

Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor

Use of Remote Sensing in Estimation of Urban Heat Island Effects

RESUMO

Os objetivos principais do presente trabalho foram: 1) estimar a temperatura da superfície continental, 2) os índices de vegetação e albedo da superfície e posteriormente 3) comparar a evolução espaço-temporal destas imagens com a climatologia local do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Rio Branco, AC. As técnicas de sensoriamento remoto (SR), permitiram uma análise temporal de uso e ocupação do solo, especialmente com vistas a identificar e monitorar as alterações na paisagem. Com base no cálculo do viés médio (VM), o presente estudo mostrou que, em áreas densamente verdes, onde a falta de estações meteorológicas ocorrem, o algoritmo que estimou a temperatura da superfície, pode ser utilizado para o preenchimento de falhas, já que os valores foram ligeiramente subestimados, com valor deste indicador de -0,32°C para o ano de 1994. Foi verificado também uma superestimativa dos resultados, com valor de viés médio de 0,31°C para o ano de 1996. Os resultados mostraram um acréscimo de temperatura de faixa média de 1,12°C de 1990 a 2010. O albedo da superfície aumentou significativamente em Rio Branco, principalmente onde ocorreram as maiores porcentagens da classe "área urbana". Verificou-se que os valores médios do NDVI, SAVI e IAF apresentaram maiores oscilações, principalmente nos anos de maiores aumento das áreas antropizadas (2005, 2009 e 2010). Os resultados obtidos, ainda que em caráter preliminar, indicam a eficiência do SR por meio da análise da banda termal do satélite Landsat-5 como ferramenta de análise na identificação de ilhas de calor urbanas, mostrando-se eficaz quanto à espacialização dessas anomalias espacial e temporalmente.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto, ilhas de calor, Rio Branco

ABSTRACT

The main goals of this work were: estimating the continental surface temperature, vegetation index and later compare the spatio-temporal evolution of these images with local climatology of the National Institute of Meteorology (INMET) in Rio Branco, AC. The techniques of remote sensing (RS), integrated into a geographic information system (GIS), allows a temporal analysis of land use and occupation, especially in order to identify and monitor the changing landscape. Based on the calculation of average bias (VM), this study showed that, in densely green, where the lack of weather stations occur, the algorithm that estimated the surface temperature can be used to fill the gaps, since values were slightly underestimated, with a value of -3.50 for this indicator for the year 2008. It was also verified an overestimation of results, with the average bias value of 7.01 for the year 1996. The results showed an increase in temperature of 6.6 °C from 1990 to 2010. The surface albedo increased significantly in Rio Branco, especially where there were higher percentages of Class "urban area". There was sharp decline in all indices of vegetation due to increased urban sprawl in Rio Branco. The results, though preliminary in nature, indicate the efficiency of the SR by the analysis of the thermal band of Landsat-5 as an analysis tool in the identification of urban heat islands, proving to be effective as the spatialization of these anomalies in space and time.

KEYWORDS: *Recycling, batteries, characterization*

Rafael Coll Delgado

Professor da Universidade Federal do Acre

Rio Branco, AC, Brasil

rafaelcolldelgado32@gmail.com

Rafael de Ávila Rodrigues

Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, MG, Brasil

rafaelvo@hotmail.com

André Luiz Lopes de Faria

Professor da Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, MG, Brasil

andre@ufv.br

Clênia de Souza Pessoa

Mestranda em Botânica pela Universidade Federal de Viçosa, UFV

Viçosa, MG, Brasil

acanthpessoa@gmail.com

Mayara Daher

Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, MG, Brasil

mayara_daher@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O município de Rio Branco, capital do Acre, possui cerca 335.796 mil habitantes, o equivalente à 45,82% da população total do Estado (IBGE, 2011). Historicamente a existência da cidade está relacionada com a formação dos primeiros seringais do Alto Acre, o Volta da Empresa e o Seringal Empresa, ambos situados as margens do Rio Acre, e pertencentes à Neutel Maia que chegou ao local em 1882. A economia de Rio Branco passou a estar associada não apenas com a extração do látex das seringueiras, mas também do comércio que centralizou-se na região (Bezerra, 2006).

No início, seu desenvolvimento econômico teve como base a atividade extrativista e comercial impulsionando o processo de uso e ocupação do solo urbano. Atualmente as atividades comerciais e extrativistas, estimuladas por políticas públicas, levaram a um forte processo de urbanização de Rio Branco.

A implantação de áreas residenciais e comerciais, dentre outras atividades, podem proporcionar alterações no clima urbano. Conhecer estes processos e seus impactos para a população e atividades produtivas são importantes, pois, permitem nortear os processos de planejamento e gestão. Para seu estudo a ciência ocidental dispõe de uma considerável quantidade de referências, das quais podem ser destacadas as contribuições de Oke (1978), Henderson-Sellers & Robinson (1989), Escourrou (1991), Monteiro & Mendonça (2003), dentre outras.

Segundo Amorim (2000), o processo intenso de urbanização altera o balanço de radiação e o hídrico da superfície devido à substituição dos materiais naturais pelos materiais urbanos e cria condições climáticas diferenciadas da encontrada ao seu redor, caracterizando o clima urbano.

No processo de urbanização, a remoção da cobertura verde e sua substituição por áreas construídas elevam o índice de albedo e, conseqüentemente, a superfície do solo passa a reter menos quantidade de energia, aumentando a refletância. Sabe-se que, quanto mais elevado é o volume de energia armazenado, maior é o equilíbrio térmico. Nas cidades, verifica-se, portanto, uma desorganização do mecanismo climático (Conti, 2003).

Monteiro (1976) notou que embora tenha ocorrido uma grande evolução nos métodos de análise e na epistemologia da ciência, até meados do século XX, os estudos sobre clima urbano apenas investigavam sob aspectos meteorológicos dando pouco destaque a degradação ambiental proveniente de atividade antrópica. Nesse sentido, o uso de imagens de satélite no estudo do clima urbano é, entretanto, um recurso ainda muito pouco utilizado quando se observam os estudos de climatologia brasileiros (Monteiro & Mendonça, 2003). Os trabalhos de Lombardo (1985), Mendonça (1995), Mendonça & Dubreuil (2005), Colhishon (1998) e Ortiz et al. (2011) são alguns exemplos brasileiros que empregaram imagens de satélite na análise do campo térmico das cidades.

Delgado *et al.* (2012) ao estudarem a influência da mudança da paisagem, a partir de dados TM em Cruzeiro do Sul, AC, constataram o crescimento das áreas antropizadas entre os anos de 2005 a 2010. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento da temperatura da superfície em áreas antropizadas com valores superiores a 40°C.

Nesse sentido, a utilização de novas tecnologias como por exemplo, imagens de satélite, podem subsidiar pesquisas que permitem não somente um conhecimento do evento, mas também possibilitar a geração de dados e informações dinâmicos do

clima urbano, destacando que as alterações do ambiente são decorrentes das atividades humanas, sendo o resultado da correlação entre a sociedade e a natureza na cidade.

Estudos acerca do fenômeno ilha de calor, utilizando estimativas de temperatura da superfície continental, com base em dados de satélites, foram conduzidos originalmente empregando-se dados do sensor AVHRR a bordo dos satélites polares da série NOAA (Gallo *et al.*, 1993; Roth *et al.*, 1989; Streutker, 2002). A resolução espacial de 1,1 km destes dados é adequada somente para o mapeamento da temperatura urbana em escala regional (Chen *et al.*, 2002). Recentemente, foram utilizados dados térmicos dos satélites da série LANDSAT, tendo-se destacado por muitos anos o LANDSAT-5, com resolução espacial de 120 m, para estudos de ilha de calor de escala local (Weng, 2003). Como a temperatura da superfície continental é mais facilmente relacionada com as condições da própria superfície, uma das principais aplicações do sensoriamento remoto térmico no estudo de climas urbanos consiste em examinar relações entre a estrutura espacial dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana, o que pode ajudar posteriormente no planejamento do uso da terra (Chen *et al.*, 2006).

Dados pontuais possuem a vantagem de alta resolução temporal, mas por outro lado têm pobre resolução espacial. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem destacando-se, pois além de possuir alta resolução espacial e oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica. Isto faz como que os sensores que operem nesta região possam ter seus dados

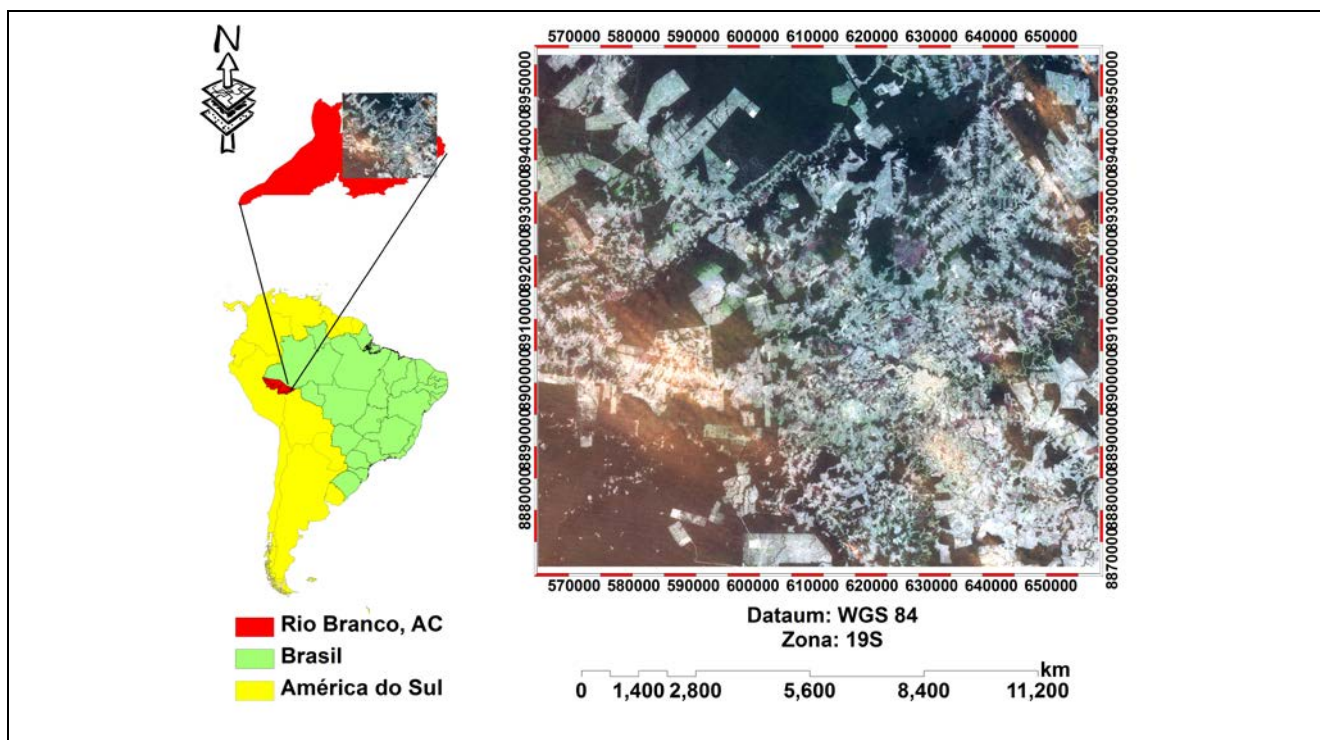


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e recorte do município Rio Branco, AC com a composição RGB (4, 3 e 2).

Tabela 1. Dia da passagem do satélite Landsat-5 para o município de Rio Branco, AC

Órbita/Ponto	Dia/Mês/Ano
2/67	01/08/1990
2/67	11/07/1994
2/67	12/06/1995
2/67	14/06/1996
2/67	19/07/1997
2/67	06/07/1998
2/67	10/08/1999
2/67	25/06/2000
2/67	30/07/2001
2/67	04/07/2003
2/67	04/06/2004
2/67	10/08/2005
2/67	26/06/2006
2/67	29/06/2007
2/67	01/07/2008
2/67	06/09/2009
2/67	24/08/2010

convertidos, após sofrerem correção dos efeitos atmosféricos e da superfície (emissividade), em temperatura da superfície continental (Dash *et al.*, 2002; Weng & Yang, 2004), a qual é um parâmetro de importância

fundamental para o estudo da climatologia urbana (Voogt & Oke, 2003).

Desse modo o trabalho teve como objetivos principais: estimar a temperatura da superfície continental, índices de vegetação e

albedo da superfície e posteriormente comparar a evolução espaço-temporal destas imagens com a climatologia local a partir dos dados gerados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Rio Branco, AC.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo selecionada para este trabalho corresponde ao município de Rio Branco, AC (Figura 1). O município de Rio Branco sofreu um grande processo de crescimento populacional a partir da década de 70, com crescente concentração de população urbana. Para analisar a evolução das temperaturas da Estação Meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) com sede em Rio Branco, AC, utilizou-se uma série histórica diária da temperatura média do ar, no período que compreendeu 20 anos (1990-2010) e, imagens do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5, órbita 2, ponto 67, (Tabela 1).

Para o processamento dos dados, foram utilizados os softwares ERDAS IMAGINE 10 e ArcGIS 9.3. O software ArcGIS versão 9.3 foi utilizado para o trabalho de dados vetoriais, banco de dados e mapas, o software ERDAS IMAGINE 10 foi utilizado para o processamento de imagem como: cálculo da calibração radiométrica, refletância das bandas, albedo no topo da atmosfera, albedo da superfície, índices de vegetação, emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal, emissividade da banda larga, temperatura da superfície e classificação não supervisionada.

As imagens TM são compostas de sete bandas espectrais, sendo que seis bandas são refletivas e uma termal (banda 6). A radiância espectral dos alvos observados pelo sensor TM são armazenadas em níveis de cinza, ou número digital, os quais variam de 0 a 255 (resolução radiométrica de 8 bits) e tendo resolução espacial de 30 m nas bandas refletivas e 120 m na banda do termal.

De acordo com o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm*) proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998) uma série de sequências foi efetuada. Por meio da equação 1, foi calculado a

radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times 255 \quad (1)$$

em que, ND é o número digital de cada pixel. Já, os coeficientes L_{\max} e L_{\min} são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$). Tratando-se de dados TM, as imagens, cujas datas de aquisição estão compreendidas de 1 de março de 1984 a 4 de maio de 2003, foram utilizados os valores de L_{\min} e L_{\max} propostos por Chander & Markhan (2003).

Posteriormente, calculou-se a refletância de cada banda (ρ_{λ_i}), com a equação 2:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

em que, L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, E_{λ_i} é a radiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$), θ_z é o ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM e d_r é a distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA) (equação 3).

A distância relativa terra-sol foi calculada por meio da equação sugerida por Allen *et al.* (2007):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(DJ \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que, DJ representa o dia do ano.

Com a refletância de cada banda foi possível obter o albedo no topo da atmosfera (α_{toa}) e, por sua vez, o albedo considerando os efeitos atmosféricos ou albedo da superfície (α):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,154\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_6 \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (5)$$

em que, α_p é o albedo da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, foi utilizado o valor de 0,03; τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} Z_a \quad (6)$$

em que, Z_a é a altitude.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) foi obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma das mesmas (equação 7):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (7)$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* - SAVI), empregou-se a expressão proposta por Huete (1988).

$$SAVI = \frac{(1 + \ell)(\rho_2 - \rho_1)}{(\ell + \rho_2 + \rho_1)} \quad (8)$$

O SAVI é um índice que busca diminuir a influência da resposta espectral do solo, mediante a inclusão de um fator de ajuste (ℓ) que é variável com o grau de

fechamento do dossel, permitindo melhoria na interpretação das variáveis da vegetação. Neste estudo foi utilizado o valor de ℓ igual a 0,1, em virtude de se verificar que esse valor proporciona um Índice de Área Foliar (IAF) mais compatível com valores em superfície.

Na estimativa do IAF, definido pela razão da área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, adotou-se a equação empírica sugerida por Allen *et al.* (2002).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

Para obtenção da temperatura da superfície (T_s , em kelvin), foi utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (10)$$

em que, K_1 ($607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e K_2 ($1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) são constantes de calibração da banda termal do sensor TM e $L_{\lambda,6}$ é a radiância espectral da banda termal. Como cada superfície não emite radiação eletromagnética como se fosse um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ϵ_{NB}). Assim, quando for calculada a radiação de onda longa emitida da superfície, deverá ser considerada a emissividade da banda larga (ϵ_0) ($6 - 14 \mu\text{m}$). Segundo Allen *et al.* (2002), as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para NDVI > 0 e IAF < 3, pelas expressões:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \text{ IAF} \quad (11)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (12)$$

Sendo adotado o valor de $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$, para pixels com IAF ≥ 3 . E, conforme Allen *et al.* (2002) utilizou-se para corpos d' água (NDVI < 0 e $\alpha < 0,47$) os valores de $\epsilon_{NB} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$.

Objetivando avaliar o desempenho estatístico do método para determinar a temperatura da superfície, foram realizadas análises comparativas entre as metodologias propostas com base nos valores efetivamente medidos (observados) na estação meteorológica em Rio Branco, AC. Para o teste dos modelos, foi adotado o coeficiente de determinação e correlação (r^2 e r). Adicionalmente, foi estimado o seguinte erro estatístico: viés médio (VM) proposto por Willmott & Matsuura (2005). As expressões utilizadas para estimativa do índice de determinação e erro foram:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (13)$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N} \quad (14)$$

em que, P_i é o $i^{\text{ésimo}}$ valor estimado de temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$), O_i é o $i^{\text{ésimo}}$ valor observado de temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$), \bar{O} é o valor médio observado de temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$), N é o número de dados analisados.

Para este estudo utilizou-se a classificação não supervisionada proposta por Freitas *et al.* (2012), visando mapear a área urbana de Rio Branco-AC, utilizou-se o classificador "ISODATA" do programa ERDAS IMAGINE 2010. Este procedimento distribui classes espectrais de maneira uniforme no espaço para, em seguida, aglomerar classe por classe, em um processo iterativo (repetitivo). Para este trabalho foram definidas o número de uma classe e vinte e cinco interações. Procedeu-se a uma aferição visual entre as classes espectrais geradas e, no programa ArcGIS 9.3 foram gerados os mapas da mancha urbana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mudança da paisagem e o aumento da mancha urbana em Rio Branco, AC substituindo as áreas verdes, resultou no aumento da temperatura do ar, causadas pela modificação no balanço de radiação e, conseqüentemente as ilhas de calor, as temperaturas médias do ar tiveram um ligeiro aumento. Fato que pode ser comprovado pela Figura 2. A temperatura média anual obteve aumentos significativos, que podem ser constatados na inclinação da reta de tendência, que demonstra que a maioria dos anos apresentaram uma elevação térmica.

Em estudo recente em Rio Branco (Acre) de tendência climática no aumento da temperatura mínima do ar através do teste estatístico de Mann-Kendall e regressão linear simples, os pesquisadores constataram uma forte tendência de elevação na temperatura mínima do ar de 44% para Rio Branco no período de 1970 a 2010 (Delgado *et al.* 2012).

Na Figura 3a-q são apresentadas as relações temporais e espaciais estimadas pelo classificador ISODATA a partir do sensor TM do Landsat 5. Foi constatado que as áreas

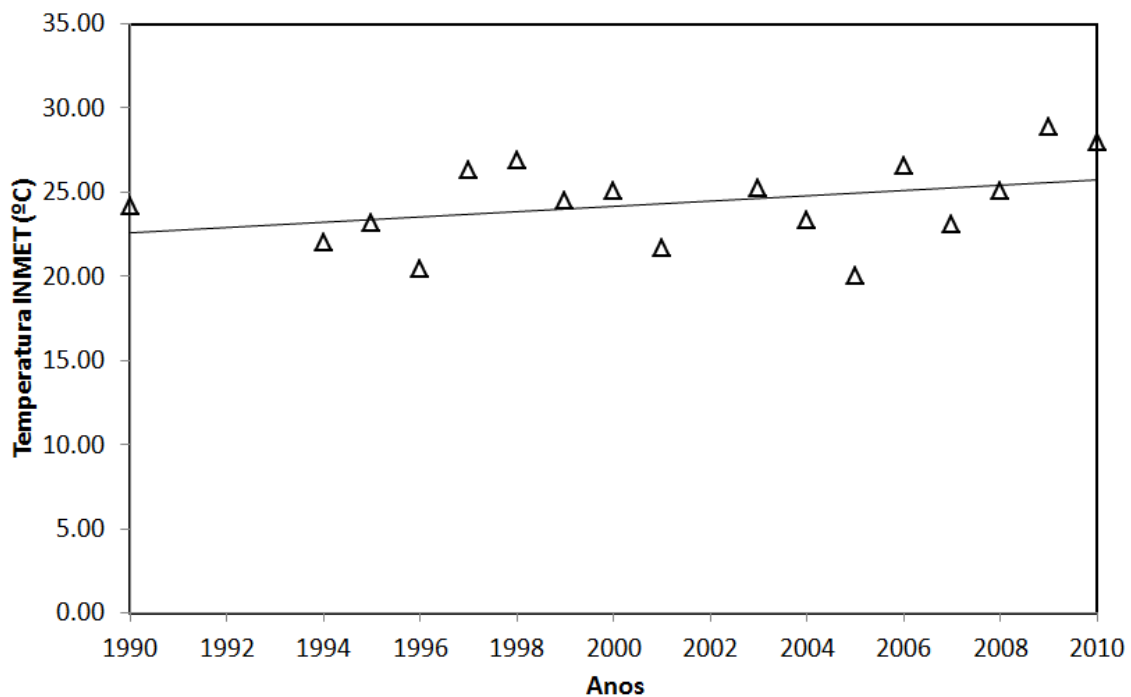


Figura 2. Temperatura média diária dos anos de 1990 a 2010 para o município de Rio Branco, AC.

antropizadas dentro da área de estudo apresentam elevação significativa para os anos de 2005, 2009 e 2010 mais de 130 mil hectares foram destinados a áreas antropizadas (Figura 4).

Ao estudar a influência da mudança da paisagem em Cruzeiro do Sul, AC, Delgado *et al.* (2012) constataram o crescimento médio de mais de 54 mil hectares das áreas antropizadas entre os anos de 2005 a 2010. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento da temperatura da superfície em áreas antropizadas com valores máximos de 42°C.

As áreas urbanas e com pouca vegetação (solo exposto), se destacaram com as maiores temperaturas. Isso em virtude do concreto e areia possuir propriedades de absorção térmica, que faz com que o calor que é irradiado fique concentrado, resultando em áreas de pico térmico. O resultado da substituição de superfícies naturais, como vegetação e solo nu, por materiais, como asfalto e concreto, reduzem a cobertura vegetal e alteram radicalmente as propriedades de impermeabilidade, radiativas,

térmicas e aerodinâmicas da área urbana.

De acordo com Costa *et al.* (2010) as propriedades radiativas e térmicas dos materiais urbanos, em particular, albedo, emissividade e capacidade, e condutividade térmica, também apresentam forte influência no desenvolvimento do fenômeno ilha de calor, visto que elas determinam como a radiação de ondas curta e longa é refletida, absorvida, emitida e armazenada.

Analisando o albedo da superfície (Figura 5) da área de estudo é perceptível constatar um maior número de valores de albedo médio para os anos de 2005, 2009 e 2010 superiores a 0,14 em áreas antropizadas.

A tendência geral é de áreas com vegetação mais densa apresentar os menores valores de albedo enquanto áreas com algum tipo de atividade antrópica, tal como agricultura e influência urbana, apresentar os maiores valores de albedo.

Na Figura 6 verifica-se que os valores médios do NDVI, SAVI e IAF apresentaram maiores oscilações, principalmente nos anos

de maiores aumento das áreas antropizadas (2005, 2009 e 2010).

O NDVI identifica melhor uma vegetação mais densa, o que explica o aumento das áreas de mata (1994 a 1998). O ano de 2010 foi caracterizado com o menor índice NDVI de 0,45 (Figura 6).

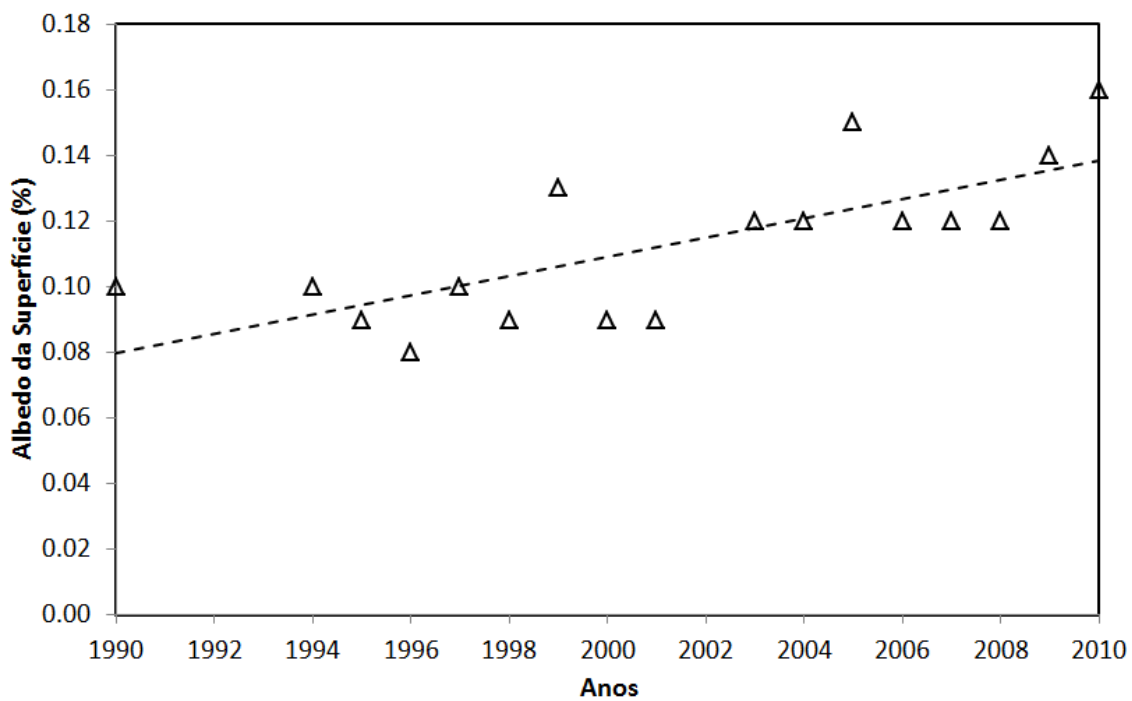
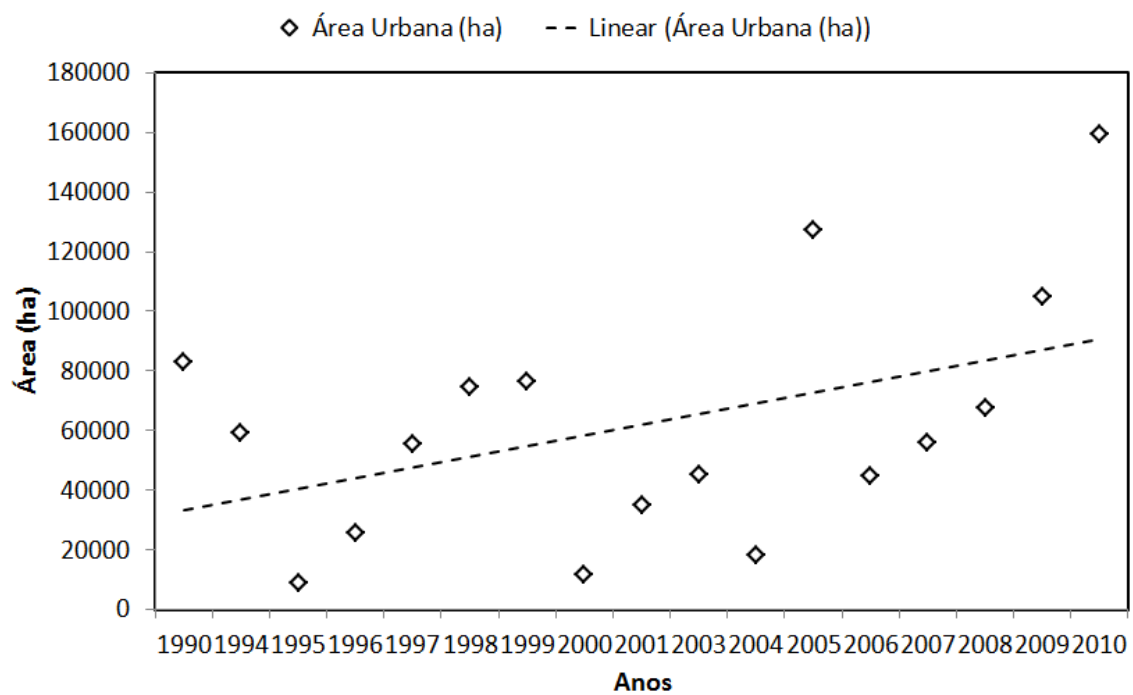
O ano de 2004 foi caracterizado com o maior IAF 0,79, conforme Figura 6. Esse resultado indicou aumento na biomassa do município, resultando em diminuição das áreas classificadas como antropizadas (Figura 4).

O índice SAVI oscilou entre 0,26 em 2010 à 0,40 para o ano de 2004 (Figura 6). O SAVI é um índice mais aconselhável para caracterizar vegetação não densa pelo fato de ter ajuste na refletividade do solo e, portanto, um índice confiável para o município de Seropédica pela quantidade de pastagens existentes na região.

Na Figura 7a, verifica-se que a aplicação do algoritmo para determinar a temperatura da superfície através de imagens TM do satélite Landsat 5, apresentou coeficiente de correlação (r) de 0,70 quando comparado com os dados da estação de Rio Branco-AC (Figura



Figura 3a-q. Classificação não supervisionada pelo método ISODATA para o município de Rio Branco, AC.



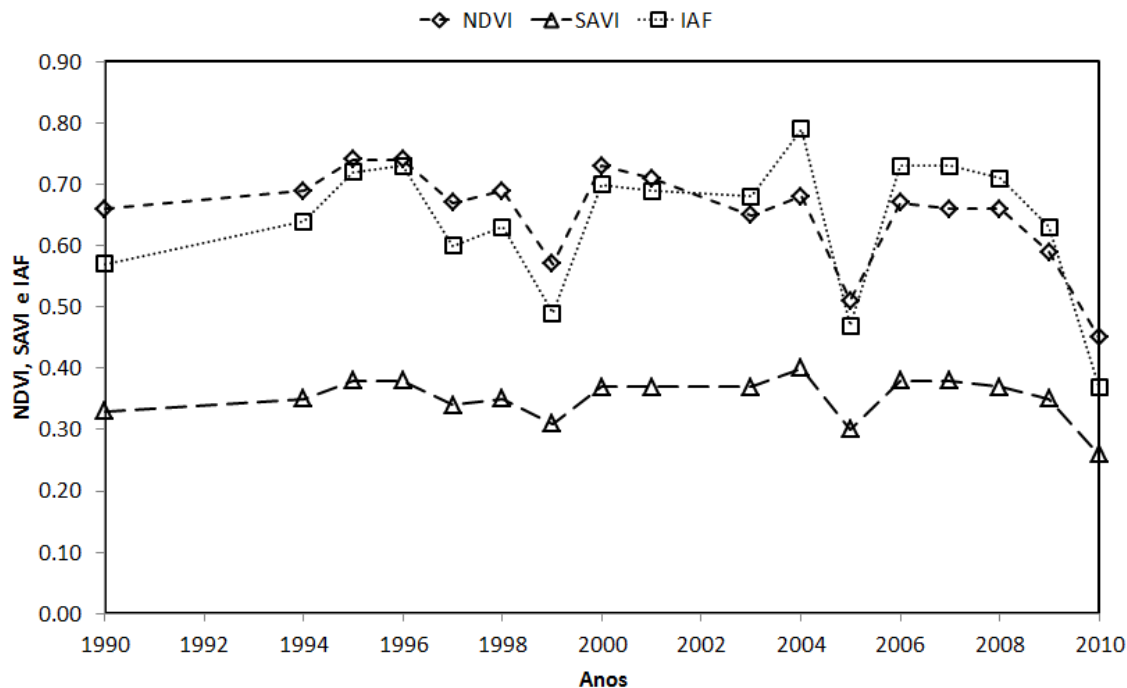


Figura 6. Valores médios dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) para Rio Branco-AC.

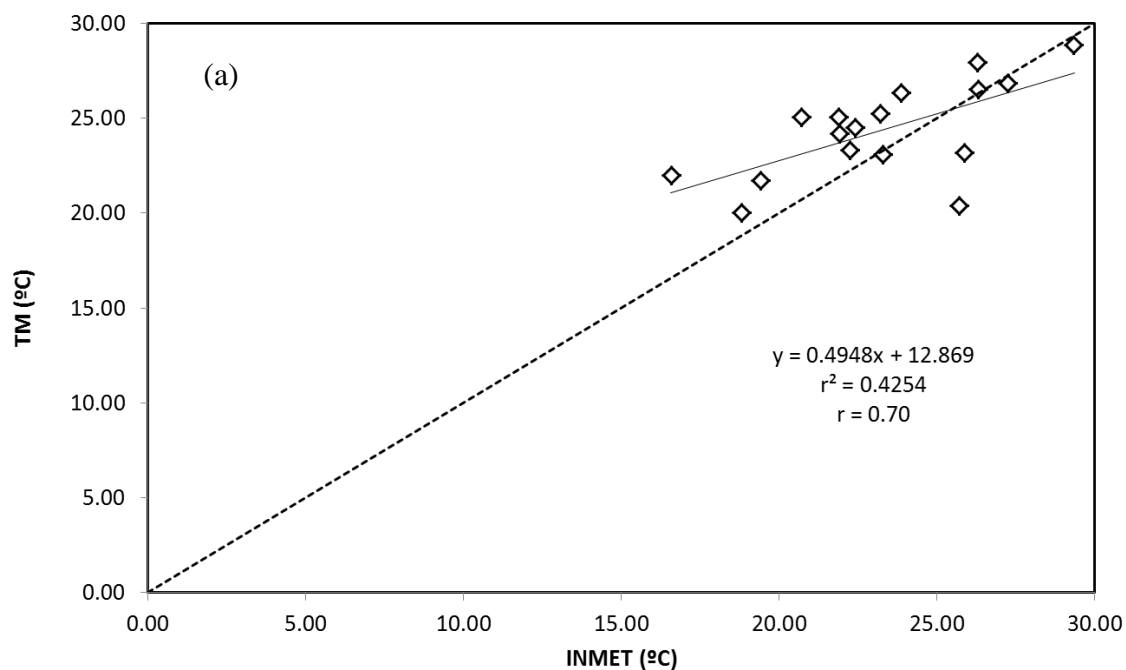


Figura 7a. Análise de regressão para relação entre temperatura INMET versus SEBAL.

7a). Os valores do viés médio variaram de um mínimo de $-0,32^{\circ}\text{C}$ a um máximo de $0,31^{\circ}\text{C}$ respectivamente para as cenas estudadas (Figura 7b).

Os valores estimados em relação aos medidos do INMET

diferenciaram ao longo de 17 anos de estudo na faixa média de $1,12^{\circ}\text{C}$ mostrando que a metodologia do SEBAL para estimar a T_s é viável para áreas onde não se possui estações meteorológicas.

A partir das análises realizadas nas figuras anteriores, observa-se segundo Leitão *et al.* (2002), que as alterações no uso e cobertura do solo podem influenciar significativamente nas variações climáticas em escala regional e

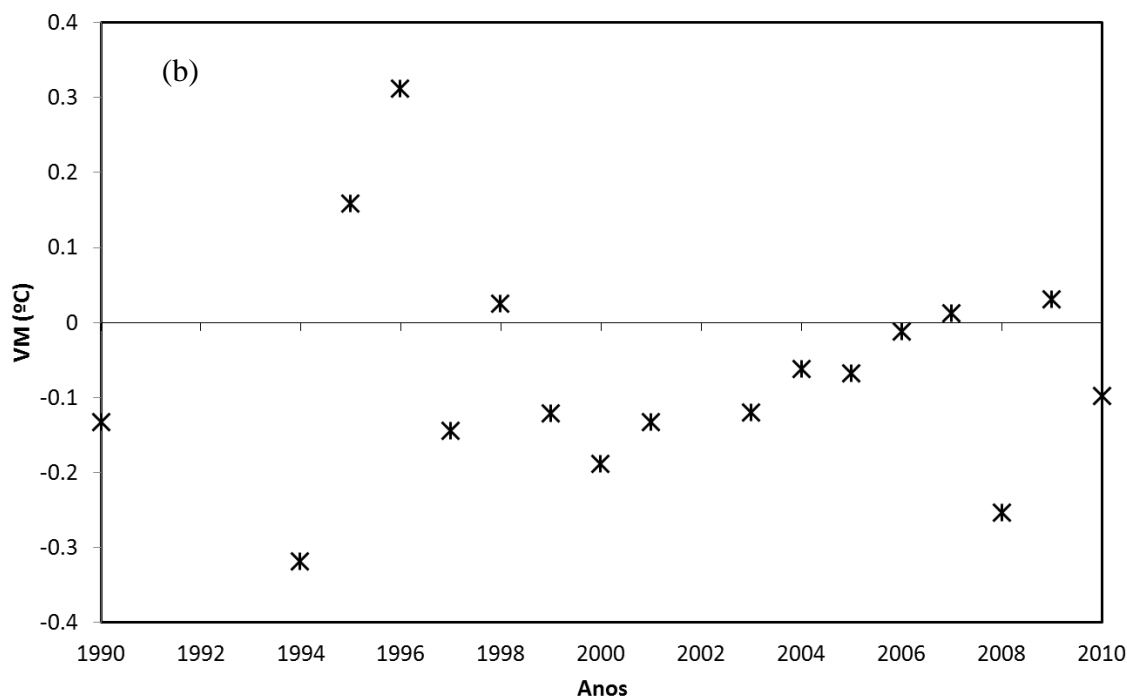


Figura 7b - Viés médio (b) para relação entre temperatura INMET versus SEBAL.

global. O aumento do albedo causado pelas mudanças quanto ao uso e cobertura do solo tem contribuído para as mudanças ambientais globais. O albedo de uma superfície coberta por vegetação varia com o ângulo de inclinação do Sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e tipo de nuvens.

As áreas densamente urbanizadas em Rio Branco-AC, combinadas com a falta de vegetação, podem resultar em baixos valores de calor latente, umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana.

CONCLUSÕES

A evolução histórica das temperaturas de Rio Branco, AC foi analisada a partir das imagens do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5, nas quais observaram-se que o aquecimento concentrou a

cada ano que passa sobre no perímetro urbano, visto que, as transformações na paisagem natural têm ocorrido de maneira muito mais devastadora, onde não há preocupação com os agravantes ambientais.

Os resultados obtidos neste estudo, ainda que em caráter preliminar, indicam relevante alteração da paisagem ao longo dos 17 anos analisados. Os valores demonstram avanço das áreas antropizadas (8.899,11 ha em 1995 para 159.424,74 ha em 2010).

A temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para os anos de 1990 a 2010, apresentaram valores máximos de 29,37°C e valores mínimos de 16,57°C. O presente estudo mostrou que os dados estimados da temperatura da superfície apresentaram boa correlação de 0,70 com os dados do INMET, já que as temperaturas foram subestimadas e superestimadas com valores mínimos e máximos de -0,32°C e 0,31°C em 1994 e 1996.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro processo 477207/2011-1, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelas imagens do Landsat 5 e a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela disponibilidade do uso do laboratório de Meteorologia.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133: 380-394. 2007.
- ALLEN, R. G., TASUMI, M.; TREZZA, R. *SEBAL* (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0. 2002.
- AMORIM, M. C. de C. T.. *O Clima urbano de Presidente Prudente/SP*. Tese (doutorado) FFLCH-USP, 2000.

- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- BEZERRA, M. J. **Invenções do Acre: de território a Estado - um olhar social**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo/São Paulo, São Paulo. 383 pp. 2006.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5/TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. IEEE. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 41: 2.764-2.677. 2003.
- CHEN, X.L.; ZHAO, H.M.; LI, P.X.; YIN, Z.Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, 104: 133-146. 2006.
- CHEN, Y.; WANG, J.; LI, X. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. **Remote Sensing for Land and Resources**, 4: 55-59. 2002.
- CONTI, José B. **Clima e Meio Ambiente**. São Paulo: Editora Abril, 2003.
- COSTA, D.F.; SILVA, H.R. & PERES, L.F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, p.974-985. 2010.
- DASH, P.; GOTTSCHKE, F.S.; OLESEM, F.S.H.; FISCHER, H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. **International Journal of Remote Sensing**, 23: 2.563-2.594. 2002.
- COLLISHON, E. **O campo térmico da Região Metropolitana de Porto Alegre: análise a partir da interação entre as variáveis ambientais na definição do clima urbano**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- DELGADO, R.C.; SOUZA, L.P.; SILVA, I.W.R.; PESSÔA, C.S.; GOMES, F.A. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 665-674, 2012.
- DELGADO, R.C.; SOUZA, L.P.; RODRIGUES, R.A.; OLIVEIRA, E.C.; SANTOS, R.S.S. Tendência climática de aumento da temperatura mínima e da pressão de saturação do vapor d' água na amazônia ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15; p. 2584-2598, 2012.
- ESCOURROU, G. **Le climat et la ville**. Paris: Nathan, 1991.
- FREITAS, D.M.; DELGADO, R.C.; RODRIGUES, R.A.; SOUZA, L.P. Variabilidade espaço-temporal na mudança da paisagem no município de Acrelândia, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 935-946, 2012.
- GALLO, K.P.; MCNAB, A.L.; KARL, T.R.; BROWN, J.F.; HOOD, J.J.; TARPLEY, J.D. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. **Journal of Applied Meteorology**, 32: 899-908. 1993.
- HENDERSON-SELLERS, A.; ROBINSON, P.J. **Contemporary climatology**. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25: 295-309. 1988.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011. (<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/opwindow.htm?1>) acessado em 10/04/2011.
- LEITÃO M. de M. V. B. R.; SANTOS, J. M. dos & OLIVEIRA, G. M. de. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.256-261, 2002.
- LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o caso de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MENDONÇA, F. **Clima e planejamento urbano: proposição metodológica e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de Superfície e Temperatura do ar na RMC (Região Metropolitana de Curitiba/PR). **RA E GA**, Curitiba, n. 9, p. 25-35, 2005. Editora UFPR.
- MONTEIRO, C. A. F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo**. Série Teses e Monografias, n. 28, São Paulo: USP/Igeog, 1976. 54p.
- MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- OKE, T. **Boundary layer climate**. London: Methuen, 1978.
- ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C. T. **Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota/SP a partir da imagem de satélite Landsat7**. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-16, 2011.
- 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**, 10: 1.699-1.720. 1989.
- STREUTKER, D. R. A remote sensing study of the urban heat island of

Houston, Texas. **International Journal of Remote Sensing**. 23: 2.595-2.608. 2002.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, 86: 370-384. 2003.

WENG, Q.; YANG, S. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. **Journal of Environmental Management**, Oxford, 70: 145-156. 2004.

WENG, Q. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, 69: 555-566. 2003.

WILLMOTT, C. J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, n.1, p. 79-82, 2005.

Recebido em: Jun/2011

Aprovado em: set/2012