UTILIZAÇÃO DE IMAGENS INFRAVERMELHAS DO SATÉLITE LANDSAT PARA CARTOGRAFAR A ILHA DE CALOR URBANA EM RENNES – FRANÇA

VINCENT DUBREUIL[1]
HIAGO PEREIRA BARBOSA[2]
XAVIER FOISSARD[3]
MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM[4]

RESUMO
Este artigo tem como objetivo analisar a ilha de calor atmosférica e as temperaturas de superfície da aglomeração de Rennes, situada no oeste da França. Para tal finalidade, foram analisados dados representativos da estação estival dos anos de 2004 e 2006 extraídos de estações meteorológicas e da banda térmica do satélite *Landsat 5*. Este conjunto de dados nos permitiu correlacionar, de forma preliminar, as duas variáveis térmicas, obtendo-se valores de 0,77 e 0,66.
Palavras-chave: ilha de calor atmosférica, temperatura de superfície, Landsat, Rennes.

ABSTRACT
This paper aims to analyze the atmospheric heat island and the surface temperatures of the agglomeration of Rennes, located in western France. To this end, it was analyzed data representative of the summer season of 2004 and 2006 taken from weather stations and thermal band of Landsat 5. This data set allowed us to correlate, in a preliminary way, the two thermal variables, obtaining values 0.77 and 0.66.
Key-words: atmospheric heat island, surface temperature, Landsat, Rennes.

1 – Introdução

Diversos estudos mostram que as ilhas de calor atmosféricas podem atingir durante o período noturno uma forte magnitude (mais de 7°C) nas cidades de médio porte, em condições meteorológicas estáveis com pouco vento e pouca nebulosidade (MENDONÇA & DUBREUIL, 2002; AMORIM, 2005, 2010; AMORIM, SANT'ANNA NETO & DUBREUIL, 2009; QUÉNOL et al., 2010; AMORIM, DUBREUIL & CARDOSO, 2015). Os estudos sobre as ilhas de calor são importantes para a compreensão das situações de desconforto térmico, que geralmente são amplificadas por este fenômeno, além de acentuar a concentração de

[1] Docente em Geografia da Université Rennes II. LETG-Rennes-COSTEL/França. E-mail de contato: vincent.dubreuil@uhb.fr
[2] Mestrando do programa de pós-graduação em Geografia da Université Rennes II. E-mail de contato: hiagopb30@gmail.com
[3] Doutor em Geografia pela Université Rennes II. E-mail de contato: xavier.foissard@univ-rennes2.fr
[4] Docente em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente/Brasil. E-mail de contato: mccta@fct.unesp.br

poluentes na atmosfera com repercussões negativas na saúde dos citadinos (AMORIM, 2005, 2010; DUBREUIL & MENDONÇA, 2002). O diagnóstico das ilhas de calor pode então ser uma ferramenta importante para a gestão o espaço urbano (DUBREUIL, DELAHAYE & LE STRAT, 2010), em particular para atenuar a intensidade e os impactos deste fenômeno.

Na literatura são apresentadas três tipos de ilhas de calor, em função da camada atmosférica onde estas se encontram: 1 – Ilha de calor de superfície diagnosticada por meio de técnicas em sensoriamento remoto; 2 – Ilha de calor atmosférica situada entre o nível do solo e o nível médio dos telhados, chamada por Oke (1978) de *urban canopy layer;* 3 – Ilha de calor vertical chamada por Oke (1978) de *urban boundary layer*. As ilhas de calor vertical resultam da interação entre a camada de cobertura urbana (*urban canopy layer*) e a camada limite urbana (*urban boundary layer*) podendo atingir a atmosfera livre. Neste artigo, o enfoque será dado nas ilhas de calor atmosférica e de superfície.

As ilhas de calor de superfície (ICS) são geralmente estudadas a partir da banda térmica (canal 6) dos satélites *Landsat 5* e *7*, e mais recentemente, com o canal 10 do satélite *Landsat 8*. As ilhas de calor atmosféricas (ICA) são medidas através de dois procedimentos: os transectos móveis (medidas itinerantes com auxílio de um veículo) e pontos fixos, por meio de uma rede de estações meteorológicas ou sensores automáticos instalados na zona urbana e rural (DUBREUIL et al., 2010). Este artigo tem como objetivo comparar a intensidade da ilha de calor atmosférica em Rennes, cidade de porte médio localizada no oeste da França, com a ilha de calor de superfície medida pela banda térmica do satélite *Landsat 5*.

2 – Material e métodos

Rennes está situada à 48,111° de latitude Norte e 1,679° de longitude Oeste, nas proximidades da costa oeste da França. A aglomeração possuía 420 707 habitantes em 2012, sendo que 209 860 habitantes habitam no município de Rennes. A cidade de Rennes é a 11ª cidade mais populosa da França, uma das capitais históricas, juntamente com a cidade de Nantes, da região da Bretanha. Situada em uma bacia topográfica, a cidade é protegida pelos grandes ventos do oeste e fortes precipitações (650 mm de média anual) e se beneficia de um clima oceânico temperado, do tipo Cfb (clima temperado úmido com verão temperado) segundo a classificação de *Köppen*. Os invernos são frescos (5°C de média no mês de janeiro) e úmidos, e no verão as temperaturas são também amenas (18,3°C de média no mês em julho) e pouco chuvoso, às vezes com episódios extremos de seca.

Para a realização deste artigo foram utilizados dados extraídos de 14 estações meteorológicas dos tipos *Vantage PRO 2* e Weather Monitor 2, do modelo *Davis Instruments*

instaladas na aglomeração de Rennes. Estas estações foram instaladas com auxílio financeiro do projeto de pesquisa interdisciplinar Ecourb (*ECOlogie Rural-Urbain*). Os dados da estação meteorológica oficial do METEO France localizada no aeroporto Saint-Jacques também foram utilizados neste artigo.

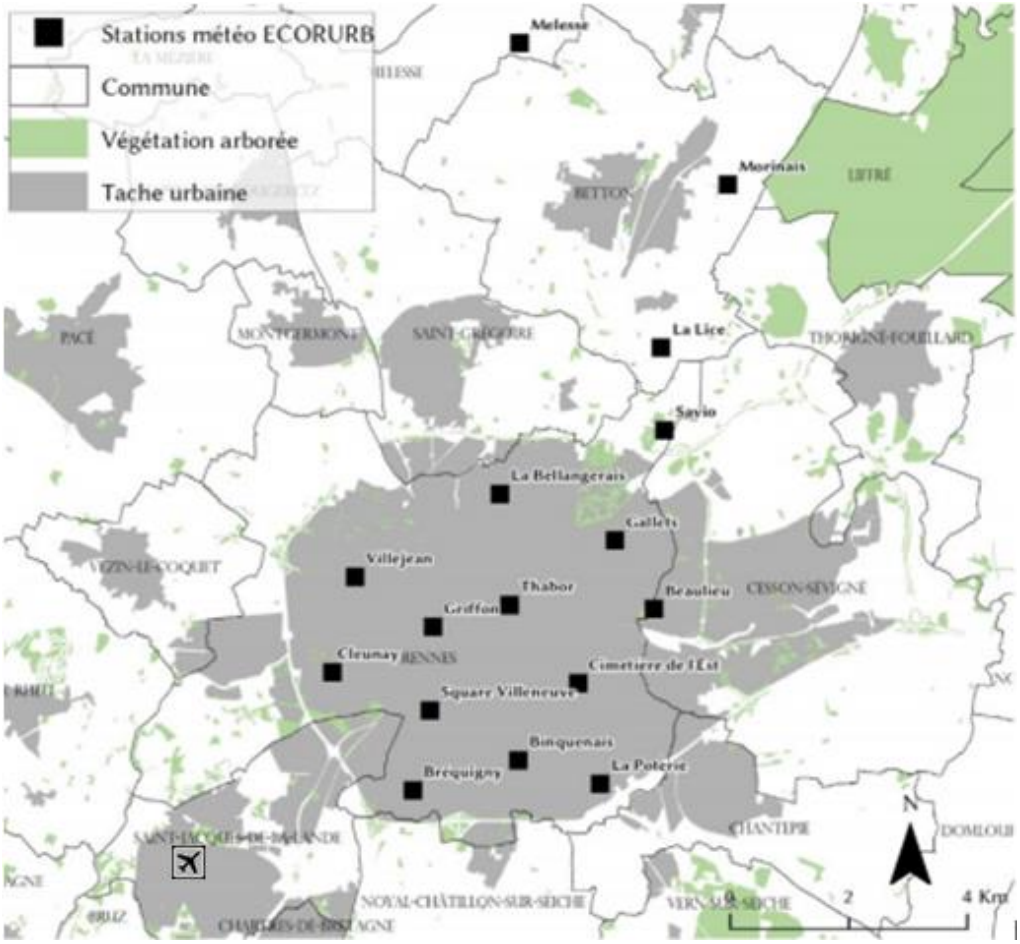


Figura 1 – Estações meteorológicas na aglomeração de Rennes Fonte: Foissard (2015, p. 52).

Para este trabalho foram adquiridas imagens do satélite *Landsat 5*, disponibilizadas no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos *(United States Geological Survey - USGS)*[5]. Foram selecionadas imagens com condições meteorológicas semelhantes e correspondentes a mesma época do ano, de órbita 201 e ponto 27, dos dias 24 de julho de 2004 e 31 de agosto de 2006, horário das 10h36 (UTC-GMT) e horário local 11h36. A banda do infravermelho termal apresenta resolução espacial de 120 metros (reamostradas para 30 metros) e intervalo espectral de 10,40 à 12,50 µm. Para as bandas 3 e 4, vermelha e infravermelha próxima, a resolução espacial é de 30 metros e intervalo espectral é de 0,63 à

[5] Imagens disponíveis para *download* no *site*: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

0,69 µm para a banda 3 e de 0,76-0,90 µm para a banda 4. As imagens apresentam sistema de referência geográfica UTM 30 Norte.

De acordo com Voogt e Oke (2003) a estimação da temperatura de superfície é uma medida de temperatura indireta que necessita de correções das propriedades radiativas da superfície. Sendo assim, tais procedimentos são de fundamental importância para uma boa estimação dos valores de temperatura da superfície estudada.

A emissividade da superfície foi calculada com auxílio do método de Vand de Griend e Owe (1993) utilizando-se de uma correlação empírica entre emissividade e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Para tal procedimento, as bandas 3 e 4, vermelha e infravermelha próxima, foram empregadas no cálculo do NDVI.

A estimativa de emissividade pelo método mencionado é apresentada da seguinte maneira:

Para NDVI < ou = 0,24, considerado como solo nu, ε = 0,94.

Para NDVI > 0,24 ε = 1,0094 + 0, 047 In NDVI.

Os procedimentos para a estimação da temperatura de superfície em graus Celsius (°C) foram efetuados no *software IDRISI Selva*[6], utilizando os parâmetros de conversão dos níveis de cinza da banda termal em radiância espectral. Posteriormente a radiância espectral foi convertida em temperatura física (K) e por fim, convertidas em graus Celsius. Os detalhes destes procedimentos estão presentes no *site* do *USGS*[7], sendo que os valores utilizados nas fórmulas de conversão estão disponíveis nos metadados, contidos nos arquivos com as imagens de satélite.

Ressalta-se que correções atmosféricas de refletância de acordo com o nível de elevação solar foram realizadas para todas as bandas utilizadas neste trabalho, conforme procedimentos disponíveis no *site* do *USGS*.

Para a identificação da ICA os valores de temperatura do ar utilizados foram os das 12h do dia anterior a passagem do satélite até ao 12h de um dia após o da passagem do satélite, totalizando 49 horas de dados. Os dados das estações de Griffon (centro), Melesse (rural) e do aeroporto Saint-Jacques foram utilizados como referências para o diagnóstico da ICA.

Os valores de temperatura da superfície foram extraídos de cada pixel referente a localização da estação meteorológica, sendo então 14 pontos de temperatura de superfície e 14 pontos de temperatura do ar. Para os valores de temperatura do ar foram utilizados os

[6] Marca registrada *Clark Labs.*

[7] Os procedimentos estão disponíveis para consulta no site: < http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>.

dados mínimos absolutos, registrados entre 6h e 9h da manhã, dependendo do ponto de registro.

A correlação dos dados de temperatura da superfície e do ar foi realizada por meio do coeficiente de correlação de Pearson (R) para as 4 imagens geradas para cada data. Estas imagens foram reclassificadas em janelas móveis de tamanho variável entre 3x3 pixel (90 x 90 metros), 5x5 pixel (150 x 150 metros) e de 9x9 pixel (270 x 270 metros), considerando que a resolução espacial do *Landsat 5* nas bandas selecionadas é de 120 metro porém, reamostradas à 30 metros.

3 – Resultados

Nos dois dias selecionados para a análise presente neste artigo não houve ocorrência de precipitação. No dia 24 de junho de 2004 os termômetros atingiram mínima de 10,8°C e máxima de 26,8°C, enquanto que no dia 31 de agosto de 2006 foram registradas temperaturas mínima de 10,1°C e máxima de 26°C. Estes valores foram registrados pela estação do METEO France localizada no aeroporto Saint-Jacques à sudoeste de Rennes.

Entre os dias 23, 24 e 25 de julho de 2004 (gráfico 1) os pontos com temperatura mais elevadas foram Griffon e Saint-Jacques, ambos localizados em áreas urbanizadas, sobretudo o ponto localizado ao centro da cidade de Rennes. A intensidade máxima da ICA foi de 3,8°C registrada no dia 25 de julho às 5h após a passagem do satélite e o diagnóstico da ICS. A temperatura da estação representativa localizada na zona rural (Melesse) foi de 10,7°C enquanto que no centro da cidade, o termômetro atingiu a marca de 14,5°C.

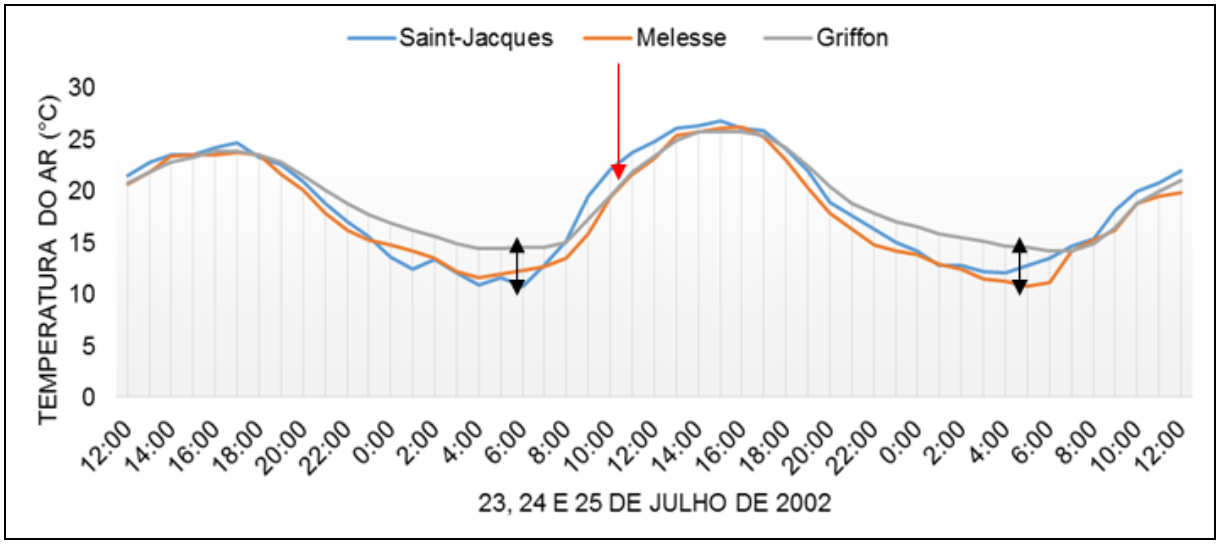


Gráfico 1 – Evolução da ICA para dias representativos da passagem do satélite Landsat 5 em julho
Flechas pretas = Intensidade máxima da ICA; Flecha vermelha = Passagem do satélite *Landsat 5*

Para os dias 30 e 31 de agosto e 1° de setembro de 2006 (Gráfico 2) o padrão observado foi o mesmo, os pontos mais urbanizados apresentaram temperaturas mais elevadas. A intensidade máxima da ICA foi de 6,7°C, com valores de temperatura que variaram entre 11,1°C (Melesse) à 18,8°C (Griffon) registrados no dia 1° de setembro à 1h.

Para os dois casos analisados o perfil clássico da Ilha de Calor Urbana (ICU) foi observado, sendo que as maiores diferenças foram registradas durante o período noturno, enquanto que nos demais horários as diferenças estiveram menos presentes. Neste caso, como já confirmado por Foissard (2015) as ICAs na cidade de Rennes apresentam maior intensidade em condições de estabilidade atmosférica e, sobretudo, no fim da noite (quando são observadas as temperaturas mínimas), sendo um fenômeno mais marcante na estação do verão.

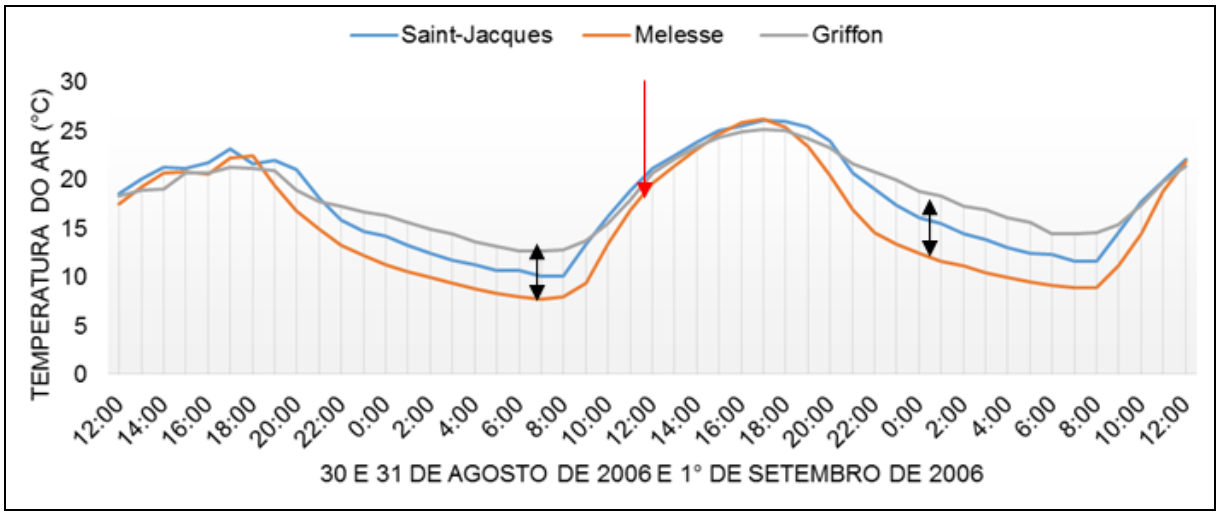


Gráfico 2 – Evolução da ICA para dias representativos da passagem do satélite Landsat 5 em agosto
Flechas pretas = Intensidade máxima da ICA; Flecha vermelha = Passagem do satélite *Landsat 5*

De acordo com Amorim, Sant'Anna Neto e Dubreuil (2009) as imagens de satélite podem ajudar a compreender a distribuição das fontes de calor dentro de uma área urbana que levam à formação da ICA. A temperatura de superfície é ligada ao uso e ocupação da terra, podendo haver contrastes mais ou menos importantes que são influenciados por diversos fatores que compõe a superfície e a atmosfera.

Para o caso da cidade de Rennes, as temperaturas de superfície estimadas a partir do satélite *Landsat 5* propiciaram a identificação das áreas mais aquecidas – zonas industriais, manchas urbanas e solos nus, como também as áreas com temperaturas mais baixas – vales e corpos d'água, fragmentos florestais e parques verdes urbanos (figura 2).

Por se tratar de uma temperatura aparente da superfície, como já dito, estas cartas permitem o diagnóstico das fontes de calor e sua distribuição em uma área determinada, neste caso, a aglomeração de Rennes. A junção de dados de temperatura do ar obtidos *in loco* e dados de temperatura de superfície extraídos das imagens de satélite permitem a realização de correlações estatísticas para se compreender: qual a correlação (ou não) existente entre estas duas variáveis, no tempo e no espaço.

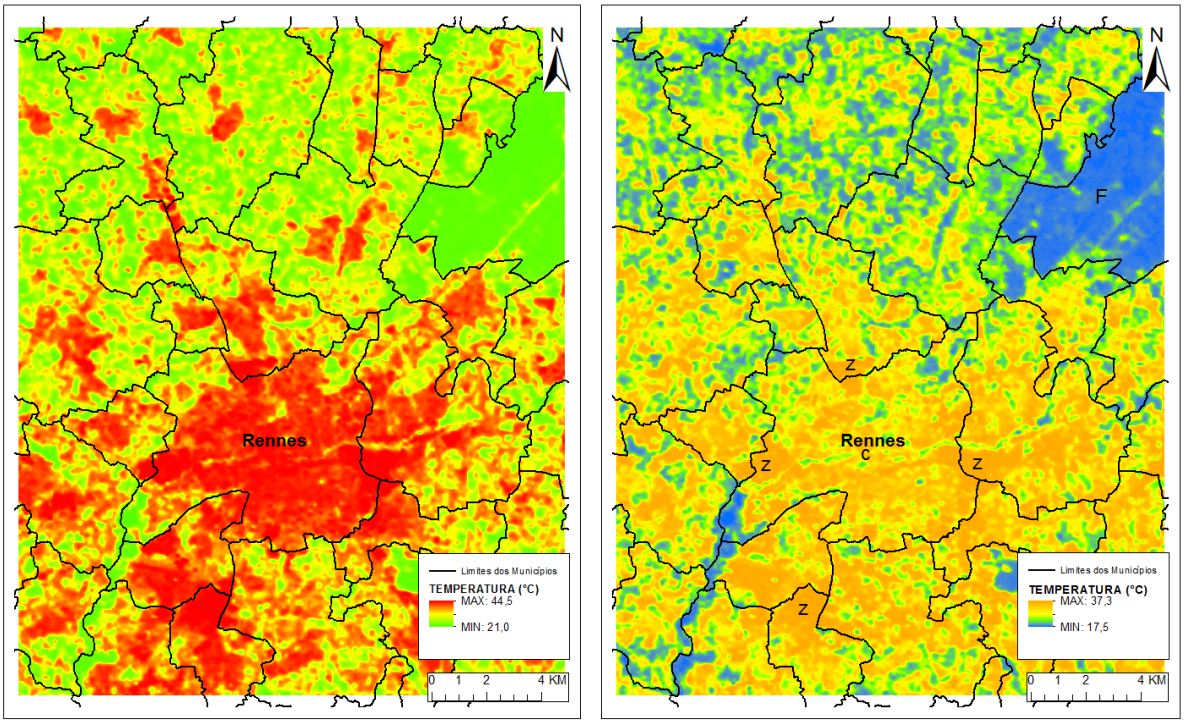


Figura 2 – Cartas de temperatura da superfície dos dias 24/07/2004 (imagem da esquerda) e 31/08/2006 (imagem da direita). C = Centro histórico; F = Floresta; Z = Zona industriais. Fonte das imagens: USGS.

Diante disto, realizou-se análises de correlação com dados horários das 11h e dos valores mínimos de temperatura do ar para o dia de passagem do satélite (tabela 1). A correlação entre dados da temperatura de superfície e da temperatura do ar às 11h mostrou-se baixa, com valores de 0,11 para 24/07/2004 e de 0,18 para 31/08/2006. Isto ocorre porque no horário de passagem do satélite *Landsat 5* não é o melhor horário para o aparecimento da ICA.

No entanto, quando se é realizada a correlação entre os valores mínimos de temperatura do ar e temperatura de superfície os coeficientes são mais significativos entre estas duas variáveis.

Tabela 1 – Valores de temperatura para as duas datas de análise e valores do R

Pontos de registro	24/07/2004			31/08/2006		
	T do ar (min)	T Superficie	T do ar (11h)	T do ar (min)	T Superficie	T do ar (11h)
Saint-Jacques	10,8	29,3	23,7	10,1	28,0	18,9
Melesse	11,6	24,6	21,6	7,7	21,6	16,9
Villejean	13,8	32,7	21,5	11,1	28,1	17,3
Bréquigny	12,2	28,0	21,5	11,6	25,5	16,2
Cleunay	12,8	30,9	21	11,2	25,5	18,3
Cimetière de l'Est	13,9	29,8	21,6	11,4	25,2	16,6
Gallets	12,5	29,7	21,6	10,9	26,8	18,8
Savio	11,6	25,9	21,2	8,7	23,3	18,4
Morinais	11,6	25,9	21,2	8,4	22,4	18,3
Binquenais	13,6	31,8	21,9	10,8	26,8	17,9
La Poterie	13,4	32,6	21,4	10,1	28,9	18,4
Beaulieu	12,6	29,3	23,2	10,1	25,1	20,2
Griffon	14,4	33,5	21,8	12,7	26,9	17,9
Lice	11,8	26,3	21,4	8,4	23,8	18,4
Bellangerais	11,9	29,7	23,2	10,9	24,6	19,8
Thabor	13,4	29,3	21,5	8,8	23,8	14,7
R	**0,77**		0,11	**0,67**		0,18

No mês de julho, a quantidade de vegetação é mais importante na zona rural propiciando, desta maneira, uma correlação mais elevada entre temperatura do ar e de superfície. Outro fator é a presença da estabilidade atmosférica por vários dias durante o período, propiciando assim, uma amplitude térmica da superfície importante se comparada com as demais estações do ano. É importante observar que a ICA apresenta uma tendência de diminuição da temperatura do centro histórico (Griffon = 14,4°C) em direção à periferia (13°C) e, a zona rural (menos de 12°C). Mas nas imagens, os pontos mais quentes não estão mais próximos ao centro, mas nas zonas industriais periurbanas. Isso significa que, apesar da boa correlação do ponto de visto estatístico, a ICS e a ICA são dois fenômenos diferentes.

Na análise das janelas móveis por pixel (3x3, 5x5 e 7x7) a variação dos valores de coeficiente de relação foi pouco significativa. Para a data 24/07/2004 os valores de coeficiente foram os mesmos (0,68), sendo que o valor do pixel principal (30 metros) foi de 0,77 (figura 3).

Para a data de 31/08/2006 os valores de coeficiente de correlação oscilaram de 0,66 à 0,72. O maior valor foi obtido para a janela móvel 3x3 (figura 4).

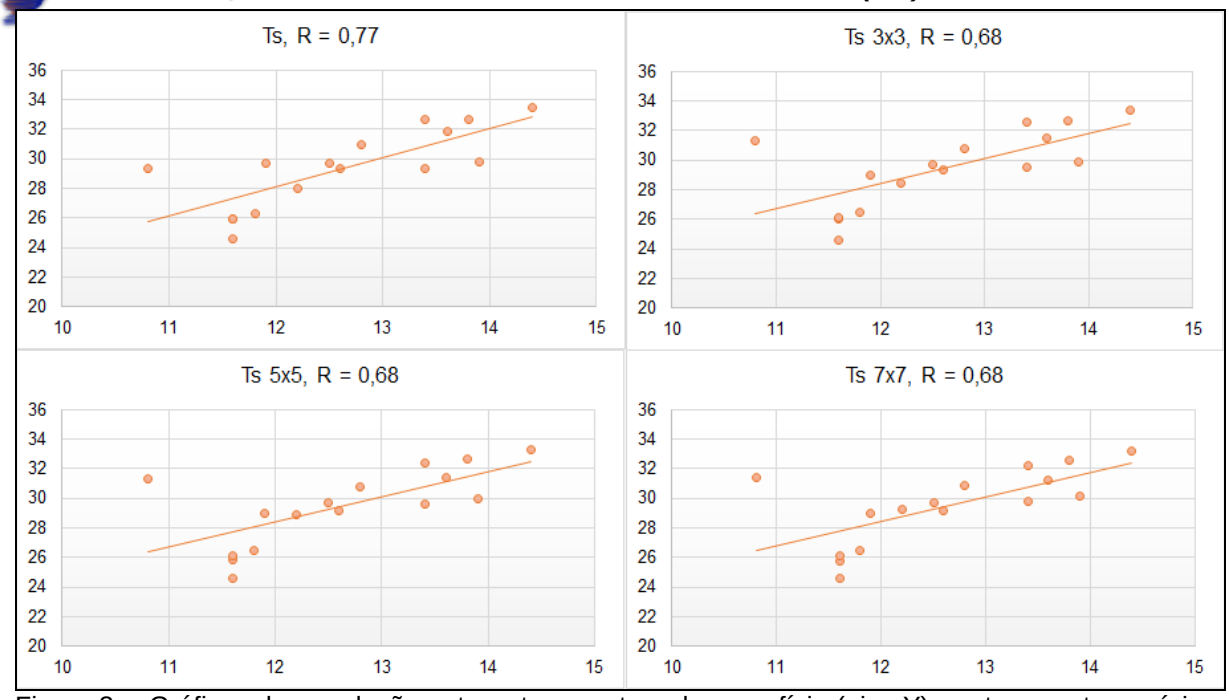


Figura 3 - Gráficos de correlação entre a temperatura de superfície (eixo Y) e a temperatura mínima do ar (eixo X) para as janelas móveis do dia 24 de julho de 2004

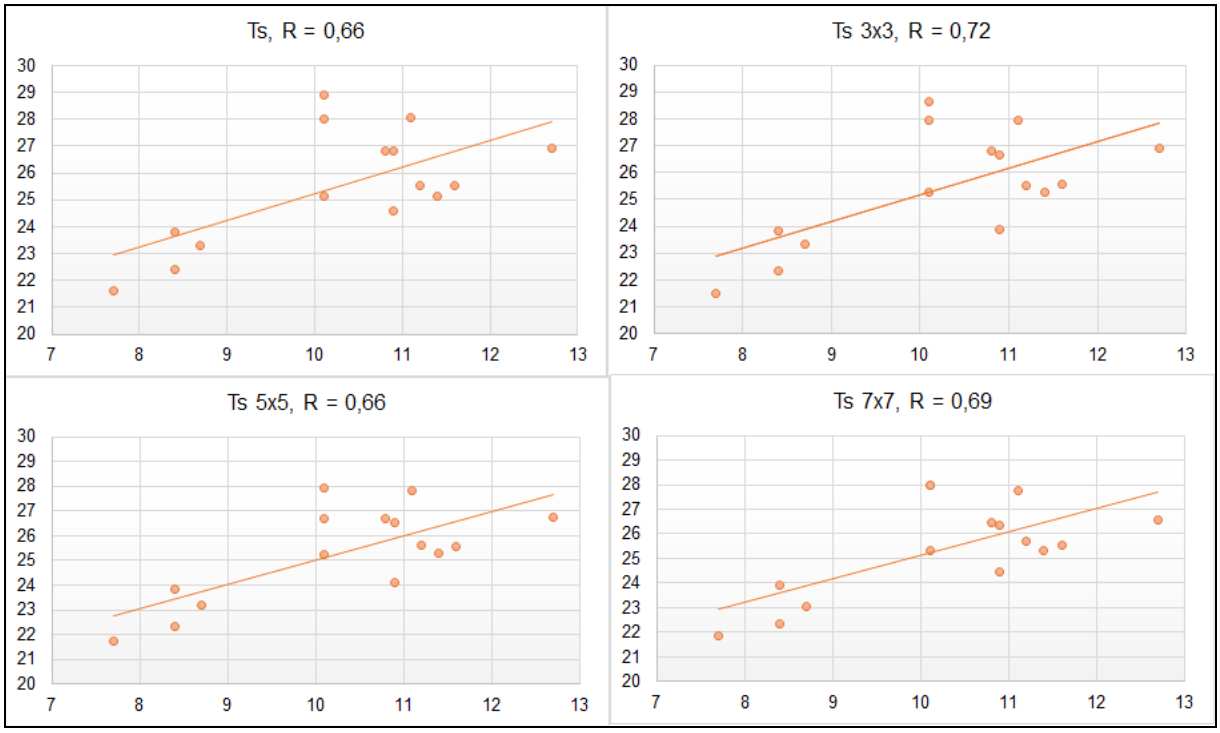


Figura 4 - Gráficos de correlação entre a temperatura de superfície (eixo Y) e a temperatura mínima do ar (eixo X) para as janelas móveis do dia 31 de agosto de 2006

O ponto localizado no aeroporto de Saint-Jacques esteve mais afastado da linha de tendência de correlação (nas duas datas analisadas), pois apresentou-se como o ponto com menor valor de temperatura mínima do ar, enquanto que para a temperatura de superfície

apresentou valores mais elevados. Estes valores são explicados pela composição da superfície constituída de materiais com importante capacidade de armazenamento de calor, resultando em temperaturas superficiais mais elevadas se comparadas aos pontos situados na zona rural.

4 – Considerações finais

A utilização das imagens de satélite *Landsat 5* para a cartografia da ilha de calor de superfície da aglomeração de Rennes mostrou-se uma ferramenta importante para o diagnóstico das fontes de calor presentes nas áreas urbanas e rurais na estação do verão.

A correlação entre as variáveis temperatura do ar e da superfície foi mais alta para julho de 2004 se comparada com aquela do mês de agosto de 2006, fato que pode ser explicado, pela maior quantidade de massa vegetal que propicia maior contraste entre as superfícies urbanas e rurais. Isso significa que, em função do período do ano, nas zonas de clima temperado (como Rennes) as imagens podem ser utilizadas mas para outras não, bem como nas zonas tropicais em função do período de chuvas (AMORIM & DUBREUIL, 2016, no prelo).

A ICA apresentou intensidade máxima durante o período noturno, no entanto, durante a manifestação da ICS (às 11h) não foram detectados valores significativos para a ICA.

Ressalta-se que outras análises que abrangem as diferentes estações do ano e imagens do satélite *Landsat* 7 e 8 estão sendo efetuadas com o intuito de observar a evolução da ICS. Além disso, metodologias como as medidas itinerantes da ICA em dias de passagem do satélite Landsat 8 devem ser realizadas, pois estas proporcionam uma maior abrangência da área de estudo e possibilitam o cálculo de correlações estatísticas mais representativas entre as duas variáveis analisadas - temperaturas de superfície e do ar.

5 – Referências

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. **Geosul (UFSC)**, 20, p. 65-82, 2005.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator Fortaleza** (Online), 9, p. 71-90, 2010.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; DUBREUIL, Vincent; CARDOSO, Renata dos Santos. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil, **Revista Brasileira de Climatologia**, 16, p. 29-45, 2015.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; MONTEIRO, Ana. As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal, **Confins (Paris)**, 13, p. 1-18, 2011.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; SANT'ANNA NETO, João Lima; DUBREUIL, Vincent. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. **Revista de Geografía Norte Grande**, 43, p. 65-80, 2009.

AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; DUBREUIL, Vincent. Intérêts des images visible et infrarouge du satellite landsat-8 pour modéliser l'ilot de chaleur urbain a Presidente Prudente (SP) – Brésil. Submetido ao XXIXe colloque de l'AIC, Besançon, 2016 (no prelo).

DUBREUIL Vincent ; DELAHAYE Camille; LE STRAT, Adeline. Dynamiques d'occupation et d'utilisation du sol et leurs impacts climatiques au Mato Grosso, Brésil. **Confins** (Online), 10, 20 pp., 2010.

DUBREUIL, Vincent; QUENOL, Hervé; FOISSARD, Xavier; PLANCHON, Olivier. Climatologie urbaine et îlot de chaleur urbain à Rennes, In : CLERGEAU, Philippe. (Org.) **Ville et biodiversité** : les enseignements d'une recherche pluridisciplinaire. Presses Universitaires de Rennes, p. 105-122, 2010.

FOISSARD, Xavier. **L'ilot de chaleur urbain et le changement climatique** : application à l'agglomération rennaise, 2015, 247 f, Tese (Doutorado em Geografia), Université Rennes 2, Haute Bretagne, Rennes, 14 out, 2015.

MENDONÇA, Francisco de Assis; DUBREUIL, Vincent. L'étude du climat urbain au Brésil: Etat actuel et contribution de la télédétection. In: DUBREUIL, Vincent (Org.). **Environnement et télédétection au Brésil**, Presses Universitaires de Rennes, p. 135-146, 2002.

OKE, Timoth R. **Boundary Layer Climates**, London: Methuem & Ltd, A, Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978. 372p.

QUENOL Hervé; DUBREUIL, Vincent; MIMET, Anne; PELLISSIER, Vincent; AGUEJDAD, Rahim; CLERGEAU, Philippe; BRIDIER, Sébastien; Climat urbain et impact sur la phénologie végétale printanière. **La Météorologie**, 68, p. 50-57, 2010.

VAN DE GRIEND, A. A.; OWEN, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, 14(6), p. 1119–1131, 1993.

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