



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Uso e Cobertura do Solo e Seus Efeitos na Distribuição da Temperatura de Superfície em Área Urbana

Tiago Henrique de Oliveira<sup>1</sup>, Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>2</sup>, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel<sup>3</sup>, Bernardo Barbosa da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gestor de Análise e Geoprocessamento do Instituto da Cidade Engenheiro Pelópidas Silveira (Prefeitura da Cidade do Recife) e pesquisador do Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO-UFPE). Rua do Bom Jesus, 227, Bairro do Recife, Recife-PE, Brasil. CEP: 50030-170.

<sup>2</sup> Prof. Dr. Dep. de Ciências Geográficas-UFPE. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil. CEP: 50670-901. E-mail: [josicleda@hotmail.com](mailto:josicleda@hotmail.com), [bbdasilva.ufpe@gmail.com](mailto:bbdasilva.ufpe@gmail.com)

<sup>3</sup> Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dep. de Biologia/Botânica-UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil. 52171-900. E-mail: [pimentel@db.ufrpe.br](mailto:pimentel@db.ufrpe.br).

Artigo recebido em 07/11/2013 e aceito em 19/12/2013

### RESUMO

As rápidas mudanças espaço temporal do uso e cobertura do solo em ambiente urbano apresentam grande impacto nas relações entre os ciclos energéticos e hidrológicos sobre a superfície. Para Lombardo o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e a sua urbanização é o resultado de ações antrópicas conjugadas com os aspectos geoambientais do sítio urbano. As áreas vegetadas se apresentam como importantes agentes de amenização da temperatura em ambiente urbano promovendo a redução do consumo de energia e o aumento da qualidade do ar. Deste modo o objetivo deste artigo é visualizar a disposição da temperatura da superfície para os diferentes alvos presentes no município de Recife através de imagens TM Landsat 5 e aplicar o TsHARP para identificar a influência dos diferentes materiais construtivos nos valores de temperatura da superfície. Para tal foram utilizadas oito imagens TM do satélite Landsat 5 de órbita e pontos 214/65 e 66. Todas as imagens foram pré-processadas e ortoretificadas. Para a obtenção da temperatura da superfície foi utilizada a metodologia desenvolvida por Allen e Bastiaanssen e para a reamostragem da resolução espacial da banda do termal para 30m foi utilizada a técnica TsHARP proposta por Agam. Foi observada que as áreas vegetadas conseguiram manter temperaturas mais amenas em períodos chuvosos ou secos. Em alguns casos as grandes áreas vegetadas apresentavam diferença de oito graus com relação a áreas impermeabilizadas ou construídas. Os grandes empreendimentos e estacionamentos que apresentavam boa arborização demonstraram temperaturas mais baixas do que os que não possuíam.

**Palavras-chave:** Landsat, TsHARP, Ilhas de Aménidade, Distribuição da vegetação.

## Use and Soil Cover and its Effects on Distribution of the Surface Temperature on Urban Area

### ABSTRACT

Rapid changes timeline use and land cover in urban environment have great impact on relations between the energy and hydrological cycles on the surface. Lombardo for the urban climate is a system that covers the climate of a given land space and its urbanization is the result of human actions, combined with the geo-environmental aspects of the urban site. The vegetated areas present them selves as important agents softening temperature in the urban environment by promoting the reduction of energy consumption and increase air quality. Thus the aim of this article is to visualize the layout of the surface temperature for different targets present in the city of Recife by Landsat 5TM images and apply TsHARP to identify the influence of different building materials in the values of surface temperature. To this we used eight images of Landsat 5 TM orbital points and 214/65 and 66. All images were pre-processed and orthorectified. To obtain the surface temperature was used the methodology developed by Allen and Bastiaanssen an dresampling of the spatial resolution of the thermal band to 30m technique was used TsHARP proposed by Agam. It was observed that the vegetated areas were able to maintain lower temperatures in dry or rainy periods. In some cases vegetated areas had large difference with respect to eight degrees or constructed impermeable areas. Major projects and parking lots that had demonstrated good afforestation lower temperatures than who did not.

**Keywords:** Landsat, TsHARP, islands amenity, distribution of vegetation.

\*E-mail para correspondência: [thdoliveira50@gmail.com](mailto:thdoliveira50@gmail.com)

## Introdução

As rápidas mudanças espaço-temporais do uso e cobertura do solo em ambiente urbano apresentam grandes impactos nas relações entre os ciclos energéticos e hidrológicos sobre a superfície. Neste sentido, o conhecimento dos componentes do balanço de radiação e de energia para os diferentes tipos de uso e cobertura do solo, assim como a influência da alteração de uso ou cobertura em um ambiente urbano, é de extrema importância para a identificação de mudanças, especialmente em condições de microclima.

O elemento gerador de grandes alterações em áreas urbanas, com graves consequências para a elevação da temperatura de superfície, é a ação antrópica sem considerar os fatores preponderantes que causam este efeito. Lombardo (1985) afirma que o clima urbano [...] *“é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e a sua urbanização é o resultado de ações antrópicas conjugadas com os aspectos geoambientais do sítio urbano”*.

A ocorrência de grandes mudanças espaciais nas áreas urbanas, como a diminuição da cobertura vegetal e a impermeabilização de grandes superfícies em decorrência de pavimentação e/ou construções, promovem um impacto significativo na elevação da temperatura. A velocidade na execução destas ações gera efeitos progressivos na conversão e armazenamento do calor resultante da energia incidente sobre estas superfícies, causando diferentes graus de desconforto térmico e provocam problemas de saúde na população que convive com esta situação por períodos de tempo prolongado (Moreira & Nóbrega, 2011).

Áreas urbanas que apresentam graus elevados de temperatura são conhecidas como ilhas de calor e são caracterizadas pela absorção e retenção do calor do sol pelas propriedades dos materiais utilizados na construção civil. Fatores como o calor antropogênico, a diminuição da distribuição e velocidade do vento e a poluição do ar são gerados, na maioria dos casos, pelo grande número de automóveis, contribui

efetivamente para a formação das ilhas de calor.

Dentre os principais impactos causados pelo fenômeno de Ilhas de calor, além do desconforto térmico, está o aumento da temperatura do ar, o aumento no número de casos relacionados aos variados problemas de saúde e a diminuição da eficiência energética de diversos empreendimentos. A geometria urbana também contribui para a intensificação do fenômeno. Para Gartland (2010), a distribuição dos edifícios reduz a velocidade do vento, ocasionando o atraso na transferência do calor da superfície para o ar.

Diversos tipos de análises podem ser utilizados para realizar a medição e simulação das ilhas de calor urbana, como a utilização de estações fixas, transectos, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto (sensoriamento vertical) e medição ou estimativa do balanço de energia. Freitas (2005) utilizou-se da observação dos dados disponíveis na Plataforma de Coleta de Dados (PCD) Recife e da coleta de informações de temperatura em 20 pontos distribuídos pelo município. Oliveira et al. (2010) e Moreira & Nóbrega (2011), no município do Recife, identificaram a ocorrência de ilhas de calor através da utilização de técnicas de sensoriamento remoto.

Estudos, como o realizado por Chen et al. (2006), verificaram a influência da mudança de uso e cobertura da terra na distribuição da temperatura da superfície. Mesmos autores afirmam, ainda, que o dramático aumento da urbanização intensificou o surgimento das ilhas de calor urbanas em diversas áreas. As áreas de solo exposto e a área urbana, inicialmente melhor distribuídas espacialmente em função da pequena quantidade de edificações, com o passar dos anos, se mostraram mais homogêneas, promovendo um padrão contínuo de ilhas de calor.

As áreas vegetadas se mostram como importantes agentes de amenização da temperatura em ambiente urbano, promovendo a redução do consumo de energia e o aumento da qualidade do ar. Estudo publicado por Mock (2005) afirma que, para se alcançar a sustentabilidade dos

ecossistemas urbanos, em elevado ritmo de expansão oferecendo o máximo de benefícios aos seus habitantes, é necessária uma gestão integral da vegetação urbana e o apoio da comunidade local na preservação destas áreas.

Atualmente, diversos sensores têm disponibilizado, para diferentes escalas espaciais, espectrais e temporais, o dado de temperaturas do ar e da superfície, em nível global ou local. Sistemas imageadores a bordo dos satélites MODIS, NOAA, GOES, ASTER e o sistema LANDSAT são os mais utilizados. Através da utilização da banda do termal do sensor TM, disponível no satélite Landsat5, é possível realizar a estimativa da temperatura da superfície através da utilização de metodologias propostas por diversos autores (Tsay & Liu, 2000; Allen et al., 2002; Chen et al., 2002 - 2006), com resolução espacial de 120 m.

Imhoff et al. (2010) afirmam que, para a realização de estudos em áreas urbanas envolvendo a caracterização de ilhas de calor, é necessária a utilização de um sensor termal com uma boa resolução espacial. Tendo em vista a quantidade limitada de satélites que dispõem de sensor termal e a grande disponibilidade de imagens com baixa resolução espacial, estudos realizado por Kustas et al. (2003) e Agam et al. (2007) mostram eficácia no desenvolvimento de técnica de refinamento da resolução espacial.

A técnica nomeada TsHARP (AGAM et al., 2007) parte da premissa da existência de uma relação estreita entre os índices de vegetação e a temperatura da superfície (WHITE et al.,1997; BADECK et al., 2004) em uma cena de determinado sensor. Para as imagens do sensor TM, Agam et al. (2007) encontraram um erro que variou entre 1,8 e 2,4°C na temperatura da superfície, quando comparado ao observado em campo. Porém, foi possível observar a melhoria na caracterização da temperatura da superfície de diversos alvos e fenômenos que ocorrem à superfície.

Deste modo, o objetivo deste estudo é visualizar a disposição da temperatura da superfície para diferentes alvos em uma área urbana, usando técnicas de sensoriamento remoto para identificar a influência dos diferentes materiais de construção nas variações de temperatura de superfície.

## **Material e Métodos**

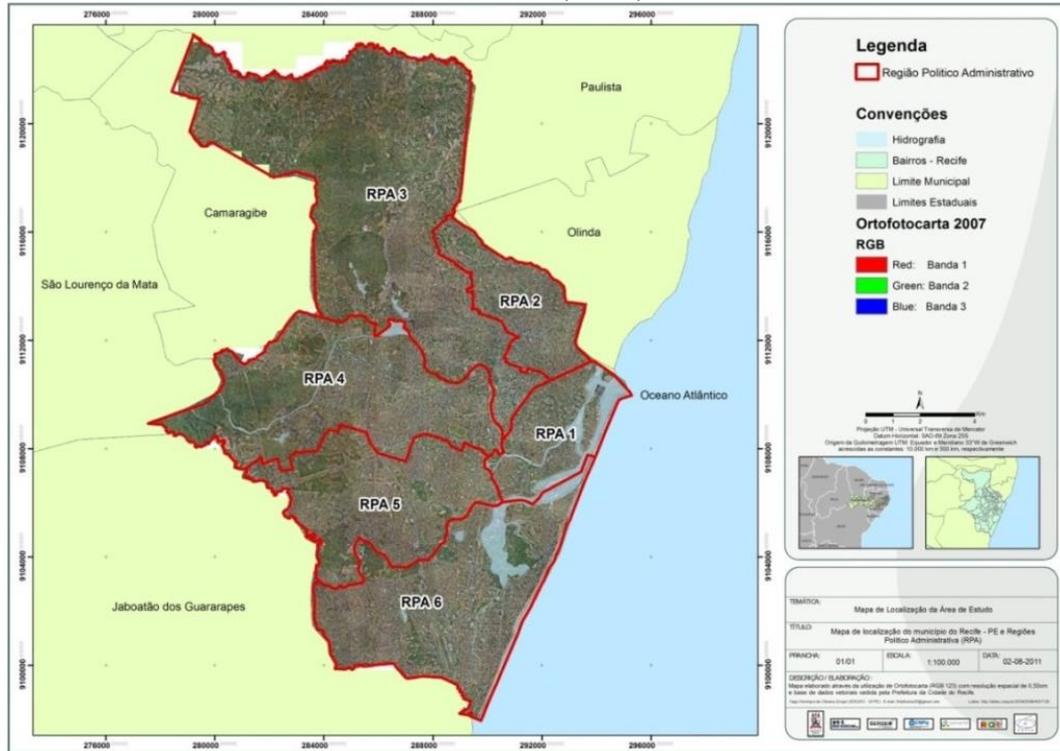
### *Caracterização da área de estudo*

A área selecionada para o estudo foi o município do Recife (Figura 1), capital do Estado de Pernambuco, situada no litoral nordestino, ocupando uma posição central, a 800 km de duas metrópoles regionais, Salvador e Fortaleza, e disputando com elas o espaço estratégico de influência na região. Apresenta uma superfície territorial de 218,50 km<sup>2</sup>, limitando-se, ao norte, com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, à oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe e à leste com o Oceano Atlântico.

Segundo os dados do recenseamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Censo 2010, a cidade do Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes, correspondendo a 17,48% da população do Estado e a 41,63% da Região Metropolitana do Recife (RMR), correspondendo a uma densidade demográfica de 6.989 habitantes/km<sup>2</sup>. Atualmente, o espaço urbano do município encontra-se dividido em 94 bairros, 18 microrregiões e seis Regiões Político-Administrativas (RPA).

Considerando o clima, o município do Recife está situado na faixa intertropical, coma área urbana localizada, aproximadamente, a 8° ao sul do equador. Correa (2006) afirma que a RMR “*encontra-se localizada na faixa de maior insolação da Terra, recebendo os raios solares quase perpendiculares à superfície e, pela baixa latitude, com horas de insolação praticamente constantes entre os meses de verão (de maior insolação) e inverno (de menor insolação)*”.

**Figura 1.** Mapa das Regiões Político-Administrativas (RPA) do município de Recife, capital do estado de Pernambuco. Fonte: Oliveira, T.H. (2012).



O município do Recife apresenta 67,43% de sua área caracterizada como áreas de morros; 23,26% de planícies; 9,31% de áreas alagadas; e 5,58% de Zonas Especiais de Preservação Ambiental – ZEPA. Mais de 50% do município apresenta altitudes inferiores a 10 m. As áreas mais ao norte, oeste e sudoeste do município apresentam valores de altitude superiores a 20 m; em algumas localidades ocorrem altitudes maiores que 100 m. Estas áreas, segundo Correa (2006), são chamadas de “*Unidade de Colinas dissecadas ou morros, identificadas a partir da morfologia pluri-convexa e alta dissecação fluvial*”; e são, geralmente, associadas à Formação Barreiras. Segundo Costa Filho (1997), a vegetação original desta área é de Mata Atlântica, caracterizada por uma mata densa, com manguezais ocupando áreas mais baixas, sob o alagamento por águas das marés.

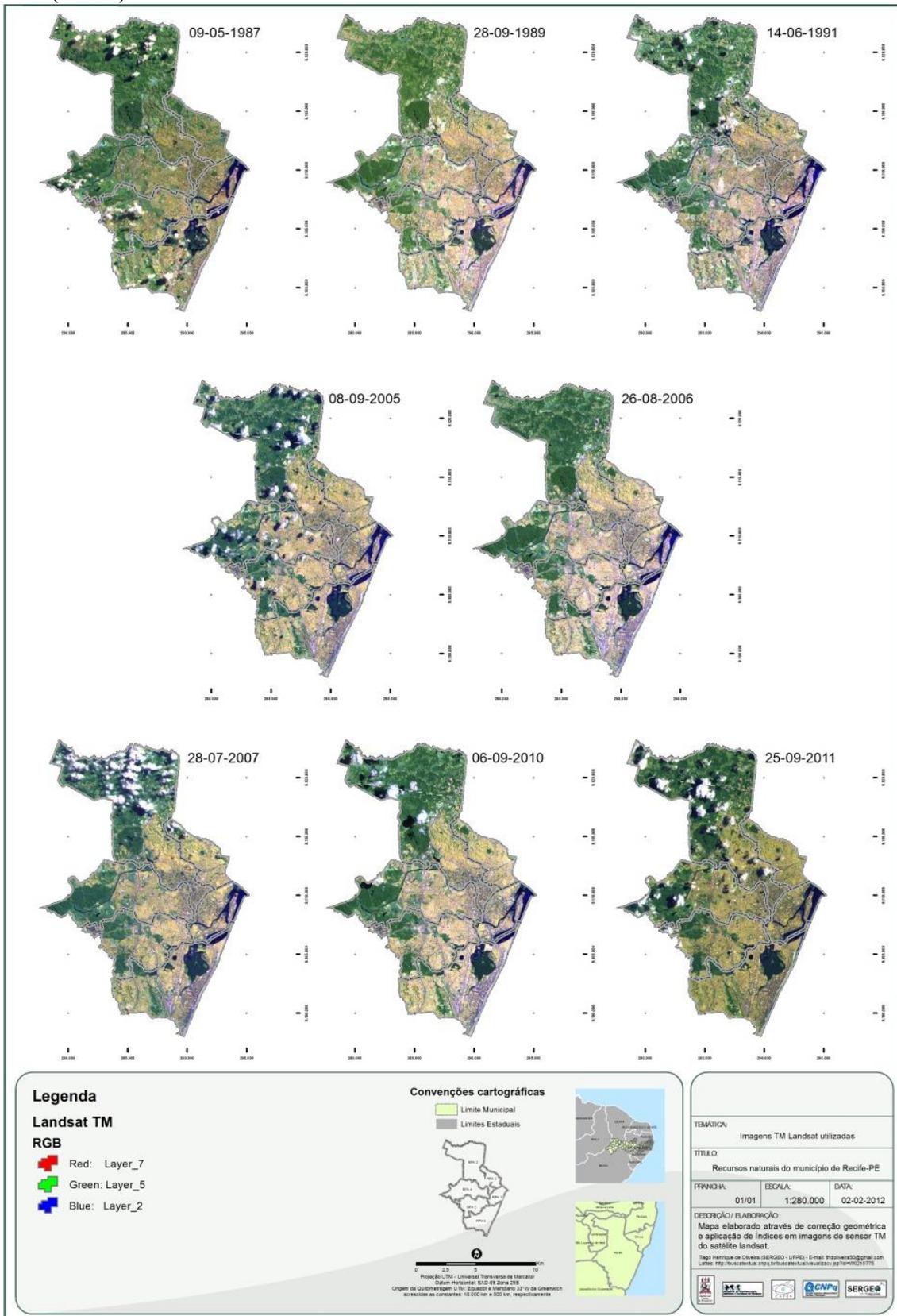
#### Dados radiométricos

Foram utilizadas oito imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de órbita e pontos 214/65-66, a bordo do satélite

Landsat 5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As datas de passagem do satélite na área de estudo foram: 9 de maio de 1987, 28 de setembro de 1989, 14 de junho de 1991, 8 de setembro de 2005, 26 de agosto de 2006, 28 de julho de 2007, 6 de setembro de 2010 e 25 de setembro de 2011 (Figura 2).

O sensor TM foi lançado à bordo dos satélites Landsat 4 e Landsat 5 e permite o mapeamento temático na área de recursos naturais. Este sensor continuou em atividade no satélite Landsat 5, operando com 7 bandas espectrais que englobam as regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal, finalizando suas operações no início de 2012, devido a falhas no sistema. Os dados do sensor TM foram utilizados em pesquisas e definições de metodologias aplicadas em amplas áreas do conhecimento científico, com importância singular para a evolução das técnicas desenvolvidas e utilizadas no sensoriamento remoto mundial (EMBRAPA, 2009).

**Figura 2.** Imagens do sensor Thematic Mapper (TM), de órbita e pontos 214/65-66 do satélite Landsat 5 da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).



Fonte: Oliveira, T.H (2012).

*Etapas de pré-processamento das imagens do satélite Landsat*

*Após o download das imagens da área selecionada, todas as bandas de cada cena*

Landsat foram empilhadas e corrigidas geometricamente, tomando por base a imagem ortoretificada e disponibilizada no site <landsat.org>. Posteriormente foi realizada a exclusão dos números digitais referentes às nuvens e sombras de nuvens através da realização de uma classificação supervisionada, tendo em vista que a região em estudo apresenta uma alta incidência de nuvens, o que inviabilizou a utilização de dezenas de imagens nos últimos 25 anos.

Ao final deste processamento, a imagem foi recortada no limite da área de estudo, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local. Tendo em vista que a área de estudo está presente em pontos diferentes (pontos 65 e 66) da órbita 214 do satélite Landsat, todo o pré-processamento e computo dos índices foram realizados com as imagens isoladas. Cada índice gerado ao final do processo foi mosaicado.

#### *Etapas de obtenção das imagens de temperatura da superfície*

Para o processamento das imagens Landsat foram desenvolvidos modelos usando a ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.3 (Licença em nome do Laboratório de Geoprocessamento do DCG-UFPE e do Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO). A metodologia utilizada foi a proposta por Bastiaanssen et al. (1998a,b) e amplamente utilizada em diversas pesquisas (Giongo, 2008; Oliveira, 2012; Silva et al., 2010 e 2012).

#### *Técnica TsHARP*

Tendo em vista que a banda do infravermelho termal do sensor TM (banda 6) apresenta 120 m de resolução espacial, Kustas et al. (2003) desenvolveram uma técnica de melhoramento de resolução espacial admitindo uma relação linear entre as cartas de temperatura da superfície e IVDN. Agam et al. (2007) adaptaram a técnica original e a nomearam Algoritmo TsHARP.

Esta técnica parte da premissa da existência de uma relação estreita entre os índices de vegetação e a temperatura da

superfície (White et al., 1997; Badeck et al., 2004) em uma cena de determinado sensor. A seguir são descritas as etapas que compõem a técnica de reamostragem.

1. Primeiramente, é necessário reamostrar a resolução espacial do índice de vegetação utilizado para a menor resolução espacial das imagens a serem utilizadas no processo. No caso do sensor TM, a carta de IVDN, com resolução espacial de 30 m é reamostrada para a resolução espacial da carta de temperatura da superfície com 120 m.

Em seguida é realizada a regressão entre a carta de temperatura da superfície e o IVDN (ambos com 120 m de resolução espacial, Eq. 01).

$$\check{T}_s(\text{IVDN}\downarrow) = f(\text{IVDN}\downarrow) \quad (01)$$

onde: T é a carta de temperatura obtida através da regressão.

2. É necessária a obtenção de outra carta de temperatura utilizando o IVDN com a resolução espacial natural (30 m). Após esta etapa é necessário gerar a carta erro (Eq. 02), sendo resultante da variabilidade de fatores não dependentes da cobertura vegetal, como a umidade.

$$\text{ERRO } \check{T}_s\downarrow = T_s\downarrow - \check{T}_s(\text{IVDN}\downarrow) \quad (02)$$

3. A carta erro é adicionada à carta de temperatura da superfície, obtida através da utilização do IVDN de resolução natural. Os sub-pixels reamostrados da temperatura da superfície, em cada pixel de resolução espacial mais grosseira, são obtidos através da equação 03.

$$\check{T}_s\uparrow = \text{ERRO } \check{T}_s\downarrow - \check{T}_s(\text{IVDN}\uparrow) \quad (03)$$

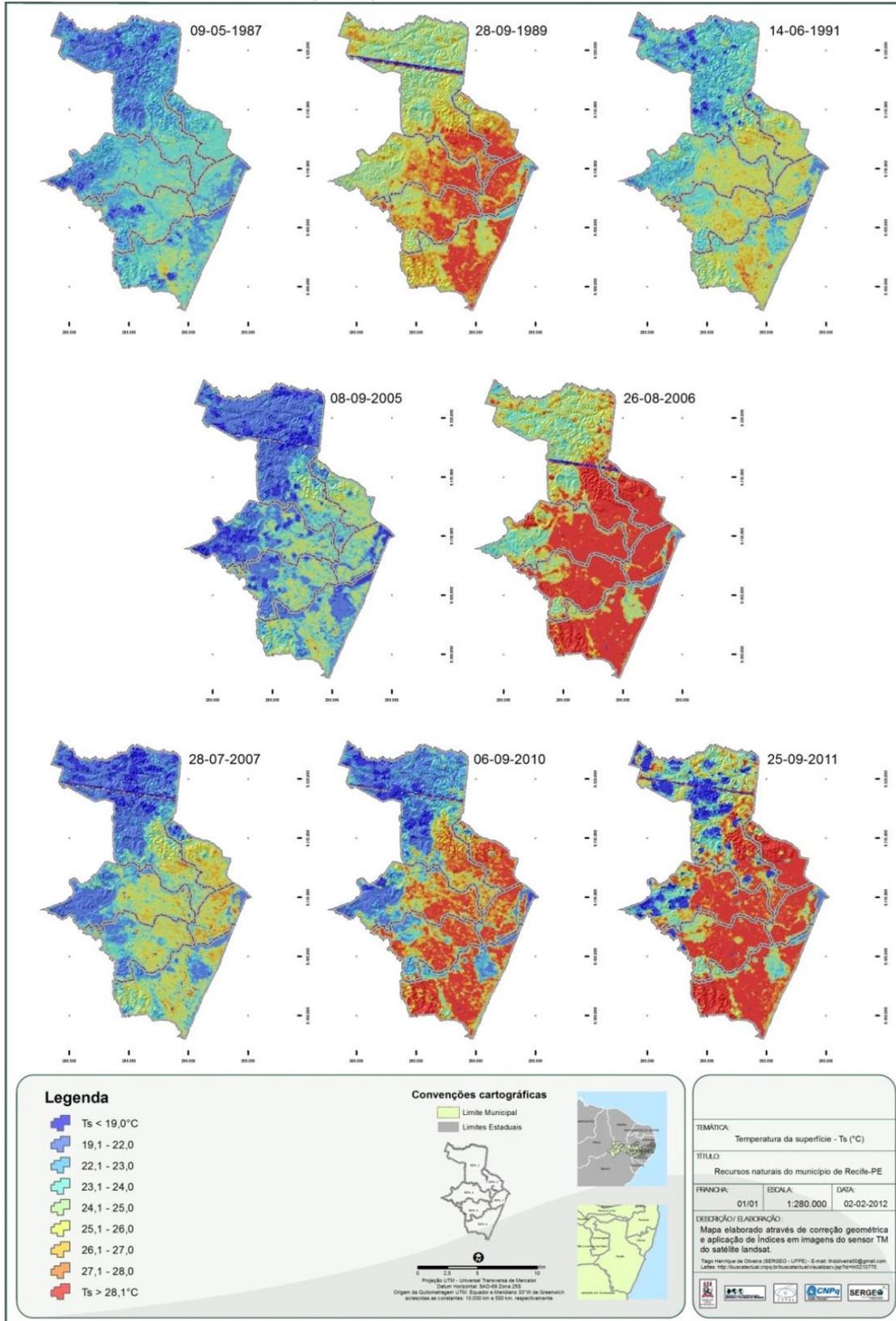
Para este estudo, apenas as imagens de julho de 2007 e setembro de 2010 apresentaram bons resultados com a aplicação da metodologia. Deste modo nas imagens de Temperatura da superfície TsHARP foi aplicada transparência de 50% e sobreposta a Ortofotocarta Recife 2007 visando a identificação do uso e cobertura do solo urbano. Maiores informações sobre a metodologia do TsHARP podem ser obtidas no estudo realizado por Agam et al. (2007) em imagens MODIS e Landsat.

**Resultados e discussão**

As áreas vegetadas, assim como os corpos hídricos, desempenham um importante papel na amenização das temperaturas em um

ambiente urbanizado ou adensado em períodos de maiores temperaturas no ano, correspondentes aos meses de setembro a fevereiro em Recife (Figura 3).

**Figura 3.** Evolução espaço-temporal da temperatura de superfície do município de Recife-PE entre 1987 e 2011. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



Um cinturão com temperaturas mais amenas na área mais ao norte e oeste do município, onde, em períodos mais úmidos, são observados valores de temperaturas inferiores a 23°C, enquanto em períodos mais secos existe uma variação de temperatura entre 23 e 26°C. Estas regiões apresentam, como fator amenizante, as áreas de mata dos bairros da Guabiraba, Várzea e Curado.

As áreas vegetadas refrescam as áreas circunvizinhas pela evapotranspiração, promovendo a conversão da energia solar em água evaporada e mantendo a temperatura da vegetação e do ar mais baixas, assim como através do sombreamento de áreas (no caso da vegetação de porte arbóreo), proporcionando uma área de superfície mais fresca (Gartland, 2010. p.64-65).

As margens de rios, como o Capibaribe e o Tejipió, também apresentam grande amenização nos valores de temperatura da superfície em virtude da quantidade de água liberada pela evaporação da mata ciliar existente em grandes extensões destes rios. As áreas de solo exposto e aquelas com elevada densidade de construções ou impermeabilizadas, antes distribuídas irregularmente, com o passar dos anos se tornaram mais homogêneas, o que veio a formando um padrão contínuo de temperaturas mais elevadas.

A RPA-1 apresenta valor de temperatura da superfície superior a 25°C em grande parte da sua extensão, em quase todos os anos investigados. No caso da RPA-2, é possível observar a grande influência da mudança do uso e cobertura do solo na distribuição da temperatura da superfície. A área mais a noroeste desta RPA mostra a manutenção de temperaturas mais amenas ( $T_s < 25^\circ\text{C}$ ) na maior parte das imagens utilizadas, devido, principalmente, à quantidade de vegetação existente atualmente na área.

Estudo realizado por Souza & Azevedo (2012), utilizando dados meteorológicos da estação climatológica do Recife (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET) e aplicando de índices climáticos, constatou a ocorrência de "...mudanças locais relacionadas à precipitação pluviométrica e às temperaturas máximas e mínimas durante o

período compreendido entre 1961 e 2008." (p. 14). Estes autores constataram a ocorrência de um aumento de 1°C nas temperaturas máximas e mínimas nos 47 anos analisados para os modelos utilizados, o que provocou o aumento de ondas de calor, agravando ainda mais a formação de ilhas de calor existentes na cidade.

Para períodos mais secos (imagens de 1989, 2006, 2010 e 2011) ou mais úmidos (imagens de 1987, 1991, 2005 e 2007) foi observada a recorrência de locais que apresentavam temperaturas mais elevadas em relação ao entorno, o que pode vir a ser caracterizado como ilhas de calor. Estas áreas são diferenciadas por apresentarem a predominância de grandes galpões e áreas com alta densidade de construções ou impermeabilizadas, o que causou uma maior absorção e retenção de calor, quando comparadas com ambientes naturais.

Através da utilização da metodologia TsHARP, proposta por Agam et al. (2007), é possível visualizar espacialmente a distribuição da temperatura da superfície (°C), assim como identificar a influência dos diferentes tipos de materiais utilizados na cobertura das edificações e avenidas na temperatura da superfície, como pode ser observado na Avenida Caxangá (Figura 4), parte do bairro de Boa Viagem e Pina (Figura 5) e parte dos bairros do Recife, Santo Amaro e Santo Antônio (Figura 6).

No caso da Avenida Caxangá (Figura 4), que em julho de 2007 apresentava temperaturas da superfície variando entre 25,1 e 26°C, em setembro de 2010, por ser um período mais seco do ano, apresentou temperaturas superiores a 28°C em toda a sua extensão, apesar da quantidade de vegetação de porte arbóreo, distribuída ao longo da avenida.

Deste modo, a Avenida Caxangá pode ser facilmente identificada na imagem, assim como o cruzamento com a rodovia federal BR-101. O número de automóveis nas grandes avenidas também pode influenciar no valor da temperatura da superfície, auxiliando no aumento destes valores.

Outro fator relevante é que o alto grau de impermeabilização das áreas localizadas no entorno da Avenida Caxangá e a grande

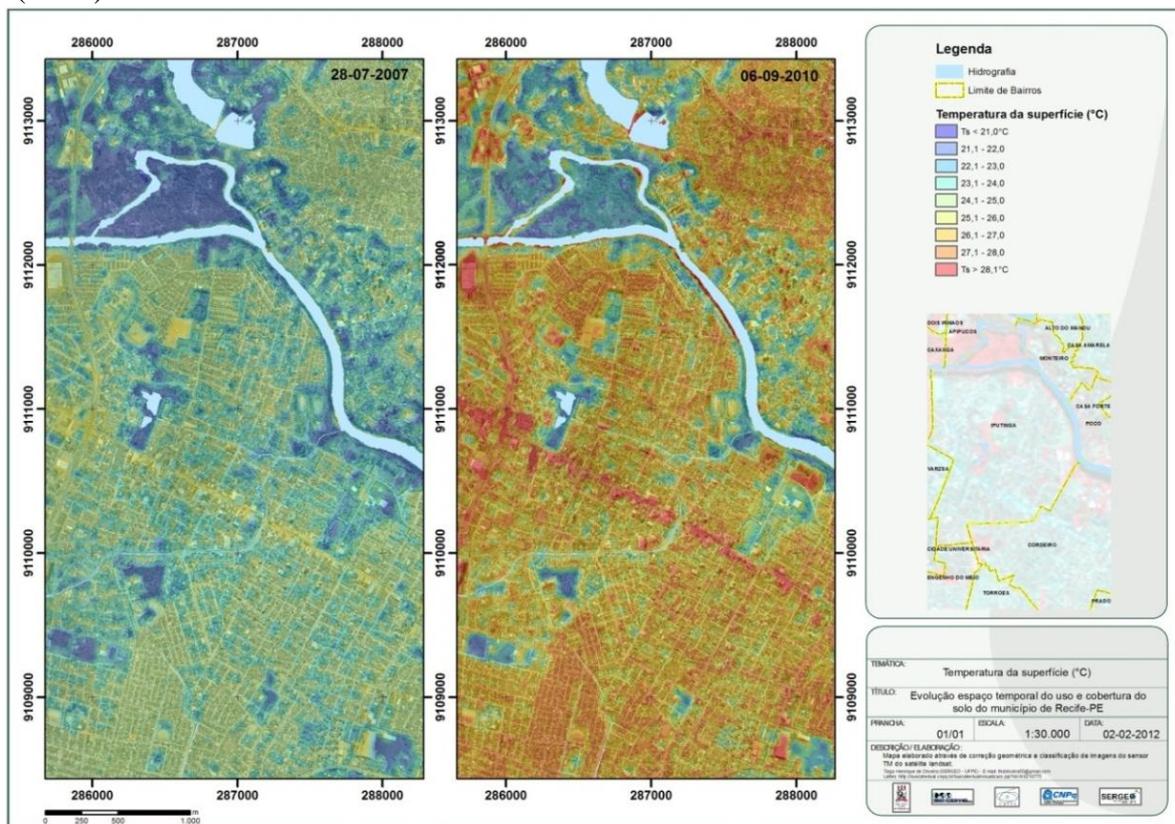
quantidade de lojas ou galpões com cobertura de alumínio influenciam no aumento da temperatura da área formando uma ilha de calor. Nota-se como a área vegetada distribuída por toda a extensão do Parque de Exposição do Cordeiro desempenha um importante papel de arrefecimento da temperatura da superfície em parte da Avenida Caxangá.

A temperatura da superfície desta avenida, na área mais próxima ao Parque de Exposições do Cordeiro foi 3°C menor do que

o valor observado ao longo de seu percurso. Deste modo, é possível classificar esta área como uma ilha de amenidade.

Apesar da diferença da temperatura da superfície (°C), tanto em período mais úmido (imagem de julho de 2007) como em período mais seco (imagem de setembro de 2010), as grandes áreas impermeabilizadas e/ou grandes empreendimentos como galpões e áreas residenciais com pouca vegetação, naturalmente apresentam temperaturas bem mais elevadas que nas áreas vegetadas.

**Figura 4.** Imagens mostrando a distribuição da temperatura da superfície (°C) em trecho da Avenida Caxangá (BR-101 até Rua Dr. João Lacerda) no município de Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



Dentre os impactos negativos causados pelas ilhas de calor para a saúde humana pode ser citado o desconforto térmico, causado, em muitos casos, pela ausência de áreas de sombra, e o aumento da poluição do ar devido à grande quantidade de automóveis em circulação, o que, segundo Gertland (2010, p. 179) gera grande impacto sobre a mortalidade e saúde da população em diversas partes do mundo.

No caso de bairros como Boa Viagem e Pina (Figura 5), a grande quantidade de impermeabilização nos lotes, associada ao

aumento na verticalização das edificações, dificulta a circulação dos ventos, diminuindo a troca de energia e a maior eficiência na dissipação do calor. Com isto, a energia solar é convertida e absorvida pelas áreas impermeabilizadas sob a forma de ondas de calor em grande parte do dia, sendo liberada lentamente à noite.

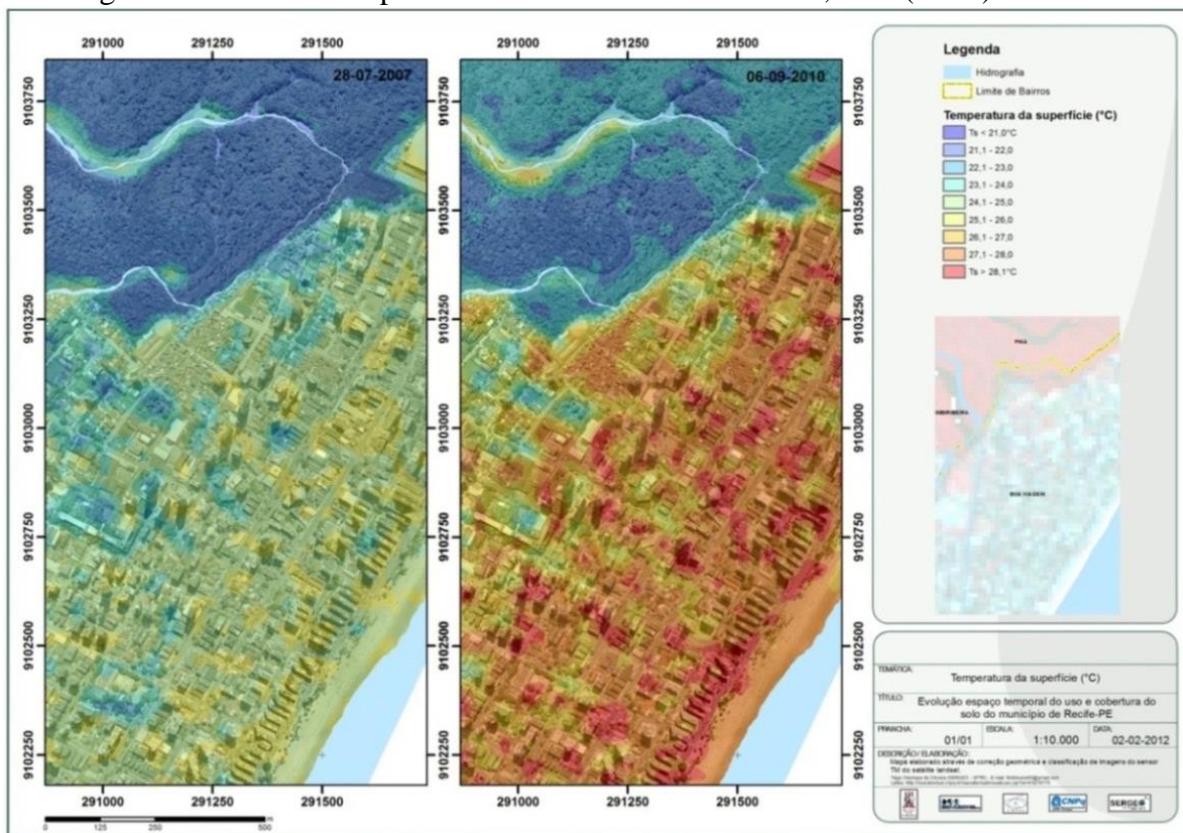
Estudo realizado por Lo & Quattrochi (2003, p. 1061) em Atlanta, entre os anos de 1973 e 2003, utilizando imagens do satélite Landsat, constatou o que eles chamaram de mudança dramática do uso e cobertura do

solo, resultado da perda de áreas florestais e áreas agrícolas, modificando o padrão de temperatura da superfície.

Estes autores verificaram que as áreas de alta densidade urbana se desenvolveram ao longo dos grandes corredores rodoviários, o que foi encontrado em algumas áreas deste estudo. Deste modo, diversas ilhas de calor foram surgindo em Atlanta, mais frequentemente nas áreas adensadas, causando um aumento na incidência de doenças cardiovasculares e doenças respiratórias crônicas.

Chen et al. (2006), em estudo realizado na região do Pearl River Delta (PRD), ao longo da Costa Sul da China, também verificaram, através da utilização de imagens do sensor TM Landsat, a influência da mudança de uso e cobertura da terra na distribuição da temperatura da superfície. Os autores afirmam que o dramático aumento da urbanização auxiliou na mudança da distribuição dos diferentes usos e coberturas do solo, intensificando o surgimento de ilhas de calor.

**Figura 5.** Imagens mostrando a distribuição da temperatura da superfície (°C) em parte dos bairros de Boa Viagem e Pina no município de Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



Freitas (2005) constatou a formação de várias ilhas de calor através de medições de temperatura em diversos pontos do município do Recife. O autor aponta que o cruzamento da Avenida Conde da Boa Vista com a Rua do Hospício e o cruzamento entre a Avenida Domingos Ferreira e a Rua Antônio Falcão apresentaram temperaturas superiores a 30°C. Estas áreas foram classificadas como áreas desconfortáveis.

As áreas na praia de Boa Viagem e nas Praças Pinto Damásio e Apolônio Sales

apresentaram temperaturas mais amenas, com variação entre 24 e 28,0°C, devido à quantidade de vegetação e influência antrópica de baixa densidade, sendo classificadas como espaços de grande conforto térmico.

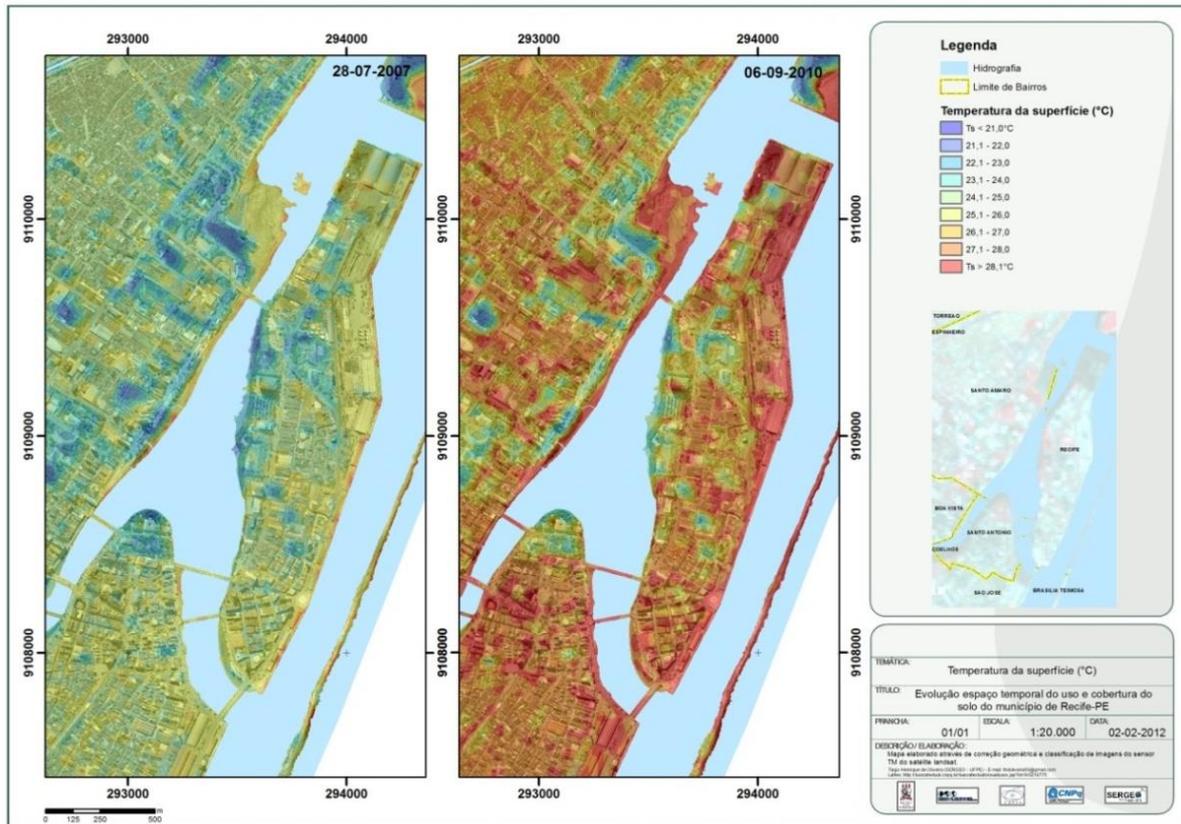
No bairro do Recife (Figura 6) é possível visualizar que em sua grande parte a temperatura da superfície é superior a 26°C em um período mais seco. As áreas vegetadas, mesmo aquelas com cobertura de gramíneas, conseguiram manter as temperaturas mais

amenas nos dois períodos, apresentando valores de superfície inferiores a 22°C.

Nota-se como a parte sul do bairro do Recife apresenta a predominância das temperaturas mais elevadas, principalmente devido à localização do Porto do Recife, com grande área impermeabilizada e/ou grandes

galpões (Figura 7). Para o bairro de Santo Amaro (Figura 8) é possível observar que os lotes que apresentaram áreas verdes conseguiram manter uma boa amenização da temperatura da superfície mesmo em períodos mais secos, como para o de setembro.

**Figura 6.** Imagens mostrando a distribuição da temperatura da superfície (°C) nos bairros do Recife, Santo Amaro, Santo Antônio e São José do município de Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



**Figura 7.** Imagem dos galpões e áreas impermeabilizadas no Porto do Recife, bairro do Recife, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



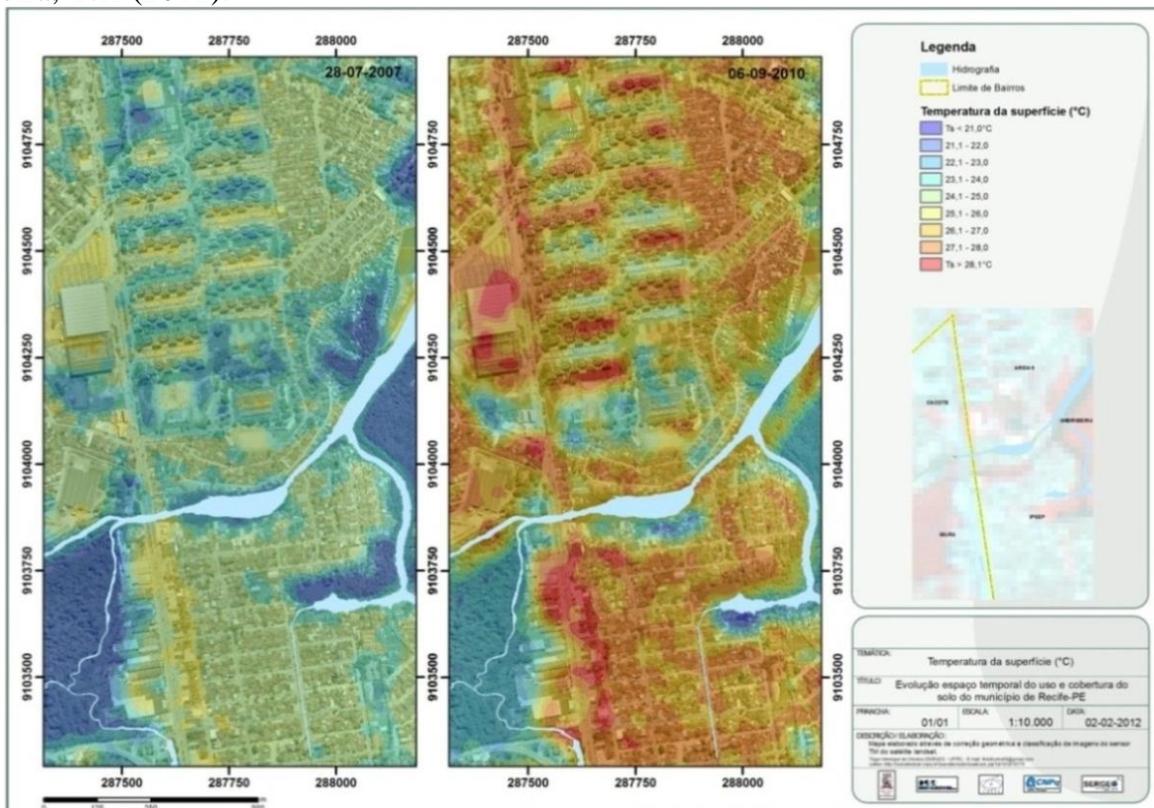
**Figura 8.** Imagem mostrando a distribuição de áreas verdes em parte do bairro de Santo Amaro, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



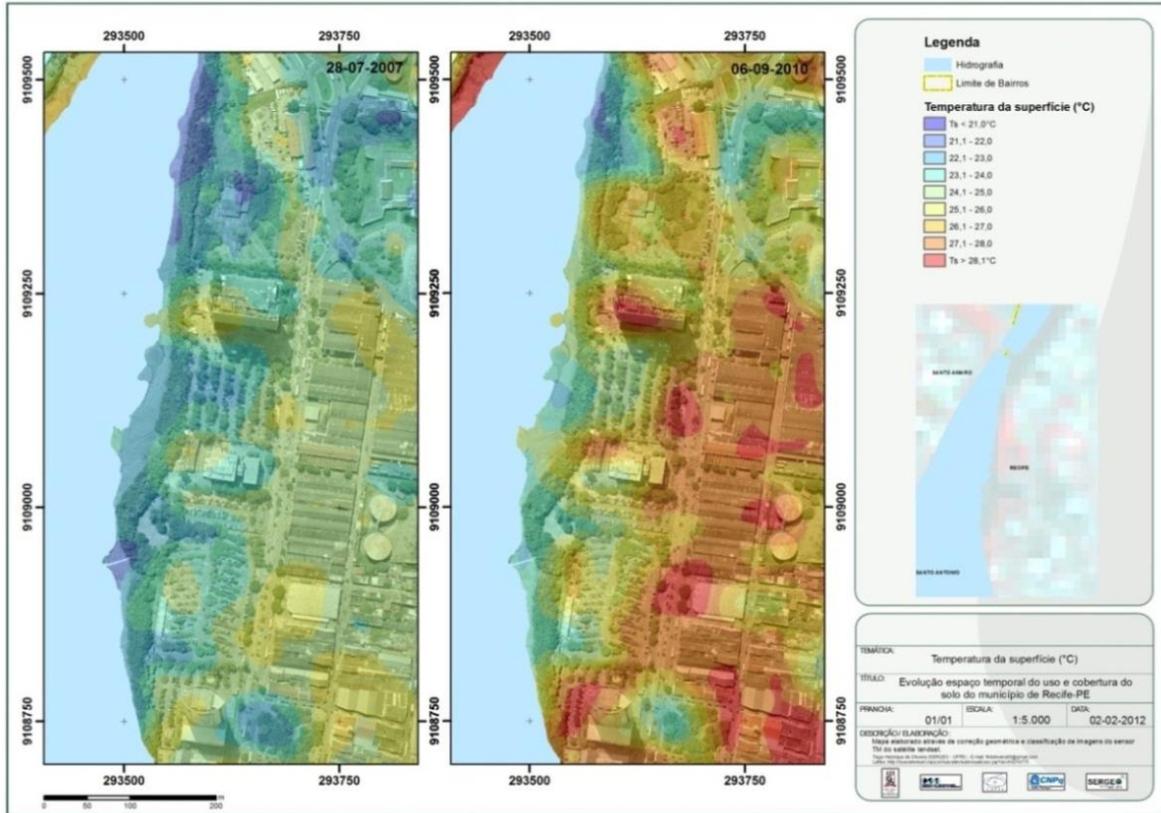
As áreas que apresentaram vegetação de porte arbóreo no entorno de grandes empreendimentos, como galpões (Figura 9) e grandes edifícios (Figura 10) mostraram efeito de arrefecimento da temperatura da superfície em seu entorno, diminuindo o impacto provocado pelo calor gerado pelas edificações, a exemplo do Hospital Geral de Areias. Estudos realizados por Meier (1990),

Akbariet al. (1997), Simpson e Mcpherson (1998) e Bass (2001; 2007), Ottele (2010) e Gertland (2010) demonstraram que os empreendimentos e edifícios que apresentavam árvores e vegetação de pequeno porte no seu entorno ofereciam superfícies mais frescas e, conseqüentemente, redução do calor e do consumo de energia no interior dos mesmos.

**Figura 9.** Imagens mostrando áreas de arrefecimento da temperatura da superfície no entorno do Hospital Geral de Areias devido a arborização existente, no bairro de Areias, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



**Figura 10.** Imagens mostrando áreas de arrefecimento da temperatura da superfície no entorno de grandes edificações devido a arborização existente, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



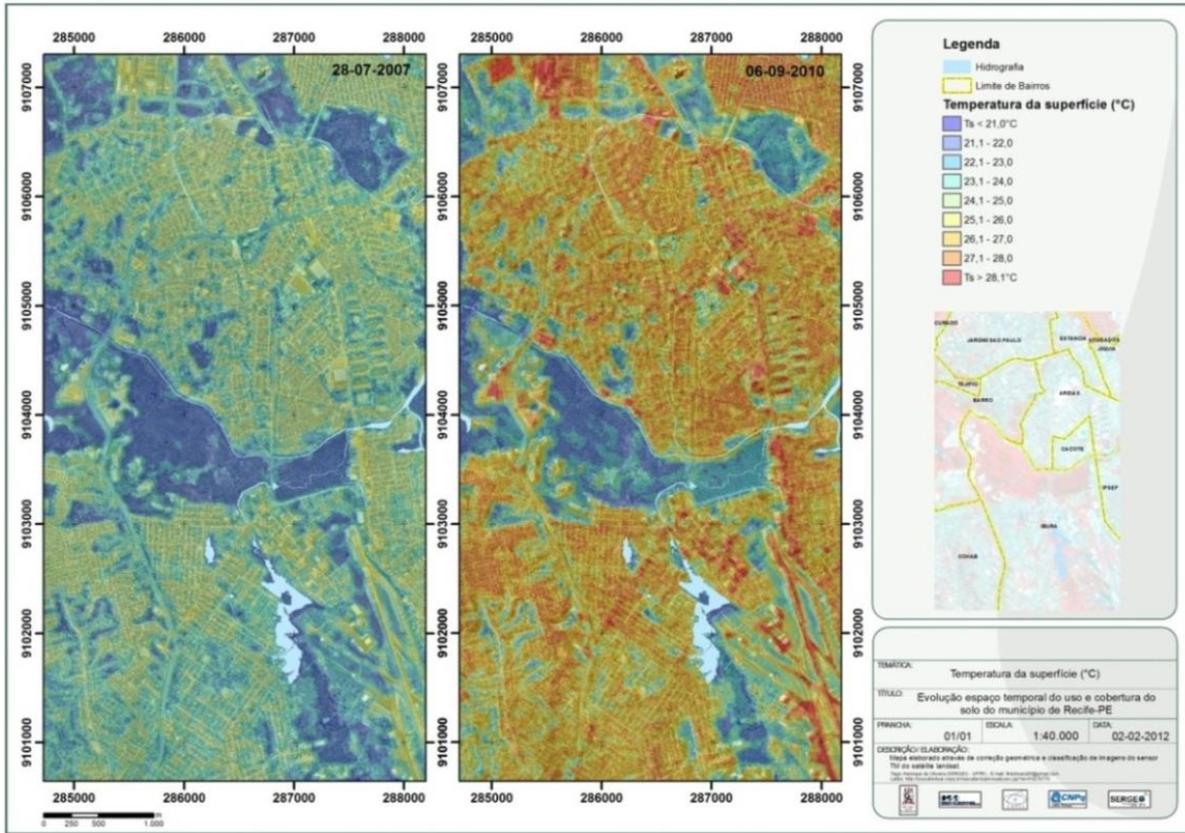
Meier (1990) comprovou que a redução na temperatura da superfície em paredes sombreadas por vegetação poderia chegar a 20%. Considerando os grandes fragmentos florestais, é possível observar que a temperatura da superfície ficou abaixo de 22°C nas Matas do Jardim Uchôa (Figura 11) e Mata da Várzea/Curado (Figura 12). As áreas que apresentam algum tipo de atividade antrópica no interior do fragmento de vegetação, assim como as áreas com predominância de gramíneas também se tornaram perceptíveis, apresentando temperaturas mais elevadas.

Também é possível observar o efeito de borda provocado pelo contato de áreas impermeabilizadas ou construídas com o fragmento florestal. Com isto, a temperatura da superfície apresenta valores um pouco

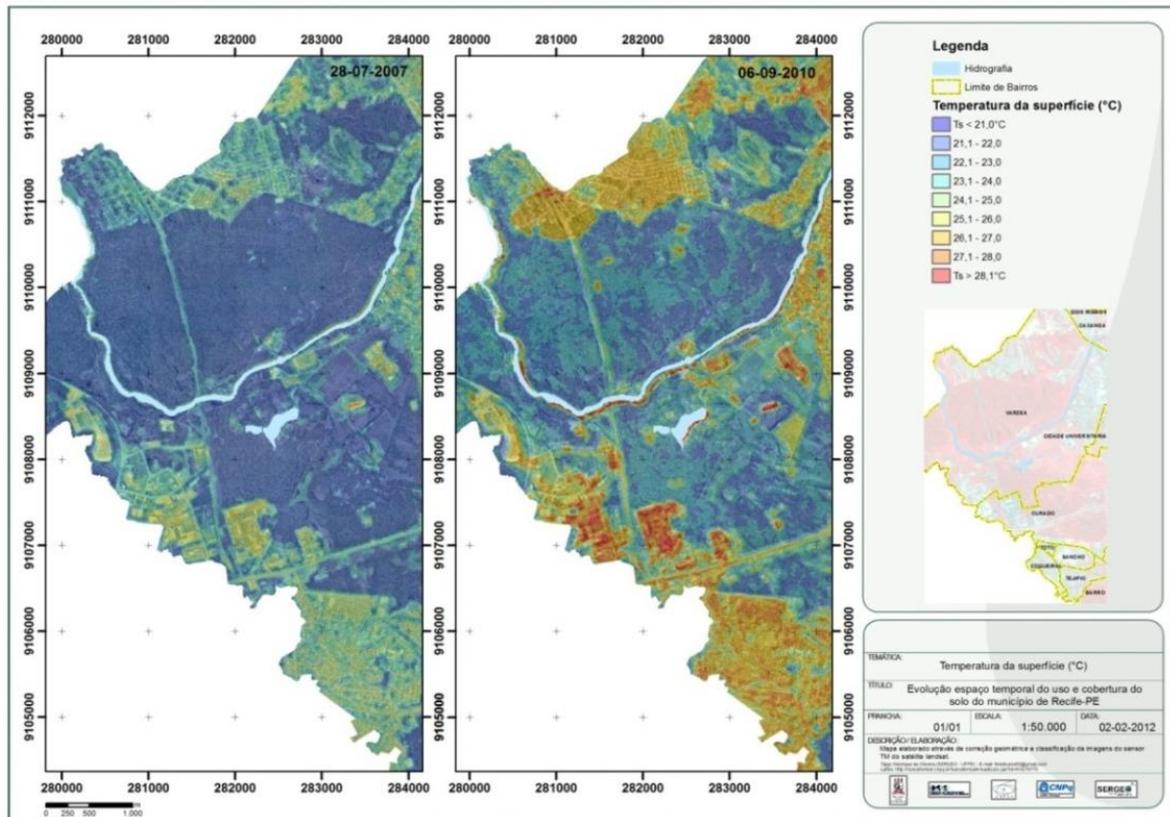
mais elevados do que os comumente observados no interior do fragmento, neste caso apresentando temperatura da superfície variando entre 22 e 25°C, dependendo do tipo de pressão que o fragmento vem sendo submetido.

Analisando as imagens nas Figuras 11 e 12 é possível observar as elevadas temperaturas da superfície encontradas no Complexo Industrial do Curado e na pista do Aeroporto Internacional do Recife Guararapes, chegando a valores superiores a 28°C na imagem de setembro de 2010. Estes empreendimentos, assim como grandes galpões (Figura 13) ou áreas com grande quantidade de edificações muito próximas (Figura 14) apresentam uma grande retenção de calor.

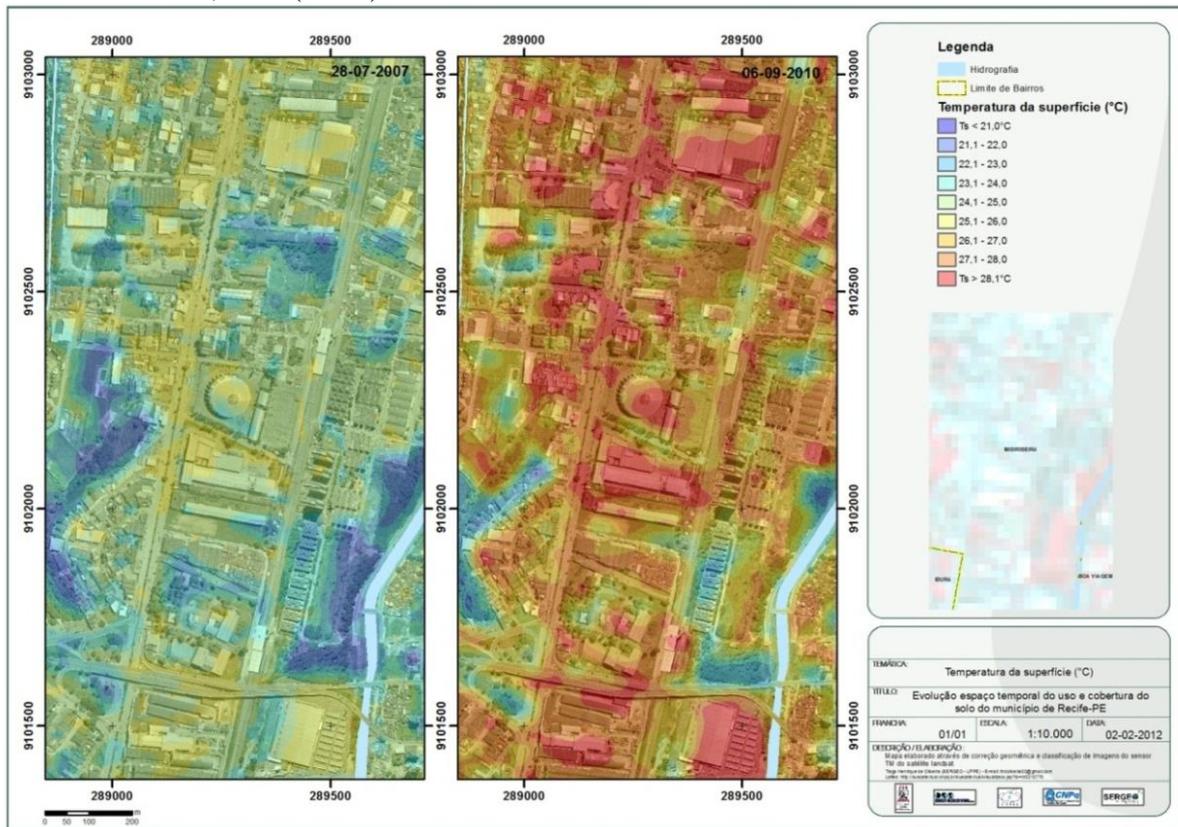
**Figura 11.** Imagens mostrando variações na temperatura da superfície (°C) para a Mata do Jardim Uchôa, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



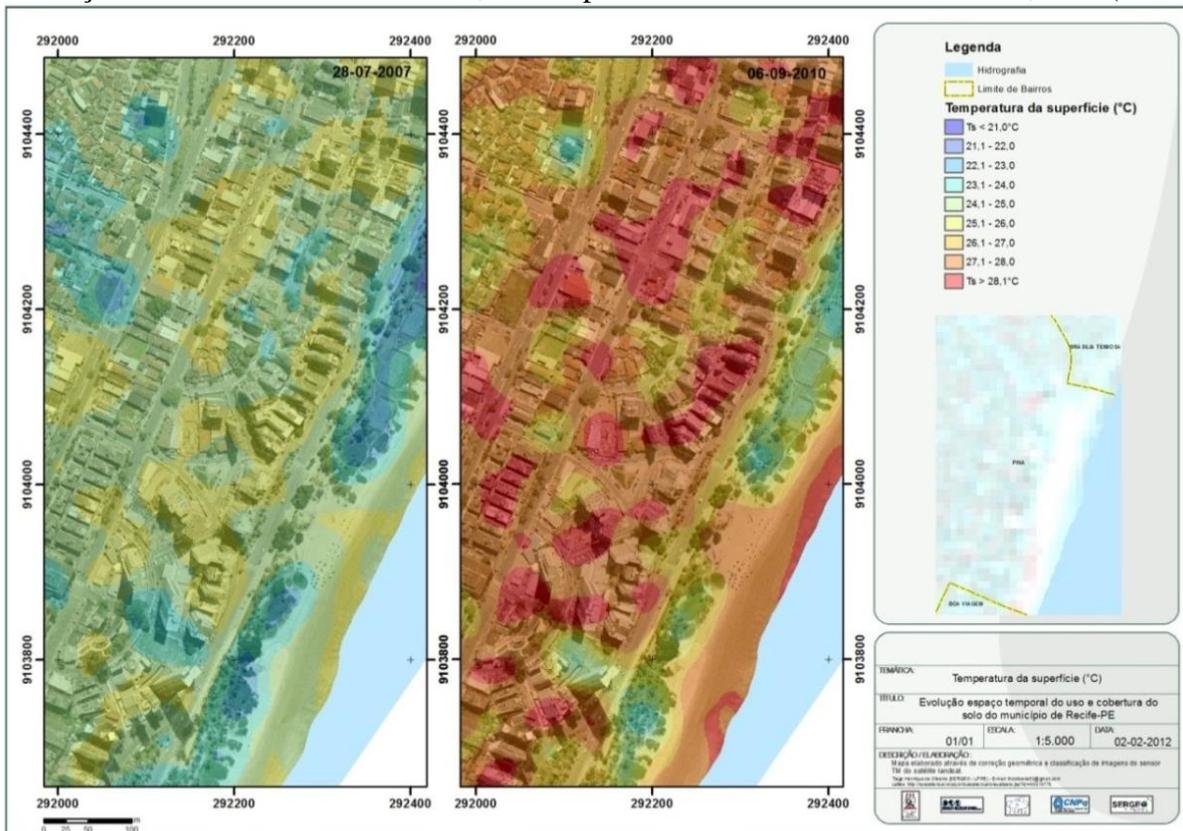
**Figura 12.** Imagens mostrando variações na temperatura da superfície (°C) para a Mata da Várzea/Curado, Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



**Figura 13.** Imagens mostrando a distribuição de ilhas de calor em áreas com grandes lojas e galpões entre as Avenidas Sul (linha de metrô) e Mascarenhas de Moraes, município do Recife – PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



**Figura 14.** Imagens mostrando a distribuição de ilhas de calor em áreas com grande concentração de edificações em área do bairro do Pina, município do Recife-PE. Fonte: Oliveira, T.H (2012).



No caso de edifícios, Freitas (2005) contribui afirmando que, dependendo da disposição dos mesmos, pode ocorrer um agravamento na retenção de calor devido a uma menor circulação dos ventos, impossibilitando uma maior dispersão do calor pelo ar e maior concentração de poluentes. Estas áreas apresentaram grandes manchas com temperaturas da superfície superiores a 25°C na imagem de julho de 2007 e superiores a 28°C na imagem de setembro de 2010.

Diversos estudos (Simpson E Mcpherson, 1998; Thompson, 2002; Rossa et al., 2005; Shams et al., 2009; Moreira, 2010) têm comprovado a eficiência da utilização de pavimentos frescos e vegetação na redução da temperatura da superfície e absorção de poluentes atmosféricos em diversas partes do mundo. A utilização de recursos, como jardins verticais e cobertura vegetal em telhados, por exemplo, tem reduzido parte dos impactos provocados na temperatura da superfície pela utilização de certos materiais.

Destaca-se o estudo realizado por Rossa et al. (2005), na Região Metropolitana de West Midlands – Reino Unido, que, através de um Modelo de Química Atmosférica, conseguiu comprovar a eficiência da vegetação no aumento da qualidade do ar e indicou as espécies que apresentavam potencial para a formação de ozônio (O<sub>3</sub>), o qual, em excesso, provoca doenças respiratórias e o fenômeno conhecido como SMOG.

Para Gartland (2010, pag. 182), efeitos mitigadores, como a distribuição de árvores e vegetação de pequeno porte nos centros urbanos e a utilização de pavimentos permeáveis, também contribuem para a redução na quantidade de enchentes pelo escoamento de águas de chuvas.

Problemas decorrentes destes eventos são agravados pela grande quantidade de superfícies pavimentadas e impermeáveis favorecendo o escoamento e rápido acúmulo em determinadas áreas. As florestas urbanas podem reter grandes quantidades de água da chuva em suas folhas, galhos e troncos, reduzindo e retardando a quantidade de água que atinge o solo.

Deste modo, é necessário o incentivo e adoção de tecnologias disponíveis para a mitigação das ilhas de calor e áreas com elevada temperatura, tais como a implantação de jardins verticais, jardins suspensos em coberturas de edifícios, assim como a manutenção das áreas com solo natural e da arborização existente.

### **Conclusões**

Através do refinamento espacial na carta de temperatura da superfície, com a utilização da técnica TsHARP, é possível relacionar os diferentes materiais que compõem o ambiente urbano com a temperatura da superfície, podendo identificar áreas que apresentam ilhas de calor e áreas de amenidade em diferentes escalas.

Grandes fragmentos de vegetação distribuídos pelo município do Recife, assim como as demais áreas vegetadas no interior dos lotes ou distribuídas ao longo dos logradouros ou equipamentos públicos como Parques ou Praças, comprovaram a possibilidade de se conseguir manter temperaturas mais amenas em períodos seco ou chuvosos.

Grandes áreas vegetadas proporcionam maiores diferenças nos graus de temperatura mais baixas, quando comparadas com grandes áreas com edificações e pouca vegetação.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado cedida ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do Projeto Mata e Mangue: 577356/2008-9, ao INPE por ceder às imagens de satélite através do Catálogo de Imagens de Satélite e à Universidade Federal de Pernambuco pelo apoio institucional.

Os autores Josiclêda Domiciano Galvêncio, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel e Bernardo Barbosa da Silva são Bolsistas de Produtividade do CNPq.

### **Referências**

Agam, N.; Kustas, W.P.; Anderson, M.C.; Li, F.; Neale, C.M.U. (2007). A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery. *Remote Sensing of Environment*, v.107, p.545-558.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation*, version 1.0, 97p.

AKBARI, H. (1997). A cost-benefit analysis of urban trees. Berkeley, CA. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Badeck, F. W., Bondeau, A., Bottcher, K., Decktor, D., Luchi, W., Schaber, J. (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, v. 162, p. 295-309.

Bass, B. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. National Research Centre of Canada. Disponível em: <http://www.slideshare.net/ElisaMendelsohn/evaluating-rooftop-and-vertical-gardens-as-an-adaptation-strategy-for-urban-areas>. Acesso em: 01-02-2012. 2001.

Bass, B. Green Roofs and Green Walls: Potential Energy Savings in the Winter. Toronto: Adaptation & Impacts Research Division Environment Canada at the University of Toronto Centre for Environment. Disponível em: <http://www.upea.com/pdf/greenroofs.pdf>. Acesso em: 01-02-2012. 2007.

Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A. (1998a). Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 198-212.

Bastiaanssen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, Y. M. J.; Roerink, G. J.; Van Der Wal, T. (1998b). The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213: p. 213-229.

Correa, A. C. B. (2006). Contribuição à análise do Recife como um geossistema

urbano. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 23, p. 86-101.

Chen, Y.; Wang, J.; Li, X. (2002). A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. *Remote Sensing for Land and Resources*, v. 4, p. 55-59.

Chen, X.; Zhao, H.; Li, P.; Yin, Z. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, v. 104, p. 133-146.

EMBRAPA. Sistema Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial – LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso em: 15-06-2010 Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>.2009.

Costa Filho, W.D.C. (1997). Estudo hidroquímico nos aquíferos da planície do Recife. Dissertação (Mestrado em Geociências). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE.

Freitas, R. M. de. (2005). Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura. Tese (Doutorado – Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura). Porto Alegre-RS. 280p.: il.

Gartland, L. de. (2010). Ilhas de calor para comunidades frescas. In: *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas / Lisa Gartland; Tradução Silvia Helena Gonçalves*. São Paulo: Oficina de Textos.

Giongo, P. R. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural.92 f. Recife, 2008.

- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 504-513.
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. V., French, A. N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index–radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment*, v. 85, p. 429-440.
- Lo, C. P.; Quattrochi, A. D. (2003). Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications: A Remote Sensing Approach. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 69, n. 9, p. 1053–1063.
- LOMBARDO, M. A. (1985). Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec. 224p.
- MEIER, A. (1990). Measured cooling savings from vegetative landscaping. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, American Council for an Energy Efficiency Economy.
- Mock, T. E. (2005). Construyendo un bosque urbano sostenible. *Revista AU – Arquitetura e Urbanismo*. pp. 30-32.
- Moreira, E. B. M.; Nóbrega, R. S. (2011). Uso de imagens multiespectrais aplicada à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície. *Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil., INPE* p. 0776.
- Moreira, T. C. L. (2010). Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo. Mestrado em Ciências (área de concentração: Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ – USP - Piracicaba,
- Oliveira, T. H.; Machado, C. C. C.; Silva, J. S.; Galvêncio, J. D.; Pimentel, R. M. M.; Silva, B. B. (2010). Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 55-69.
- Oliveira, T. H. Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 154 f. :il. ; 30 cm. 2012.
- Ottele, M. Vertical greened surfaces and the potential to reduce air pollution and the improvement of the insulation value of buildings. Delft University of Technology. 2010.
- Rossa, G. D.; Hope, E. S.; Susan M. O.; Mackenzie, A. R.; Hewitt, C. N. (2005). Development and Application of an Urban Tree Air Quality Score for Photochemical Pollution Episodes Using the Birmingham, United Kingdom, Area as a Case Study. *Environmental Science & Technology*, v. 39, n. 17, p. 6730-6738.
- Silva, B. B. da; Silva, S. T. A.; Gomes, H. B. (2010). Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. *Mercator*, v. 9, N<sup>o</sup> Esp. 1, p. 91-106.
- Silva, B. B. da; Galvêncio, J. D.; Borges, V. P.; Machado, C. C. C. (2012). Estimativa do sequestro de carbono por Sensoriamento Remoto. In: *Mudanças climáticas e modelos ambientais: caracterização e aplicações*. Organizadora: Josiclêda Domiciano Galvêncio – Recife: Editora Universitária da UFPE. 456p.: il., figs., gráfs.
- Simpson, J. R.; Mcpherson, E. G. (1998). Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment*, v. 32, n. 1, p. 69-74.
- Souza, W. M. de; Azevedo, P. V. (2012). Índices de detecção de Mudanças Climáticas

derivados da precipitação pluviométrica e das temperaturas em Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 1, p. 143-159.

Shams, J. C. A.; Giacomeli, D. C.; Sucomine, N. M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana- REVSBAU, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

Thompson, R. (2002). Chicago means green. Conscious choice: the journal of ecology and natural living. Abril.

Tsay, C. M.; Liu, W. T. (2000). Estimativa de albedo, temperatura e NDVI do estado de São Paulo através de dados AVHRR do satélite NOAA. Anais... XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ. pp. 3842-3850.

White, M. A., Thornton, P.E., Running, S.W. (1997). A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. Biogeochemical Cycles, v. 11, p. 217-234.