Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Avaliação microclimática no município de Petrolina, Pernambuco, Brasil usando técnicas de sensoriamento

Juliete Baraúna dos Santos¹, Dimas de Barros Santiago², Heliofábio Gomes de Barros³, Ricardo Ferreira C. Amorim⁴.

¹Meteorologista, Mestranda do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, autor correspondente: juhbarauna@gmail.com.

²Meteorologista, Mestrando do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, dimas.barros91@gmail.com. ³Prof. Doutor Adjunto 3, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, heliofabio@icat.ufal.br.

⁴Prof. Doutor Associado, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, rfcamorim@gmail.com.

Artigo recebido em 07/07/2016 e aceito em 05/08/2016

RESUMO

O processo de urbanização é um agente ativo nas modificações e alterações no microclima de um ambiente urbano. A falta de um planejamento urbano incorporado às variáveis climáticas regionais e locais potencializa as condições de absorção de acentuada carga térmica da superfície, acarretando em temperaturas mais elevadas. Desse modo, a pesquisa teve como objetivo avaliar a sensação térmica do município de Petrolina-PE, de modo a obter informações quanto às características microclimáticas das áreas de temperaturas mais altas e, compreender a distribuição das fontes de calor a partir das estimativas da temperatura de superfície (Ts) e índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN). Essa avaliação foi realizada por meio de imagens obtidas do satélite TM LANSAT 5, valores de temperatura média do ar e dados de precipitação (INMET) e, Índice Simplificado, que representa os níveis de desconforto térmico. Foi utilizado o software *SURFER*, com mapeamentos mostrando valores elevados (cerca de 38 °C) para a variação diária da temperatura média do ar. Em todo período, a população foi submetida aos alertas de atenção e muito cuidado, aumentando o metabolismo celular e a produção de calor do organismo, que começa a apresentar sintomas como intensa sudorese e alteração na respiração e frequência cardíaca. Também foi utilizado o software *ERDAS Imagine*, pelo qual o IVDN mostrou que as áreas com ausência de vegetação ou áreas construídas apresentaram as maiores temperaturas. Por fim, foi observado que o comportamento dos valores da temperatura média diária do ar mostrou concordância com os valores máximos de Ts.

Palavras-chave: temperatura da superfície, sensação térmica, microclima, Petrolina-PE.

Microclimate evaluation in the city of Petrolina, Pernambuco, Brazil, using sensing techniques

ABSTRACT

The process of urbanization is an active agent in the modifications and changes in the microclimate of an urban environment. The lack of an urban planning incorporated into regional climatic and local variables enhances the absorption conditions of severe thermal load surface, resulting in higher temperatures. Thus, the research aimed to evaluate the thermal sensation of the city of Petrolina, in order to obtain information on the microclimate of the high temperature areas and understand the distribution of heat sources from estimates of temperature surface (Ts) and vegetation index normalized difference (IVDN). This evaluation was performed using the obtained TM LANSAT 5 satellite images, average temperature values of the air and precipitation data (INMET) and Simplified Index, which represents the levels of thermal discomfort. It used the software *SURFER* with maps showing high values (about 38 °C) for the daily variation of the average air temperature. In any period, the population was subjected to warnings of attention

and care, increasing cell metabolism and heat production in the body, which begins to show symptoms such as severe sweating and changes in breathing and heart rate. It was also used the software *ERDAS Imagine*, for which the IVDN showed that areas with no vegetation or built up areas had the highest temperatures. Finally, it was observed that the behavior of the values of the average daily air temperature showed agreement with the maximum values of T_s .

Keywords: surface temperature, wind chill, microclimate, Petrolina-PE

Introdução

Segundo Costa (2005), as mudanças (tais como, urbanização e industrialização) ocorridas nos grandes centros urbanos, nos últimos anos, são consequências do aumento da concentração populacional, que sobrecarrega a infraestrutura básica nesses centros. Acelerando, assim, o processo de substituição e degradação do ecossistema natural por estruturas artificiais sem o compromisso de oferecer uma qualidade ambiental urbana a seus habitantes.

O microclima característico do ambiente urbano resulta de diversas modificações e alterações climáticas oriundas justamente do processo de urbanização (GARCIA, 1999). De modo, que a crescente ampliação das áreas urbanas tem modificado as características do clima local, e alterando a sensação de conforto térmico. Assim, fenômenos como a industrialização e o crescimento demográfico são determinantes na formação das cidades, modificando as temperaturas locais, uma vez que a ocupação do solo com vegetação por construções, pavimentação com concreto asfáltico e concreto de cimento associados à diminuição de áreas verdes e o adensamento populacional são alguns dos fatores que contribuem para mudanças na estrutura térmica do ambiente urbano, tais como aumento da temperatura do ar, diminuição da umidade do ar e da circulação do vento.

As estruturas constituintes do ambiente urbano das cidades não tiveram em seu planejamento a preocupação com a utilização de materiais construtivos adequados ao clima da região de modo a reduzir o aquecimento das áreas centrais das cidades e proporcionar conforto térmico à população (LISBOA, 2007), proporcionam potencialização às condições para absorção de uma acentuada carga térmica pela superfície, o que acarreta temperaturas mais elevadas na área urbana das cidades do que na área rural circundante (AMORIM, 1993).

Ressaltando, que fatores geográficos como grandes corpos hídricos, por exemplo, atuam como um regulador térmico da temperatura do ar,

tendendo a suavizar as flutuações e reduzir a amplitude anual (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Fanger (1970) define o conforto térmico como uma condição da mente, que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico, sendo analisado como trocas térmicas que dependem de diversos fatores, sejam ambientais e/ou pessoais, comandados por processos físicos.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem se destacando, 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 (DELGADO *et al.*, 2012). No entanto, vários estudos têm estimado o calor relativo das cidades medindo a temperatura do ar usando estações meteorológicas, tendo como vantagem a alta resolução temporal, porém as estações apresentam baixa resolução espacial.

Nesta perspectiva, a pesquisa teve como objetivo avaliar a sensação térmica do município de Petrolina-PE, de modo a obter informações quanto às características microclimáticas das áreas com temperaturas mais altas na região de estudo. Dessa forma, visando também compreender a distribuição das fontes de calor dentro da área de estudo a partir das estimativas da Temperatura de Superfície (T_s) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) das imagens satélite TM Landsat 5.

Material e métodos

Caracterizações da área de estudo

A caracterização climática do Nordeste Brasileiro constitui domínio dos climas quentes de baixas latitudes, apresentando temperaturas médias anuais sempre superiores a 18°C (SILVA *et al.*, 2008).

No Sertão de Pernambuco está localizada a microrregião de Petrolina, considerada uma das regiões mais castigadas pelas secas que atingem a região semiárida do nordeste brasileiro,

constituindo-se em um dos espaços geográficos mais vulneráveis aos efeitos de alterações climáticas. Essa região semiárida do Estado apresenta um regime de chuvas irregulares com precipitação média anual variando entre 500 e 800 mm, que tem como consequências, secas severas ou chuvas em excesso em anos diferentes, chegando algumas secas a durarem dois ou mais anos (INSA, 2011).

A cidade de Petrolina, apresentada na Figura 1, está inserida na região central do

semiárido brasileiro, apresenta clima tropical semiárido, com temperatura média anual de 26°C, precipitação 535,5 mm e umidade relativa do ar de 66% (EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2009). Despontando como uma referência de crescimento na mesorregião submédio São Francisco do Estado de Pernambuco, tornou-se um polo de desenvolvimento regional devido à fruticultura irrigada em meio à caatinga, o que confere grande importância de estudo sobre as alterações na dinâmica do clima urbano.

Figura 1. Localização da região de estudo (Composição RGB), detalhando as regiões com vegetação, hidrografia, áreas construídas e as localidades com solo exposto. Em destaque, a área urbana do município de Petrolina-PE.

Período de estudo

Foram utilizadas imagens dos dias 04/10/1995, 04/10/2001, 15/10/2005 e 29/08/2011, obtidas do satélite TM LANSAT 5, catálogo de imagens DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Desse modo, também foram utilizados valores de temperatura média diária do ar correspondente a todo ano de 1995, 2001, 2005 e 2011 para compreender a variação da temperatura média do ar ao longo de todo período. Como também, dados históricos de precipitação diária, adquiridos do site do INMET (<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>) para os respectivos anos; e imagens do Google Earth para observação da ocupação da área de estudo.

Determinação das condições de conforto térmico

Para representar e conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas quando expostas às determinadas combinações das variáveis ambientais e pessoais (FROTA; SCHIFFER, 2000) têm-se como parâmetro os índices de conforto térmico, sendo possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente.

O índice de sensação térmica utilizado foi o Índice Simplificado (relacionado à temperatura média do ar), proposto por Farias e Brandão (2006), mostrado na Tabela 1, que apresenta os níveis de desconforto térmico, com a seguinte escala de sensação térmica:

Tabela 2. Níveis de Desconforto Térmico sentidos pelo corpo humano, dados pela temperatura do ar, sensação térmica e o respectivo Índice. Fonte: Farias e Brandão (2006).

Temperatura do ar (°C)	Sensação Térmica
Ta > 30	Stress Térmico – aquecimento elevado
27 < Ta ≤ 30	Desconforto por aquecimento
24 < Ta ≤ 27	Leve desconforto
20 < Ta ≤ 24	Zona de Conforto ou Neutralidade Térmica
18 < Ta ≤ 20	Leve desconforto
15 < Ta ≤ 18	Desconforto por resfriamento
12 < Ta ≤ 15	Resfriamento elevado

Para a modelagem das estimativas das temperaturas médias do ar foi utilizado o método de interpolação de *Krigagem*, utilizando software *SURFER 2.12.1*.

Classificação das Imagens

As 7 (sete) bandas da imagem foram empilhadas, em seguida, recortadas, resultando no retângulo da área de estudo, com coordenadas: canto superior esquerdo (Latitude: 09°15'04" S e Longitude: 40°52'21" W), canto superior direito

(Latitude: 09°29'30 S e Longitude: 40°14'12" W), canto inferior esquerdo (Latitude: 09°32'35" S e Longitude: 40°55'34" W) e canto inferior direito (Latitude: 09°37'53" S e Longitude: 40°16'35" W).

Para o processamento das imagens foram utilizadas algumas etapas, descritas na Figura 2, sendo aplicadas operações para o cálculo da radiância espectral, reflectância espectral, índices de vegetação, albedo da superfície e temperatura da superfície, com todas as operações realizadas no software *ERDAS Imagine 9.2*.

Figura 2. Etapas utilizadas para o processamento das imagens no software *ERDAS Imagine 9.2*.

Etapa 1: Para obtenção da calibração radiométrica, representando a energia emitida por cada pixel, foi utilizada a equação de Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) representadas em tabela descrita por Markham & Barker (01/03/1984 a 04/05/2003)/ Chander & Markham, 2003 e Allent, 2007 (após 04/05/2003); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde as bandas (1, 2, ... 7) do satélite TM Landsat 5.

Etapa 4: Para o cômputo do albedo da superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos α , fez-se uso da equação seguinte:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_p}{\tau_{\text{sw}}^2}$$

Onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em BASTIAANSEN (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (ALLEN ET AL., 2002):

$$\tau_{\text{sw}} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z$$

Onde z é a altitude de cada pixel (m), utilizou-se z referente à altitude de cada pixel.

Etapa 5: Para analisar quantidade e condição da vegetação verde da região foi usado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV - próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_{V}) pela soma das mesmas (ALLEN ET AL., 2002), como mostra a equação 4:

$$\text{IVDN} = \frac{\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}}}$$

Etapa 7: Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) foram utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ϵ_{NB} . Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície (K) pela equação:

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

Resultados e discussão

Representando a distribuição temporal da temperatura média diária do ar de janeiro a dezembro para o ano de 1995, na Figura 3 (A) foi observado que os menores valores de temperatura estiveram entre os meses de maio a agosto ao longo de todos os dias dos meses, tendo valores mínimos de 24°C (representados em tons azuis), proporcionando leve desconforto térmico ($24 < T_a \leq 27$) e apresentando sintomas fisiológicos como sudorese, segundo o índice Simplificado (Tabela 2). Entretanto, nos meses de março (especificamente, dias 15 e 25) e novembro (especificamente, dias 23, 24 e 25) ocorreram núcleos isolados de temperaturas mais baixas quando relacionados aos demais dias desses meses, que apresentaram temperaturas mais elevadas.

Para o mesmo ano, as temperaturas mais altas estiveram nos meses de outubro, novembro e dezembro, com núcleos de valores máximos de 38°C (representados em tons alaranjados). O mês de outubro, principalmente, mostrou-se com temperaturas elevadas ao longo de todos os dias, caracterizando estresse térmico muito alto ($T_a > 30$), podendo os indivíduos apresentarem sintomas fisiológicos como câimbras e fadigas.

Figura 3. Variação diária da temperatura média do ar de janeiro a dezembro para o ano de 1995 (A) e 2001 (B).

As flutuações referentes às temperaturas mais baixas apresentaram-se também entres os meses de maio a agosto no ano de 2001, na Figura 13 (B). Entretanto, ambos os anos apresentaram temperaturas elevadas em todos os meses, uma vez que as temperaturas mínimas foram superiores a 24 °C. Como a região apresentou valores em torno de 38 °C, o limite para o conforto com relação ao calor pode ser considerado ($T_a > 30$), havendo assim, inibição dos centros simpáticos centrais dos organismos, e como resposta fisiológica a ocorrência de perda de calor por evaporação. Essas alterações podem levar os indivíduos a apresentarem cansaço e sonolência, redução do desempenho físico e aumento de erros devido à perda de atenção e concentração, como afirma Magalhães (2002).

O mapa temático da temperatura de superfície, mostrado na Figura 4, apresentou predominância de valores entre 28°C e 33°C na região urbana do município de Petrolina, com valores maiores que 34°C. Os maiores valores de temperaturas ocorreram nos anos de 2001 e 2011, com valores superiores a 34°C (tonalidade avermelhada). Tais valores foram influenciados pela ausência de precipitação (Tabela 3), nos dias de estudo, como também pelas condições da ocupação do solo, como exemplo a substituição da vegetação por áreas com asfalto e construções de prédios e residências, as quais absorvem muita energia, aumentando a temperatura local.

Tabela 3. Valores de Precipitação diária (mm) nos dias anteriores a passagem do satélite.

<i>Precipitação diária (mm)</i>							
01.10.1995	00 mm	01.10.2001	00 mm	12.10.2005	00 mm	26.08.2011	00 mm
02.10.1995	00 mm	02.10.2001	00 mm	13.10.2005	00 mm	27.08.2011	0,4 mm
03.10.1995	00 mm	03.10.2001	00 mm	14.10.2005	00 mm	28.08.2011	00 mm
04.10.1995	00 mm	04.10.2001	00 mm	15.10.2005	00 mm	29.08.2011	00 mm

Figura 4. Mapa Temático da temperatura de superfície para os anos de 1995, 2001, 2005 e 2011, respectivamente.

O ano de 1995 (Figura 4A) mostrou os menores valores de temperaturas quando comparado com os demais anos, que apresentaram temperaturas máximas entre 30°C e 31°C

(tonalidade de laranja), devido à influência de nebulosidade presente no dia e hora da passagem do satélite, como mostra a Figura 5.

Figura 5. Composição RGB 751 da área de estudo para o ano de 1995.

Os valores menores foram encontrados nas áreas de corpos d'água, com temperaturas inferiores a 20°C (tonalidade na cor azul) e áreas onde houve a presença da nebulosidade, uma vez que a temperatura de superfície está diretamente relacionada com a emissividade, pois quanto maior absorção menor emissividade da superfície. Como a vegetação absorve grande parte da radiação as temperaturas diminuem na área local, devido à necessidade de energia para processos fotossintéticos, assim parte da radiação é absorvida e consequentemente ocorre diminuição das temperaturas locais.

A distribuição temporal da temperatura média diária do ar para o ano de 2005, apresentada na Figura 6 (A), mostrou que os valores da variável estiveram entre 25-39°C, com as flutuações de menores valores ocorrendo em praticamente todos os meses do ano. Os meses de

outubro e novembro mostraram temperaturas mais elevadas, com um núcleo de 39°C. Enquanto, as flutuações se mostraram bem irregulares no ano de 2011, Figura 6 (B), onde se destacou uma mancha de flutuações menos elevadas para os primeiros dias dos meses de outubro e novembro.

A maior parte das cidades compreende um mosaico de áreas mais quentes (por exemplo, bairros de grande densidade de construção e tráfego intenso) e de outras mais frescas (como os espaços verdes e os planos de água). Não é correto falar do “microclima urbano”, mas sim de um conjunto de climas locais que se refletem num padrão térmico organizado, efeito de uma multiplicidade de microclimas característicos de cada elemento que caracteriza o espaço urbano (ALCOFORADO *et al*, 2005).

Figura 6. Variação diária da temperatura média do ar de janeiro a dezembro para o ano de 2005 (A) e 2011 (B).

Determinando um ponto fixo denominado ponto P2 na imagem de 2011 (Figura 4 D), observaram-se temperaturas de 34°C. Com o

auxílio de uma imagem Google Earth foi possível observar a forma de ocupação da área próxima, Figura 7. O ponto P2 (9° 21' 34.38" S 40° 30'

55.85" W) mostrou uma área de construção (condomínio residencial), onde foi retirada a vegetação e/ou substituída por materiais com capacidade de armazenamento de calor. A forma de ocupação do solo influenciou nos valores de temperatura locais e consequentemente na sensação térmica sentida pelos indivíduos residentes na região. O ponto P2 (1995) demarcado na Figura 7 (B) representa uma área com vegetação rasteira, substituída por construções residenciais demarcadas pelo ponto P2 correspondente ao ano de 2011 destacados na Figura 7 (C), como decorrência da modificação onde a vegetação é substituída por alfalto ou áreas construídas altera-se o fluxo de energia e de umidade no nível local,

elevando as temperaturas. Scussel e Sattler (2010) procuraram avaliar o impacto da verticalização e do adensamento na qualidade do espaço residencial de Porto Alegre. Afirmam que o processo de substituição de edificações por outras de maior porte e altura imprime nova volumetria à conformação da área urbanizada. Segundo os autores, os aumentos da taxa de ocupação dos terrenos, do índice de aproveitamento e das alturas máximas permitidas, além de incrementarem o trânsito, estabelecem novas relações de luz e sombra, reordenando as áreas livres e modificando a paisagem, o que leva ao desconforto dos moradores.

Figura 7. Ponto P2 em destaque (A) e ocupação do solo nos anos de 2005(B) e 2011(C).

O albedo de superfície na área de estudo, mostrado na Figura 8, manteve valores entre 0,21 e 0,32, apresentando valores máximos entre 0,33 e 0,36 (tonalidade de vermelho e preto) em pontos isolados, sendo valores relacionados às características de impermeabilização e ocupação do solo. Maiores valores do albedo de superfície, representados por valores superiores a 0,37 (tonalidade de preto), foram identificados em todos

os anos. Entretanto, as imagens referentes aos anos de 1995 por influência da nebulosidade presente no dia e 2001 apresentam mais áreas com a porcentagem de 0,37 devido a pouca vegetação. Valores de albedo para água variaram entre 1,7 a 10,4% nas imagens estudadas; comportamento semelhante também foi obtido por Silva *et al.* (2005a) com valores entre 7 a 9%; ainda outros autores, como Bastiaanssen *et al.* (1998) e

Bastiaanssen (2000) encontraram valores entre 3 a 10% para albedo de superfície em superfícies com água na Bacia de Gediz, na Turquia; já Giongo *et*

al. (2007) obtiveram valores entre 7 e 12% para albedo em superfície de água, na região de Ibimirim, Estado de Pernambuco.

Figura 8. Albedo de superfície nos anos de 1995, 2001, 2005 e 2011, respectivamente.

A imagem referente ao ano de 1995 mostrou predominância dos valores no intervalo entre 0,21 e 0,32 de tonalidades entre laranja e vermelho devido à influência dos topos das nuvens que possuem grande capacidade de reflexão. A capacidade de reflexão dos topos de nuvens depende de sua espessura, variando de 40% para nuvens finas a 80% para nuvens espessas. Comparando com os demais anos 1995 apresentaram os maiores valores de albedo. Os menores valores (intervalos menores que 0,12) do albedo de superfície foram encontrados nas áreas de corpos d'água e densas vegetações com tonalidades azul e azul-claro, respectivamente. Boegh *et al.* (2002) em estudo na Dinamarca com imagens Landsat 5 TM, em áreas de solo descoberto, obteve valores de albedo igual a 0,35. Silva *et al.* (2005), em estudo com o mesmo sensor e satélite obteve albedo de 0,31 e 0,33, para os anos de 2000 e 2001, respectivamente, para a região de caatinga próxima ao Lago de Sobradinho (BA),

mostrando que as áreas onde ocorre ausência de vegetação apresentam valores altos.

Ressaltando, que a temperatura do ar está diretamente relacionada às condições de incidência e absorção da radiação solar sobre a superfície, ou seja, intrinsecamente ligada à tipologia da área onde são feitas as medições. Portanto, um mesmo valor de radiação incidente pode resultar em diferentes temperaturas em função do tipo de solo, da existência de vegetação, da topografia ou da altitude no local analisado, sendo, portanto representativa de um contexto urbano específico.

Quando observada a Figura 9 relacionada ao índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN), a qual mostra a condição da vegetação em cada ano em estudo, a área correspondida à cidade de Petrolina-PE apresentou valores entre 0,0 a 0,30 (tonalidade entre vermelho e amarelo). Os valores nos intervalos de 0,0 a 0,10 (tonalidade vermelha) se destacaram nos anos de 2005 e 2011, devido a possível expansão da cidade e mudanças nas

características do solo como a substituição da vegetação por áreas impermeabilizadas. Os menores valores (negativos) estão destacados em tonalidade de azul. Áreas em coloração vermelha

destacando as áreas mais castigadas ou solo totalmente nu, entre os anos de estudo a imagem referente ao ano de 2005 tem a característica mais evidente da cor vermelha (em maior destaque).

Figura 9. Índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) nos anos de 1995, 2001, 2005 e 2011, respectivamente.

No ano de 2001 as condições eram melhores quando comparadas com os demais anos, mostrando uma maior predominância de valores médios entre 0,31 e 0,50. Os maiores valores para todas as imagens foram destacados na parte superior esquerda e inferior direita, o que seriam áreas de agricultura em tonalidades de verde claro a verde escuro com valores entre 0,51 e maiores que 0,51 tonalidades de preto, vegetações são observadas no centro da cidade, área onde a vegetação foi preservada. De acordo com Huete e Tucker (1991), os valores de NDVI para solo exposto estão geralmente 0,05 e 0,30, porém, devido às propriedades óticas do solo não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação.

Desse modo, para acompanhar o crescimento populacional que o município apresentou nos últimos anos, a expansão da cidade,

muitas áreas tiveram sua vegetação natural retirada e substituída por materiais relacionados às construções, tais como concreto e asfalto, possibilitando aumentar a capacidade de armazenamento de calor, e consequentemente alterando o fluxo de energia e umidade no nível local. Tais mudanças acarretam alterações da temperatura na região local, como verificado nos mapas temáticos da temperatura de superfície, que apresentaram valores predominantes entre 28-33 °C; e também nos mapas de albedo de superfície, com valores máximos entre 0,33-0,36 demonstrando ausência de vegetação na área urbana da cidade de Petrolina.

Portanto, nessas condições de altas temperaturas, os indivíduos da região são submetidos a estresse térmico por aquecimento, o que significa que o metabolismo celular do organismo aumenta, assim como a produção de

calor; de modo que o organismo começa a apresentar sintomas como intensa sudorese e alteração na respiração e frequência cardíaca, podendo apresentar possível de síncope de calor (desmaio), ou mesmo levar à morte súbita.

Conclusões

A variação da temperatura média do ar apresentou valores muito elevados (cerca de 38 °C), acarretando em estresse térmico por aquecimento. Pelas flutuações, em todo período de estudo a população foi submetida aos alertas de atenção e muito cuidado, de modo que o organismo pôde apresentar sintomas como intensa sudorese e alteração na respiração e frequência cardíaca, podendo apresentar possível de síncope de calor, fadiga, esgotamento e insolação nos casos de exposição prolongada e atividade física.

A variação dos valores da temperatura média do ar mapeadas pelo software *SURFER*, mostrou concordância com os valores máximos da temperatura da superfície apresentados através dos mapas temáticos do software *ERDAS*.

Maiores albedos de superfície foram encontrados nas áreas onde houve ausência de vegetação ou área construída, devido a grande capacidade de reflectividade do solo ou materiais das áreas construídas.

O índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) relacionado à temperatura de superfície mostrou que as áreas com ausência de vegetação ou áreas construídas apresentaram as maiores temperaturas, estando os menores valores de temperatura nas áreas com vegetação densa. O mapa temático de temperatura de superfície ano de 1995 sofreu influência de nebulosidade assim, valores baixos foram observados.

Por fim, analisando um ponto de maior temperatura na carta temática de temperatura de superfície e comparando com imagem de satélite, observou-se que a área tinha como características ausência de vegetação e área construída. Quando feito uma comparação de escala temporal entre dois mapas temáticos (2005 e 2011), observou-se que a substituição da vegetação por área construída (residenciais) alterou as temperaturas locais, acarretando em valores altos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento à pesquisa e concessão de bolsas de estudo.

Referências

- Alcoforado, M.J.; Andrade, H 2006 - "Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts". *Theoretical and Applied Climatology*, 84:151-159.
- Allen, R.G. 2002. *SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0*, 97p.
- Amorim, M. C. C. T. 1993. *Análise Ambiental e Qualidade de Vida na Cidade de Presidente Prudente/SP*. Presidente Prudente: UNESP, (Dissertação de Mestrado).
- Bastiaanssen, W. G. M. 2000. Sebal based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229, 87-100.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212-213, 198-212.
- Bezerra, P. T. C. A influência da urbanização no clima das cidades de Petrolina/PE e Juazeiro/BA. *Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)*. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais 106p.
- Boegh, E.; Soegaard, H.; Thomsem, A. 2002. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment* 79, 329-343.
- Costa, J. M. S. 2005. *Qualidade do Ar Interior e Conforto Térmico: Um estudo em espaços de estacionamento em Natal/RN com tipologias arquitetônicas diferenciadas*. Natal – RN, (Dissertação de Mestrado).
- Delgado, R. C.; Rodrigues, R. de Á.; Faria, A. L. L.; Pessôa, C. S. 2012. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 25, 69-80.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1333

- Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning.
- Farias, H.S.; Brandão, A.M.P.M. 2006. O Campo Térmico como Indicador de Qualidade Ambiental para Políticas Públicas: Estudo de Caso no Bairro Maracanã/RJ. In: Encontro da ANPPAS, Brasília.
- Frota, A. B.; Schiffer, S. R. 2000. Manual de conforto térmico: Arquitetura Urbanismo. 5 Ed. São Paulo: Studio Nobel.
- Garcia, M. C. M. 1999. Climatologia urbana. Barcelona: Universitat de Barcelona, 71p. (Textos docentes, 160).
- Giongo, P. R.; Moura, G. B. A.; Silva, B. B.; Melo, J. S. P.; Medeiros, S. R. R. 2007. Albedo de superfície estimado por técnicas de sensoriamento remoto. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 7, 2007, Recife, Anais... Recife: UFRPE, CD Rom.
- Huete, A.R.; Tucker, C.J. 1991. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. International Journal of Remote Sensing 12, 1223-1242.
- INSA - Instituto Nacional do Semiárido. (2011). Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Editores: Ricardo da Cunha Correia Lima, Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante, Aldrin Martin Perez-Marin. Campina Grande: INSA-PB, 209p.
- Iqbal M. 1983. An introduction to solar radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data. Academic Press Canadian., 390p.
- Lisboa, H. M. 2007. Controle da Poluição Atmosférica – Capítulo VI – Ventilação Industrial. Primeira Versão. Montreal.
- Lombardo, M. A. 1985. Ilha de Calor nas Metrópoles – O Exemplo de São Paulo. Hucitec, São Paulo, p. 244.
- Magalhães, S. 2002. Termorregulação. Texto de Apoio. Faculdade de Medicina da Universidade do Porto. Serviço de Fisiologia. Porto.
- Markham, B. L. and Barker, L. L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, Int. Journal of Remote Sensing 8, 517-523.
- Scussel, M. C. B.; Sattler, M. A. 2010. Cidades em (Trans)Formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial. Ambiente Construído 10, 137-150.
- Silva, A. P. L. M. 1998. Mudanças climáticas urbanas. 1998. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Ciências Atmosféricas, Campina Grande.
- Silva, A.M., Costa, D.L.C.R., Lins, C.J.C., 2008. Precipitações no Nordeste Brasileiro: tendências de variação e possíveis implicações na agricultura. Anais...Semana do Meio Ambiente, Recife 5.
- Silva, B. B., Lopes, G. M., Azevedo, P. V. 2005. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia 13, 201-211.
- Soriano, B.M.A., 1997. Caracterização climática de Corumbá-MS. Boletim de Pesquisa, 11. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, pp. 25.
- Varejão, M. A. 2012. Meteorologia e climatologia. Versão digital 2. Recife, Brasil. Disponível em: http://www.ikat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIAVD2_Mar_2006.pdf. Acessado em: 12/08/2012.