



AVALIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE OBTIDAS POR SENSORIA- MENTO REMOTO NAS ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA

EVALUATION OF THE SURFACE TEMPERATURES OBTAINED THROUGH REMOTE SENSING IN THE DRY AND RAINY SEASONS

Leticia Gonçalves Nunes¹; Frederico Carlos Martins de Menezes Filho¹

Artigo recebido em: 23/12/2020 e aceito para publicação em: 22/01/2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v21i1.12438>

Resumo: As ilhas de calor estão presentes no meio urbano possuindo como alguns fatores contribuintes para sua ocorrência, a supressão de áreas verdes e aumento de superfícies impermeáveis. Para estimar a temperatura de superfície, destaca-se a utilização do sensoriamento remoto. O presente trabalho objetiva avaliar a correlação entre as temperaturas superficiais obtidas por imagens de satélite e as observadas em estação meteorológica, na cidade de Rio Paranaíba – MG. Na verificação da correlação nas estações seca e chuvosa calculou-se: REQM, EMA, R^2 , r , IC e ICmod. A estação seca apresentou resultados de maior correlação (IC= 0,94; $R^2= 0,91$; $r= 0,95$) em relação à estação chuvosa (IC =0,43 $R^2= 0,07$; $r= 0,26$) e a análise de todo o período propiciou resultados favoráveis para as métricas (IC=0,90; $R^2=0,77$; $r=0,88$). Tal resultado corrobora a utilização do sensoriamento remoto como alternativa para aquisição de dados de temperatura superficial em locais com ausência de dados meteorológicos.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Landsat 8. Ilhas de Calor.

Abstract: Heat islands are present in the urban environment, some contributing factors for their occurrence are the suppression of green areas and the increase of impermeable surfaces. To estimate the surface temperature, the use of remote sensing is highlighted. The present work aims to evaluate the correlation between the surface temperatures obtained by satellite images and those observed in a meteorological station, in the city of Rio Paranaíba - MG. To verify the correlation between them in the dry and rainy seasons, the RMSE, MAE, R^2 , r , d and d^1 were calculated. Despite the dry season showing results of greater correlation ($d = 0.94$; $R^2 = 0.91$; $r = 0.95$) in relation to the rainy season ($d = 0.43$; $R^2 = 0.07$; $r = 0,26$), the analysis of the entire period provided favorable results for the metrics ($d = 0.90$; $R^2 = 0.77$; $r = 0.88$). This result corroborates the use of remote sensing as an alternative for acquiring surface temperature data in locations with no meteorological data.

Keywords: Geoprocessing. Landsat 8. Heat Islands.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a ocupação intensa e não planejada das áreas urbanas propiciou o aumento de temperatura provocando fenômenos climáticos, como as ilhas de calor (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003). Tais ilhas causam grande desconforto térmico por

¹ Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba (UFV-CRP). E-mail: (nunes.g.leticia@gmail.com, menezesfilho.frederico@gmail.com)

meio da geração de microclimas urbanos (VIEIRA; MACHADO, 2018). São originadas em áreas urbanas e suburbanas pela intensa absorção e retenção de calor pelos materiais presentes; diferenciando-se quando comparados aos materiais naturais presentes nas áreas rurais (GARTLAND, 2010).

Conforme Porangaba, Teixeira e Amorim (2017), dentre as diferentes possibilidades de analisar o clima urbano, destaca-se a utilização dos produtos gerados pelo sensoriamento remoto visando a identificação da variação térmica de uma região.

De acordo com Coelho e Corrêa (2013), os dados e técnicas de sensoriamento remoto são usados em estudos de uso e cobertura do solo, crescimento urbano, conforto térmico, ilhas de calor, entre outros. Na literatura, várias técnicas têm sido aplicadas para analisar mudanças de temperatura na superfície terrestre baseando-se em imagens de satélite (RASUL *et al.*, 2017).

O trabalho de Sonnenberg *et al.* (2020), por exemplo, analisa imagens de satélite por sensoriamento remoto para fins de aquicultura em reservatórios na estação seca e chuvosa, comprovando que o sensoriamento remoto pode ser utilizado para diversos fins.

Cita-se, o grande uso das imagens do satélite Landsat no Brasil em pesquisas para o estudo do campo térmico climático urbano, em função do fácil acesso e a disponibilização gratuita das mesmas (VIEIRA; MACHADO, 2018).

Neste enfoque, estudos sobre a estimativa da temperatura de superfície através do sensoriamento remoto têm sido desenvolvidos, inclusive em cidades de pequeno e médio porte no Brasil, a saber: Cândido Mota - SP, Cáceres - MT, Araxá - MG, Nova Andradina - MS, Rosana - SP, Presidente Prudente - SP, Paranavaí - PR. (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017; RAMOS; NEVES; SILVA, 2017; LEITE; OLIVEIRA; BORGES, 2016; AMORIM, 2017).

Estudos como os de Silva *et al.* (2020), Rampazo, Picoli e Cavaliero (2019) e Lima, Oliveira e Bezerra (2020), comparam dados climáticos provenientes do sensoriamento remoto com os dados climáticos convencionais, obtidos por estações meteorológicas.

Conforme apontam Filgueiras *et al.* (2016), dado o grande espaçamento das redes de estações meteorológicas, a correlação dos dados destas com os estimados por sensoriamento remoto possibilita a determinação de valores proporcionais aos dados de temperatura do ar em locais onde a disponibilidade de dados meteorológicos é escassa.

No presente trabalho, tomou-se como estudo de caso o município de Rio Paranaíba - MG, localizado na região do Alto Paranaíba. Tal município passou por um crescimento populacional de 15,3% no período de 2007 a 2017 (MENEZES FILHO e RODRIGUES, 2017),

após a instalação de um *campus* universitário, o que gerou além da expansão da urbanização uma forte demanda sobre os equipamentos urbanos, como saúde, transporte e saneamento.

Destarte, o objetivo deste estudo é avaliar a correlação entre as temperaturas de superfície estimadas pelo satélite Landsat 8 e as temperaturas registradas por uma estação meteorológica nas estações seca e chuvosa, localizada no município de Rio Paranaíba-MG.

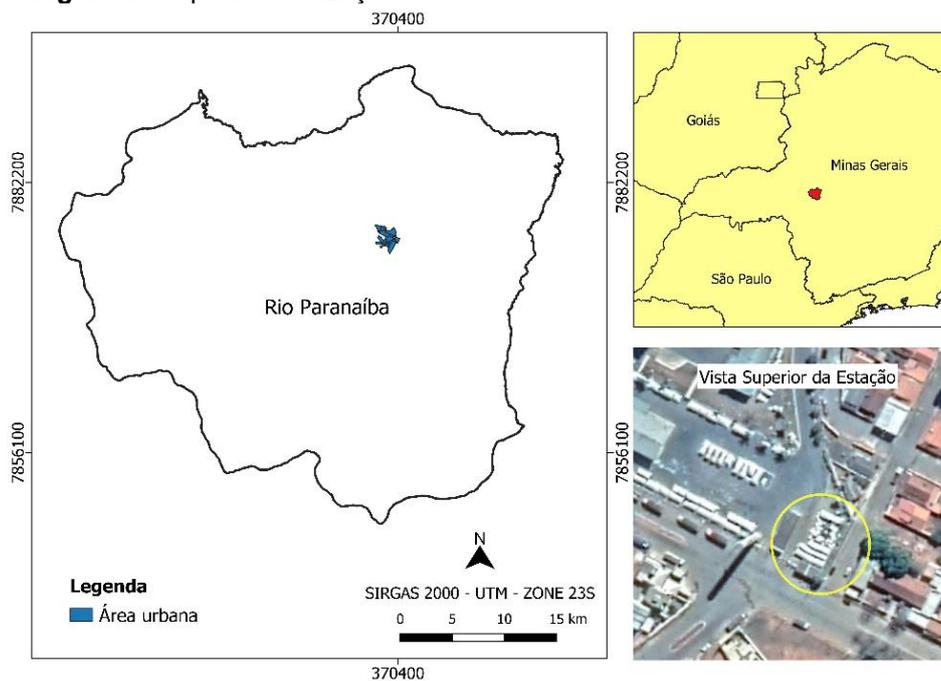
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Rio Paranaíba é um município brasileiro localizado no estado de Minas Gerais, situado na Mesorregião do Alto Paranaíba, distante 350km da capital Belo Horizonte (PREFEITURA DE RIO PARANAÍBA, 2020). O referido município tem uma área de 1.352,353 km² e população estimada de 12.313 habitantes (IBGE, 2019). A densidade populacional é de aproximadamente 9,11 hab./km² (AMAPAR, 2020).

A altitude média da cidade é de 1076 metros e suas coordenadas geográficas sexagesimais são: latitude 19° 11' 39" Sul e longitude 46° 14' 37" Oeste (CIDADE-BRASIL, 2020). A precipitação média do Alto Paranaíba é de 1480 mm anuais (SANTOS; FERREIRA, 2016) e o bioma que abrange a cidade de Rio Paranaíba é o cerrado (IBGE, 2019). Apesar de ser um município de pequeno porte, Rio Paranaíba possui um *campus* da Universidade Federal de Viçosa, o que leva a cidade a possuir uma população flutuante. Como consequência, desde 2006, quando a Universidade foi instalada na cidade, impulsionou-se um crescimento da malha urbana, sem o devido planejamento. Devido à maior parte da área do município ser rural, restringiu-se o estudo à área urbana, foco deste estudo, representada na Figura 1.

Figura 1- Mapa de localização



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Procedimentos metodológicos

Os dados de temperatura registrados no município foram obtidos da estação meteorológica Vantage Pro 2, localizada na Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé (Cooxupé). A estação entrou em operação no ano de 2002, com os registros de temperatura, umidade, pressão, radiação solar, precipitação e velocidade do vento. A altitude da estação é 1120 metros, com localização nas coordenadas geográficas sexagesimais: latitude $19^{\circ} 11' 46''$ Sul e longitude $46^{\circ} 14' 07.4''$ Oeste, Fuso 23S (SISMET COOXUPÉ, 2020).

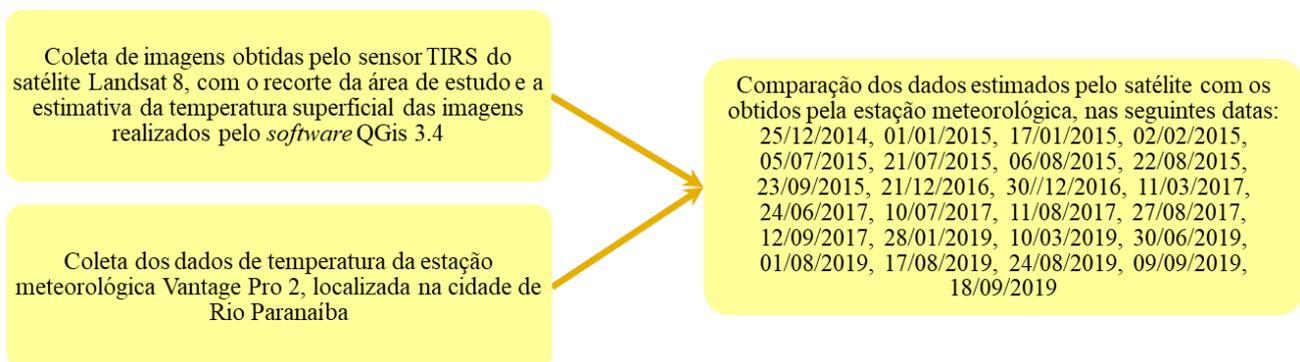
Utilizando as imagens obtidas pelo sensor TIRS do satélite Landsat 8, acessadas através do *United States Geological Survey* (USGS, 2019), foi possível estimar as temperaturas superficiais nas estações seca e chuvosa para os anos de 2014 - 2015, 2016 - 2017 e 2019.

A estação seca refere-se ao período de estiagem compreendendo os meses de junho a setembro. Já a estação chuvosa abrangeu os meses de dezembro a março.

Nas duas estações escolhidas verificou-se a presença de nuvens sobre a área de estudo, reduzindo o número de imagens disponíveis. Portanto, adotou-se como critério de seleção, imagens que não tivessem nuvens sobre a área de estudo e que possuíssem até 50% de cobertura de nuvens.

Para analisar a representatividade da amostra de imagens em relação às imagens disponíveis, admitindo-se um nível de confiança de 95%, utilizou-se a calculadora de amostragem Solvis (SOLVIS, 2020). O cálculo é feito correlacionando os seguintes dados: o grupo (imagens disponíveis), a amostra (imagens utilizadas) e o nível de confiança; obtendo como resultado o erro máximo admitido. O recorte da área de estudo e a estimativa da temperatura superficial das imagens foram realizados utilizando-se o *software* QGIS 3.4. O *shapefile* do município de Rio Paranaíba usado para auxílio no recorte da área de estudo foi baseado no trabalho de Faria Filho, Gonçalves e Gomes Luiz (2019). Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma resumindo as etapas do presente trabalho.

Figura 2 - Etapas principais metodológicas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o cálculo das temperaturas da superfície por sensoriamento remoto, utilizou-se a banda infravermelho termal do sensor TIRS (banda 10), com resolução espacial de 30 metros e intervalo espectral de 10,6 – 11,19 μm . Para a conversão de níveis cinzas para radiância dispôs-se da Equação (1): (USGS, 2020).

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$: Radiância espectral do sensor de abertura em Watts/($\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$);

ML: Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04;

AL: Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000;

Q_{cal} : Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10.

Com os valores de radiância calculados, obtém-se diferentes níveis de temperatura das imagens por meio da Equação 2 (USGS, 2020):

$$T_k = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Onde:

T_k : Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K);

K_2 : Constante de calibração 2 = 1.321,08 (K);

K_1 : Constante de calibração 1 = 774,89 (K);

$L\lambda$: Radiância espectral em Watts/(m².sr.µm).

Por fim, para converter a temperatura Kelvin (K) para graus Celsius (°C), utilizou-se a Equação 3:

$$T_c = T_k - 273,15 \quad (3)$$

Onde:

T_c : Temperatura em Celsius;

T_k : Temperatura em Kelvin.

De posse dos dados obtidos da estação Vantage Pro 2, selecionaram-se as temperaturas nas mesmas datas que foram coletadas as imagens do Satélite Landsat 8.

Segundo o INPE (2020) o horário de passagem do satélite Landsat 8 ocorre entre as 10h e 12h, que representa o intervalo de horário diário em que há o registro das maiores temperaturas. Já a estação Vantage Pro 2, coleta os dados durante 24 horas, sendo as temperaturas máximas registradas no intervalo das 11h às 13h. Logo, os horários de máxima temperatura coletados pela estação são aproximadamente os horários da passagem do satélite Landsat 8, possibilitando a comparação entre os valores obtidos pelo satélite e os resultados obtidos pela estação meteorológica.

2.3 Exatidão e precisão dos dados de sensoriamento remoto

Conforme explanam Camparotto *et al.* (2013), exatidão refere-se ao grau de conformidade entre o valor estimado e o valor observado e precisão corresponde ao grau de variação de resultados de uma medição e se fundamenta no desvio-padrão de uma série de repetições da mesma análise.

No intuito de avaliar a exatidão e a precisão dos dados estimados de temperatura obtidos pelo uso das imagens Landsat 8, utilizaram-se das seguintes métricas: Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), Erro Médio Absoluto (EMA), Índice de Concordância (IC), Índice de Concordância modificado (ICmod), coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r).

O REQM corresponde ao cálculo do desvio entre os valores observados e os valores estimados e é adotado para avaliar a precisão da interpolação. Quanto menor o valor do REQM, menor a variabilidade entre os valores observados e os estimados (XU *et al.*, 2015). O REQM pode ser calculado pela Equação (4):

$$REQM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Outro modo de se avaliar o erro é através do Erro Médio Absoluto (EMA). O EMA usa os valores absolutos das diferenças, o que resulta em parâmetros estatísticos não negativos e sem limite superior (BORGES *et al.*, 2010). Quanto menor o valor do EMA, melhor é a relação entre valores observados e os estimados. O EMA é obtido pela Equação (5)

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Ei - Oi|}{n} \quad (5)$$

Onde:

REQM: Raiz do Erro Quadrático Médio;

Ei: Valor de temperatura estimado pelo sensor TIRS do satélite Landsat 8;

Oi: Valor de temperatura observado na estação meteorológica Vantage Pro 2;

n: Número de observações;

EMA: Erro Médio Absoluto.

O Índice de Concordância (IC) se fundamenta no grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Sua exatidão é dada pelo afastamento dos valores estimados em relação aos observados (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). O IC varia de 0 a 1, sendo que 0 significa nenhuma concordância e 1 concordância perfeita (WILLMOTT, 1981). O índice é calculado pela Equação (6):

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (6)$$

Apesar da grande utilização da referida equação, houve uma modificação proposta por Willmott *et al.* (1985). A vantagem dessa nova equação (Equação 7) é que as diferenças recebem sua devida ponderação (LEGATES; MCCABE, 1999), sem a função quadrática que influencia o resultado, propiciando valores elevados desse índice, mesmo quando não se tem um bom desempenho (CAMPAROTTO *et al.*, 2013).

O Índice de Concordância modificado pode ser expresso pela Equação (7):

$$IC_{mod} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |E_i - O_i|}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (7)$$

Onde:

IC: Índice de Concordância;

E_i: Valor de temperatura estimado pelo sensor TIRS do satélite Landsat 8;

O_i: Valor de temperatura observado na estação meteorológica Vantage Pro 2;

n: Número de observações;

\bar{O} : Média aritmética dos valores observados pela estação meteorológica Vantage

Pro 2;

IC_{mod}: Índice de Concordância modificado.

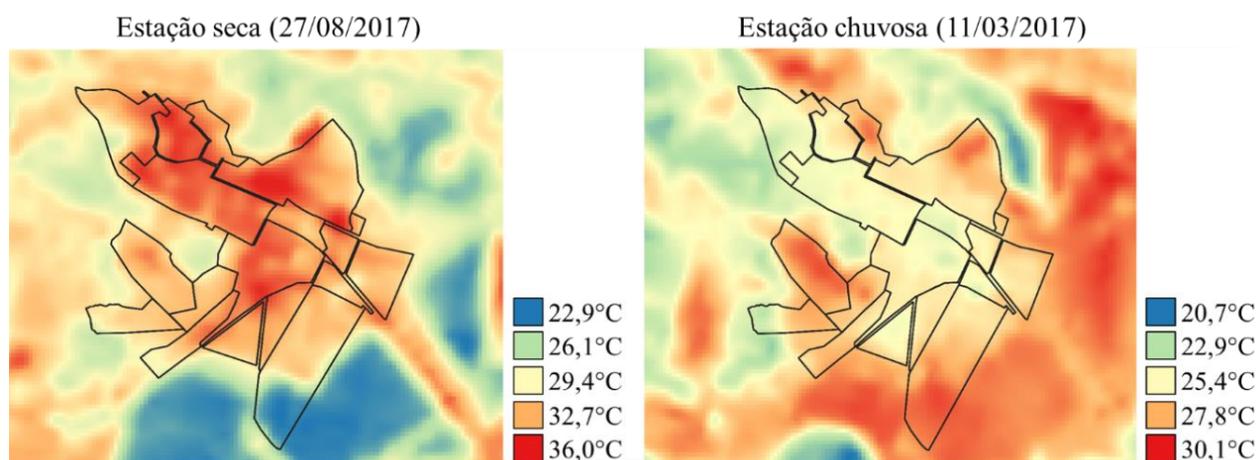
Através da regressão linear dos dados de temperaturas obtidos por sensoriamento e observados pela estação meteorológica, é possível encontrar o coeficiente de determinação (R²).

Por fim, outra métrica para avaliar a correlação entre os dados observados e estimados é o coeficiente de correlação de Pearson (r) dado pela raiz quadrada de R², que é uma medida de associação linear entre variáveis. Seu valor varia de -1 a 1, com o sinal indicando correlação positiva ou negativa entre as variáveis (dados observados e estimados). Valores próximos a unidade negativa ou positiva indica correlação perfeita. Já valores próximos a zero, correspondem à nenhuma relação linear entre as variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidas 57 imagens capturadas pelo satélite Landsat 8 durante as estações seca e chuvosa para os anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2019. Entretanto, devido aos critérios de seleção adotados, apenas 25 imagens foram consideradas satisfatórias para o estudo. Na Figura 3 apresentam-se, como exemplo, os mapas com as temperaturas de superfície obtidas pela utilização das imagens do Landsat 8.

Figura 3 - Temperatura de superfície nas estações seca e chuvosa para o ano de 2017



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 1, apresenta-se a quantidade de imagens disponíveis e utilizadas para as estações seca e chuvosa, confirmando a quantidade superior de imagens utilizadas para este último período.

Tabela 1 - Comparativo das imagens disponíveis com as imagens que foram utilizadas.

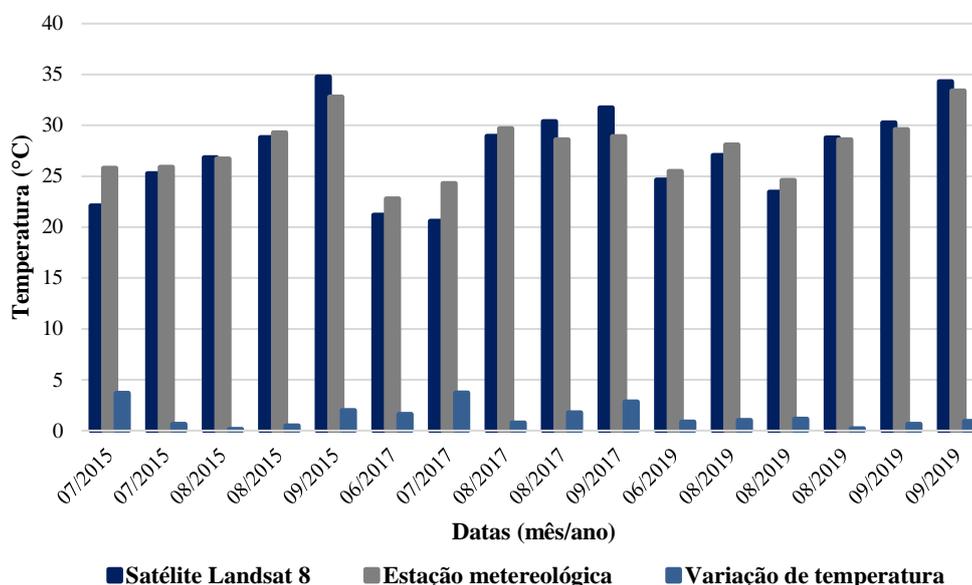
Estação	Imagens disponíveis		Imagens Utilizadas	
	Quantidade		Quantidade	%
Chuvosa	22		9	40,91
Seca	35		16	45,71
Total	57		25	43,86

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 4 apresenta-se a comparação entre as temperaturas estimadas e as observadas e a variação em módulo destes dados, na estação seca, que abrange os meses

de junho a setembro. Nesta época do ano, as imagens são limpas, praticamente sem nuvens, possibilitando um maior número de imagens para análise. Já na estação chuvosa há uma redução da disponibilidade de imagens pela presença de nuvens e sombras.

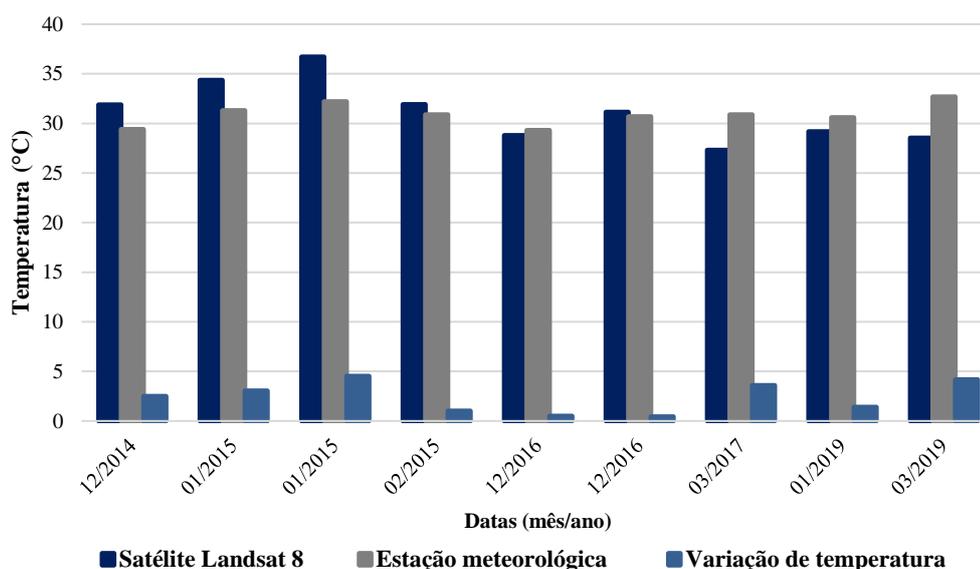
Figura 4 - Comparação entre temperaturas estimadas e observadas, na estação seca



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 5 apresenta a comparação entre as temperaturas estimadas por sensoriamento remoto e as observadas e a variação em módulo destes dados, na estação chuvosa, que abrange os meses de dezembro a março.

Figura 5 - Comparação entre temperaturas estimadas e observadas, na estação chuvosa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação ao erro admitido para a amostra de imagens selecionada, obteve-se para o período chuvoso o valor de 25,70%, e para o período seco igual a 18,31%. Considerando-se todas as imagens selecionadas, o erro máximo foi de 14,82%.

Verificou-se a exatidão e a precisão por meio do cálculo das estatísticas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 -Validação dos dados de temperatura do satélite Landsat 8 e da estação meteorológica

Estação	REQM (°C)	EMA (°C)	IC	ICmod	R²	r
Chuvosa	2,78	2,36	0,43	0,25	0,07	0,26
Seca	1,78	1,40	0,94	0,76	0,91	0,95
Total	2,20	1,75	0,90	0,68	0,77	0,88

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Tabela 2, os valores da estação chuvosa não se correlacionaram tão bem quando comparados com a estação seca. O REQM e EMA da estação chuvosa foram de 2,78°C e 2,36°C, respectivamente. Na estação seca, houve uma variabilidade menor para o REQM e EMA, com resultados de 1,78°C e 1,40°C, respectivamente. Já para todo o período (Total) compreendendo as duas estações, os resultados foram de 2,20°C para REQM e 1,75°C para EMA.

Mesmo a estação chuvosa apresentando erros superiores à estação seca e à total, considera-se ainda que os valores são admissíveis na variação de temperatura entre os dados obtidos por sensoriamento e os dados observados. Estudos como o de Silva *et al.* (2020) que correlacionam a temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto com as temperaturas da estação de monitoramento sem a distinção entre estações chuvosas e secas, obtiveram uma Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) de 2,74°C, valor muito próximo ao encontrado no presente estudo para a estação chuvosa.

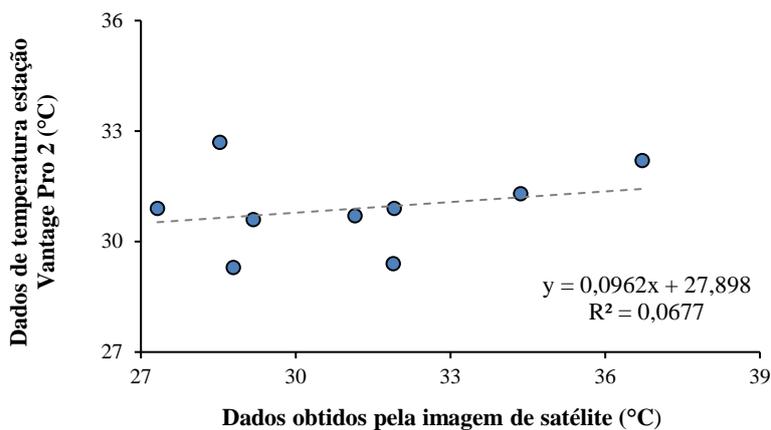
Avaliando o IC de acordo com a Tabela 2, para a estação chuvosa obteve-se um valor de 0,43, traduzindo-se numa baixa concordância entre dados estimados e observados. Contudo, para o período seco, o valor de IC obtido fora de 0,94, demonstrando para o referido período excelente concordância entre os dados. Considerando-se o período todo, o IC obtido fora de 0,90, significando a baixa influência da estação chuvosa no resultado final satisfatório para o índice de concordância.

O Índice de concordância modificado (ICmod) segue o mesmo raciocínio do IC, com resultados variando de 0 a 1, porém resultando em valores menores, já que a equação do ICmod não emprega termos quadráticos. Como dito anteriormente, para o período chuvoso

confirmou-se para o ICmod o valor reduzido já obtido para o IC, no valor de 0,25; indicando baixa concordância entre os dados. Já para a estação seca, obteve-se para o ICmod, o valor de 0,76, indicando boa concordância para os dados; o que se replicou para o período total no valor de 0,68.

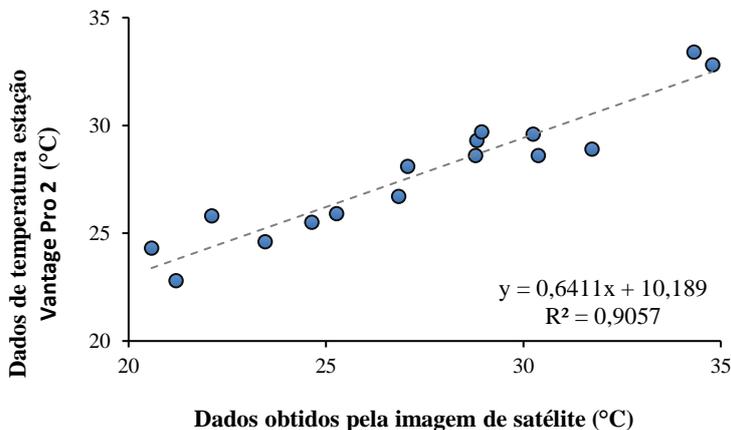
O coeficiente de determinação (R^2) foi obtido através do método de regressão linear, para as estações chuvosa, seca e total (Figuras 6, 7 e 8).

Figura 6 - Correlação dos valores de temperatura (estação chuvosa)



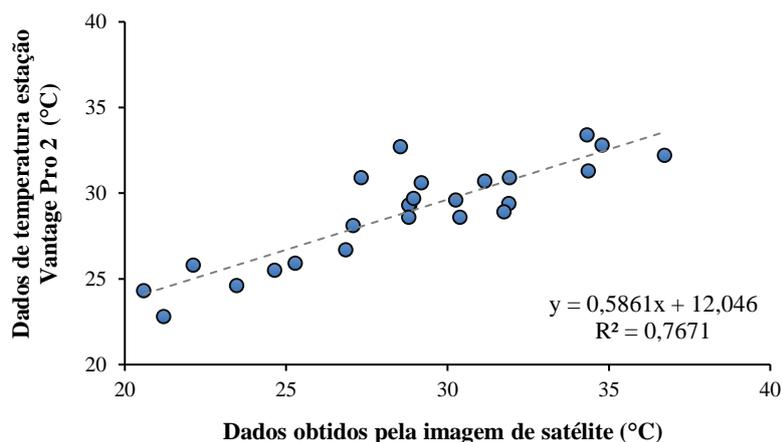
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7 - Correlação dos valores de temperatura (estação seca).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8 - Correlação dos valores de temperatura (período total)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na estação chuvosa, o coeficiente de determinação foi de aproximadamente 0,07 o que resulta em nenhuma correlação entre os dados da estação e os dados obtidos pelo Landsat 8. A estação seca obteve um R^2 de 0,91, ou seja, 91% da variação total das temperaturas observadas na estação podem ser explicados pelas temperaturas obtidas por sensoriamento. Para a correlação entre as temperaturas considerando-se todo o período analisado, obteve-se um valor inferior de R^2 , em comparação à estação seca, no valor de 0,77.

Quanto ao coeficiente de Pearson (r) o período seco e o total possuem uma ótima correlação, com valores de coeficiente de Pearson de 0,95 e 0,88, respectivamente, valores que se assemelham ao calculado no trabalho de Hofierka *et al.* (2020), que apresentou um coeficiente de Pearson de 0,88, ao comparar valores modelados da temperatura terrestre com os estimados pelo Landsat 8. Entretanto, no período chuvoso foi registrado um coeficiente de Pearson de 0,26, o que significa que não há uma boa relação linear entre os dados.

Em suma, houve coerência entre os dados obtidos da estação e os dados obtidos por sensoriamento remoto nas estações seca e total. Todavia, para o período chuvoso os resultados não foram adequados, demonstrando não haver correlação entre os dados de satélite e os observados, com exceção apenas para os valores obtidos de REQM e EMA. A reduzida correlação entre os dados de satélite e os observados no período chuvoso pode ser explicada pela dificuldade em obter imagens nesse período, já que a maioria apresenta nuvens sobre a área de estudo, diminuindo a amostra e acarretando maiores erros.

4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados na estação seca dos anos de 2015, 2017 e 2019 foram satisfatórios e comprovam que as temperaturas estimadas pelo sensoriamento remoto são diretamente relacionadas às temperaturas obtidas pela estação meteorológica presente no município de Rio Paranaíba.

Na estação chuvosa houve discrepância entre os valores estimados por sensoriamento e os dados observados, sem correlação entre os dados. Entretanto, a variação de temperatura calculada através da Raiz do Erro Quadrático Médio das temperaturas (REQM) e do Erro Médio Absoluto (EMA) resultou em valores plausíveis. Uma tentativa de melhorar os resultados encontrados na estação chuvosa seria aumentar o período de abrangência para obtenção de um maior número de imagens a serem analisadas, reduzindo o erro relativo à amostra.

Apesar da estação seca apresentar resultados de maior correlação em relação à estação chuvosa, a análise de todo o período propiciou resultados favoráveis para as métricas. Como a amostra total, que abrange todo o período de estudo, era maior e os valores de temperaturas de ambas as estações (seca e chuvosa) se intercalaram, houve um resultado coerente entre valores observados e estimados.

Espera-se que tal estudo possa contribuir na estimativa de temperaturas em locais que apresentam ausência de registros meteorológicos, tão quanto, possa auxiliar no estudo futuro com outras variáveis meteorológicas.

REFERÊNCIAS

AMAPAR. **Associação dos Municípios da Microrregião do Alto Paranaíba**. Disponível em: <http://www.amaparmg.com.br/municipio-rio-paranaiba.php/>. Acesso em: 25 maio 2020.

AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2017. <https://doi.org/10.18055/Finis6888>

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. *In*: SBSR, 11., 2003. [Anais...]. Belo Horizonte, p. 1741-1748, 2003.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100010>

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 8997, 1997.

CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M. B. P. Validação de dados termo pluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 665-671, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600013>

CIDADE-BRASIL. **Município de Rio Paranaíba**: território de Rio Paranaíba, 2020. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-rio-paranaiba.html/>. Acesso em: 30 maio de 2020.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/LandSat – 8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996>

FARIA FILHO, R. F.; GONÇALVES, R. M. L.; GOMES LUIZ, H. T. Modelos estatísticos para geração da Planta de Valores Genéricos: uma aplicação em município de pequeno porte. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180192>

FILGUEIRAS, R.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; CUNHA, A. R.; ZIMBACK, C. R. L. Predição da temperatura do ar por meio de sensoriamento remoto orbital. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 8, 2016.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

HOFIERKA, J.; GALLAY, M.; ONAČILLOVÁ, K.; HOFIERKA JR, J. Physically-based land surface temperature modeling in urban areas using a 3-D city model and multispectral satellite data. **Urban Climate**, v. 31, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100566>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**: população estimada, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-paranaiba.html/>. Acesso em: 04 maio de 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **LANDSAT**, 2020. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#wrapper/>. Acesso em: 19 jun 2020.

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. Evaluating the use of ‘goodness-of-fit’ measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v. 35, p. 233-241, 1999. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>

LEITE, E. S.; OLIVEIRA, L. A.; BORGES, W. C. Análise do comportamento de temperatura de superfície na malha urbana de Araxá/MG, utilizando-se banda termal do satélite Landsat 8. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava – PR, v.12, p. 785-792, 2016.

LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; BEZERRA, A. E. Estimativa da temperatura média do ar no estado do Ceará por meio do sensoriamento remoto. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Piauí**, v. 9, n. 2, p. 01- 18, 2020.

MENEZES FILHO, F. C. M. de; RODRIGUES, A. L. M. Avaliação do Saneamento Ambiental por meio da Proposição e Aplicação de Índices de Percepção e Satisfação Populacional. **Holos Environment (Online)**, v. 17, p. 122-137, 2017.
<https://doi.org/10.14295/holos.v17i1.12177>

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia (Online)**, v. 21, 2017. <https://doi.org/10.5380/ab-clima.v21i0.48832>

PREFEITURA DE RIO PARANAÍBA. **Rio Paranaíba**, 2020. Município. Disponível em: <http://www.rioparanaiba.mg.gov.br>. Acesso em: 29 mar. 2020.

RAMOS, A. W. P.; NEVES, S. M. A.; SILVA, G. J. **Análise, a partir de imagem Landsat 8, de ilhas de calor na cidade brasileira de Cáceres/MT**. 2017.
<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2595>

RAMPAZO, N. A. M.; PICOLI, M. C. A.; CAVALIERO, C. K. N. Comparação entre dados meteorológicos provenientes de sensoriamento remoto (modelados e de satélites) e de estações de superfície. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 412-426, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p412-426>

RASUL, A.; BALZTER, H.; SMITH, C; REMEDIOS, J.; ADAMU, B.; SOBRINO, J. A.; SRIVANIT, M.; WENG, Q. A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands. **Land**, v. 6, n. 38, 2017. <https://doi.org/10.3390/land6020038>

SANTOS, J. G.; FERREIRA, V. O. A variabilidade pluviométrica na Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG. **GeoTextos**, v. 12, n. 1, p. 233-265, 2016.
<https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v12i1.15791>

SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A.; ANDRADE, E. L.; TERAMOTO, E. T.; SIMONETTI, V. C. Análise temporal da temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto. **Holos Environment (Online)**, v. 20, p. 186-197, 2020.
<https://doi.org/10.14295/holos.v20i2.12374>

SISMET COOXUPÉ. **Estação em tempo real**, 2020. Disponível em: <http://sismet.co-oxupe.com.br:9000/estacaoOnline/>. Acesso em: 10 maio 2020.

SONNENBERG, R. K. H., SANTINELLI, E. O., ANDRADE, E. L., SIMONETTI, V. C., SILVA, D. C. C. Analysis of water parameters by remote sensing for aquaculture in reservoirs. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.10, n.3, p. 168-178, 2020.
<https://doi.org/10.29150/jhrs.v10.3.p168-178>

SOLVIS. **Cálculos de amostragem**, 2020. Disponível em: <https://www.solvis.com.br/calculos-de-amostragem/>. Acesso em: 23 jun. 2020.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat Missions**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em: 24 out. 2019.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>. Acesso em: 19. out. 2020.

VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Caracterização do fenômeno das ilhas de calor na cidade de Uberlândia – MG. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA E GESTÃO TERRITÓRIA, 1., 2018; SEMANA DE GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 34., 2018. [**Anais...**]. Londrina, p. 688-705, 2018.

VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia – MG. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 4, n. 3, p. 137-160, 2018.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981. <https://doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995– 9005, 1985. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>

XU, W.; ZOU, Y.; ZHANG, G.; LINDERMAN, M. A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 10, p. 2898-2907, 2015. <https://doi.org/10.1002/joc.4180>