugar. Ambos os fatores contribuem para o aumento da temperatura. Os usos extensivos de concreto e asfalto aumentam a absorção de energia térmica pelas superfícies, e a impermeabilização dos solos, diminuindo a umidade da superfície disponível para a evapotranspiração, faz com que o fluxo de calor latente seja muito pequeno comparado com o calor sensível nestas áreas, resultando em uma maior fração da energia solar sendo reirradiada na forma de calor.

No Jardim Itália as condições de urbanização e arborização são pouco melhores que no Renascer, melhorando sensivelmente quando nos deslocamos para o leste do bairro. O mapa do ambiente térmico mostra uma condição intermediária neste bairro, com LSTs variando de 40,5 °C, em azul claro, no

extremo leste onde se encontra a APP que divide os bairros Jardim Itália e Santa Cruz, até 42,5 °C, em vermelho, na divisa com o Renascer.

A variação da temperatura e a forma como varia, mostrada pelas isotermas, parece indicar a influência que a área verde em abundância na divisa deste bairro com o Santa Cruz tem sobre as áreas circunvizinhas. Os resultados confirmam esta APP, pelas dimensões que ocupa, como uma Ilha de Frescor para a região.

Os fragmentos de áreas verdes no Santa Cruz, além da grande APP que se estende por todo o bairro, explicam distribuição de LSTs menores neste espaço.

Os valores extremos da LST foram de 43,2 °C, na porção central do Renascer, e 39,3 °C, ao norte do Santa Cruz, uma variação de 3,9 °C. Li *et al.* (2009), investigando UHIs em Xangai, China, utilizando a mesma técnica de sensoriamento remoto, a partir de uma imagem Landsat (TM) adquirida em Julho de 2004 encontrou diferenças de 2,4 °C entre as LSTs de áreas construídas, 34,0 °C, e de áreas vegetadas, 31,6 °C. Costa *et al.* (2009) em estudo, também utilizando imagens Landsat (TM), na cidade de Ilha Solteira, SP, encontrou variação máxima de até 20 °C, entre áreas de floresta fora do perímetro urbano da cidade e áreas

localizadas em regiões centrais da cidade com grande porcentagem da classe construções e pavimentações, caracterizando o fenômeno da Ilha de Calor.

A Diferença nos padrões de LSTs está associada a muitos fatores, incluindo mudanças no uso do solo, a geometria da superfície urbana, variação sazonal, condições climáticas e meteorológicas, etc (ROTH *et al.* 1989; VOOGT & Oke, 1998; Weng *et al.*, 2004). Os resultados deste trabalho sugerem que a maior parte da variabilidade da temperatura seja explicada pela relação entre o uso da terra e os tipos de cobertura e ocupação dos solos, alterações impulsionadas pela urbanização.

Com relação as métricas de paisagem avaliadas neste estudo os resultados indicaram que o uso conjunto das métricas da paisagem com a geoestatística permitiu interpretar as informações provenientes dos diferentes usos e cobertura dos solos, definindo áreas homogêneas que corresponderam as mesmas áreas conforme a distribuição de temperaturas. A urbanização como um processo de grande mudança nos padrões de ocupação dos solos geralmente aumenta a variabilidade espacial da LST, resultando em maiores valores de dimensão fractal. Assim, quando as estruturas urbanas e áreas construídas ocupam a maior parte de uma área de estudo, sua superfície térmica

se tornará espacialmente homogeneizada e a textura menos complexa.

Este resultado sugere a eficácia preditiva destes modelos de mapas de métricas de paisagem, em especial o mapa da dimensão fractal, para a avaliação do ambiente térmico de um lugar. Estes índices podem fornecer orientações para os planejadores urbanos sobre a melhor composição e configuração de paisagens humanas.

Nos últimos anos, a implementação de um grande centro comercial nas proximidades do bairro Renascer, acelerou a ocupação de lotes ainda vazios nestes bairros. Este fato produziu no Renascer uma ampliação das construções que, devido a fiscalização inexistente do poder público, passam a ocupar quase que a totalidade do lote. Dessa forma, estima-se que a maior impermeabilização do solo e o aumento da densidade de construções devem prejudicar ainda mais o ambiente térmico do lugar.

A questão das áreas verdes, responsáveis pela amenização climática do lugar, também é um fator preocupação. No bairro Renascer, as áreas verdes, em destaque pela extensão, não podem ser utilizadas pela população, pois são constituídas por vegetação de córrego, atualmente contaminado pelos esgotos da região, e uma grande região alagadiça, por isso não ocupada, localizada ao sul do

bairro. Por outro lado, no bairro Santa Cruz, que apresenta maior abundância de vegetação, parte desta é constituída por lotes não ocupados, ainda longe da especulação imobiliária, e parte por áreas verdes que não se constituem parques ou praças, portanto que também não servem a população como área de lazer.

Confirmando os estudos de conforto térmico em espaços abertos a utilização de espécies arbóreas da região, que produzam um maior sombreamento ao longo das vias públicas, e a efetivação de áreas permeáveis nas residências, de forma a aumentar a umidade relativa e diminuir a temperatura do ar por resfriamento evaporativo nas suas proximidades, são melhorias que poderiam alterar as atuais condições de conforto nesse ambiente.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam os efeitos da vegetação no ambiente urbano, demonstrando o quanto ela pode melhorar os microclimas urbanos, bem como mitigar os efeitos das ilhas de calor. Por outro lado, os estudos sobre os padrões de ocupação dos solos urbanos podem fornecer respostas para a quantificação dos recursos naturais das cidades, em termos de densidade, compactação e espalhamento além de questões relacionadas a sustentabilidade. A integração destas áreas deve aproximar o planejamento das cidades, com as tradicionais estratégias de verticalização,

com um planejamento realístico que beneficie todos os habitantes das cidades.

5. REFERÊNCIAS

- ARTIS, D. A. & CARNAHAN, W. H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing of Environment**, v.12, p. 313–329, 1982.
- COSTA, D. F.; PERES, L. F.; SILVA, R. S. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. Anais. Natal, RN: INPE, 2009. p.647-653.
- DIBARI, J. N. Evaluation of Five Landscape-level Metrics for Measuring the Effects of Urbanization on Landscape Structure: The case of Tucson, Arizona, USA. **Landscape and Urban Planning**, v.79, p.308-313, 2007.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. In: 2ª edição de imagens de satélites para estudos ambientais. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2007.
- FORMAN, R. T. T.; GORDRON, M. **Landscape Ecology**. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- GUARIM, V. L. M. S.; VILANOVA, S. R. F. **Parques Urbanos de Cuiabá, Mato Grosso: Mãe Bonifácia e Massairo Okamura**. Entrelinhas-EdUFMT, Cuiabá, MT, 2008.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Base de dados CBERS**. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em outubro/2009.
- JUSUF, S. K.; WONG, N. H.; HAGEN, E.; ANGGORO, R.; HONG, Y.; CHEN, Y. Study of green areas and

- urban heat island in a tropical city. *Habitat International*. v.29, p.547–558. 2007.
- LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. Academic Press, Maryland. 1981.
- LI J.; WANG X.; WANG X.; MA W.; ZHANG H. Remote Sensing Evaluation of Urban Heat Island and Its Spatial Pattern of the Shanghai Metropolitan Area, China. *Ecological Complexity*, v.32, p. 1-8, 2009.
- MALARET, E.; BARTOLUCCI, L. A.; LOZANO, D. F.; ANUTA, P. E.; MCGILLEM, C. D. Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.51, p. 1407–1416, 1985.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. K., Spectral characteristics of the LANDSAT Thematic Mapper Sensors. *International Journal of Remote Sensing*. v.6, p. 697–716, 1985.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR, U.S.A., 1995.
- MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia**. USP/IG. São Paulo, SP. 1971.
- OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. Routledge. New York, U.S.A. 1996.
- PIAIA, I. I. **Geografia de Mato Grosso**. EDUNIC, Cuiabá, MT, 1997.
- PRICE, J. C. Assessment Of The Urban Heat Island Effect Through The Use Of Satellite Data. *Monthly Weather Review*. v.107, p. 1554–1557. 1979.
- RAO, P. K. Remote Sensing Of Urban “Heat Islands” From An Environmental Satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*. v.53, p. 647–648. 1972.
- ROTH, M.; OKE, T. R.; EMERY, W. J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*. v.10, p.1699–1720. 1989.
- TANG, J.; WANG, L., YAO Z. Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. *Landscape and Urban Planning*, v.87, p.269-278, 2008.
- VILARINHO NETO, C. S. **Dinâmica Urbana Regional**. In: Morene G.; Higa T. C. S. organizadores. Geografia de Mato Grosso: Território, sociedade e ambiente. Entrelinhas, Cuiabá, MT, 2005.
- VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Effects of urban geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*. v.19, p.895–920. 1998.
- WENG, Q. Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.69, 2003, p.555-566.
- WENG, Q. H., LU, D. S., 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.