

1 **AVALIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE SUPERFÍCIE OBTIDAS POR**  
2 **SENSORIAMENTO REMOTO NAS ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA**

3 <sup>(1)</sup> Leticia Gonçalves Nunes

4 <sup>(2)</sup> Frederico Carlos Martins de Menezes Filho

5 <sup>(1)</sup> Estudante de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

6 <sup>(2)</sup> Professor do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

7 Presidente da banca: Frederico Carlos Martins de Menezes Filho

8 Membro: Reynaldo Furtado Faria Filho

9 Membro: Maria Clara Fava

10 Data de defesa: 30 de abril de 2021

11 **RESUMO:** As ilhas de calor estão presentes no meio urbano e são ocasionadas pela supressão de  
12 áreas verdes e o aumento de superfícies impermeáveis que retém calor. Para a estimativa de  
13 temperatura de superfície, importante para a análise das ilhas de calor, o sensoriamento remoto  
14 destaca-se como alternativa para locais onde há carência de dados de estações meteorológicas. Dessa  
15 forma, o presente trabalho apresenta uma avaliação entre as temperaturas superficiais obtidas por  
16 imagens de satélite e as observadas na estação meteorológica Vantage Pro 2, localizada na cidade de  
17 Rio Paranaíba – MG. Para verificar a correlação entre as mesmas nas estações seca e chuvosa, foram  
18 calculados: Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), Erro Médio Absoluto (EMA), Índice de  
19 Concordância (IC), Índice de Concordância modificado (ICmod), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e  
20 o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Apesar da estação seca apresentar resultados de maior  
21 correlação (IC= 0,94;  $R^2= 0,91$ ;  $r= 0,95$ ) em relação à estação chuvosa (IC =0,76;  $R^2= 0,07$ ;  $r= 0,26$ ),  
22 a análise de todo o período propiciou resultados favoráveis para as métricas (IC=0,90;  $R^2=0,77$ ;  
23  $r=0,88$ ). Tal resultado corrobora a utilização do sensoriamento remoto como alternativa para  
24 aquisição de dados de temperatura de superfície em locais com falhas nos registros ou ausência de  
25 dados de estações meteorológicas.

26 **PALAVRAS-CHAVE:** Geoprocessamento, Landsat 8, Temperatura Superficial.

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

29 **ABSTRACT:** *Heat islands are present in the urban environment and are caused by the suppression*  
30 *of green areas and the increase of impermeable surfaces that retain heat. To estimate surface*  
31 *temperature, remote sensing stands out as an alternative for places where there is a lack of data from*  
32 *meteorological stations. Thus, this work presents an assessment between the surface temperatures*

33 *obtained by satellite imagery and those observed at the weather station Vantage Pro 2, located in the*  
34 *municipality of Rio Paranaíba – MG. To verify the correlation between them in the dry and rainy*  
35 *seasons, the Root of the Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Index of*  
36 *Agreement (d), Modified Index of Agreement (d'1), coefficient of determination (R<sup>2</sup>) and Pearson's*  
37 *correlation coefficient (r) were calculated. Despite the dry season showing results of greater*  
38 *correlation (d = 0.94; R<sup>2</sup> = 0.91; r = 0.95) in relation to the rainy season (d = 0.76; R<sup>2</sup> = 0.07; r =*  
39 *0, 26), the analysis of the entire period provided favorable results for the metrics (d = 0.90; R<sup>2</sup> =*  
40 *0.77; r = 0.88). This result corroborates the use of remote sensing as an alternative for acquiring*  
41 *surface temperature data in locations with faulty of records or lack of data from weather stations.*

42 **KEYWORDS:** *Geoprocessing, Landsat 8, Surface Temperature.*

## 43 **1. INTRODUÇÃO**

44 Nas últimas décadas, a ocupação intensa e não planejada das áreas urbanas propiciou o aumento  
45 de temperatura provocando fenômenos climáticos, como as ilhas de calor (BIAS; BAPTISTA;  
46 LOMBARDO, 2003). Tais ilhas causam grande desconforto térmico por meio da geração de  
47 microclimas urbanos (VIEIRA; MACHADO, 2018). São originadas em áreas urbanas e suburbanas  
48 pela intensa absorção e retenção de calor pelos materiais presentes; diferenciando-se quando  
49 comparados aos materiais naturais em áreas rurais (GARTLAND, 2010).

50 Embora a maioria dos estudos relacionados à elevação da temperatura devido às ilhas de calor  
51 seja feito em grandes centros urbanos, as cidades de médio e pequeno porte também sofrem com esses  
52 efeitos (AMORIM, 2019).

53 O aumento da temperatura ocasionado pelas ilhas de calor pode ser um agravante para  
54 problemas de saúde da população. Para amenizar os efeitos causados pelas ilhas de calor uma solução  
55 é a aplicação de infraestrutura verde nas áreas urbanas (RAMOS; NEVES; SILVA, 2017). As áreas  
56 com vegetação além de alterar os índices de calor, beneficiam a manutenção da umidade relativa do  
57 ar. Contribui também para a hidrologia urbana, visto que possibilita a infiltração das águas pluviais  
58 reduzindo o escoamento superficial. Portanto, as áreas com vegetação possibilitam a mitigação dos  
59 problemas relacionados ao manejo das águas pluviais (SILVA, 2014).

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

63 De acordo com Coelho e Corrêa (2013), os dados e técnicas de sensoriamento remoto são  
64 usados em estudos de uso e cobertura do solo, crescimento urbano, conforto térmico, ilhas de calor,

65 entre outros. Na literatura, várias técnicas têm sido aplicadas para analisar mudanças de temperatura  
66 na superfície terrestre baseando-se em imagens de satélite (RASUL et al., 2017).

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

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

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

78 Estudos como os de Silva *et al.* (2020), Rampazo, Picoli e Cavaliero (2019) e Lima, Oliveira e  
79 Bezerra (2020), comparam dados climáticos provenientes do sensoriamento remoto com os dados  
80 climáticos convencionais (temperatura superficial, radiação, umidade relativa, velocidade do vento e  
81 precipitação), obtidos por estações meteorológicas. Em todos os trabalhos citados os resultados foram  
82 satisfatórios, com forte correlação entre os dados estimados através do sensoriamento remoto e os  
83 dados obtidos por estações meteorológicas.

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

88 No presente trabalho, tomou-se como estudo de caso o município de Rio Paranaíba-MG,  
89 localizado na região do Alto Paranaíba. Tal município passou por um crescimento populacional de  
90 15,3% no período de 2007 a 2017 (MENEZES FILHO e RODRIGUES, 2017), após a instalação de  
91 um *campus* universitário da Universidade Federal de Viçosa, o que gerou além da expansão da  
92 urbanização uma forte demanda sobre os equipamentos urbanos, como saúde, transporte e  
93 saneamento.

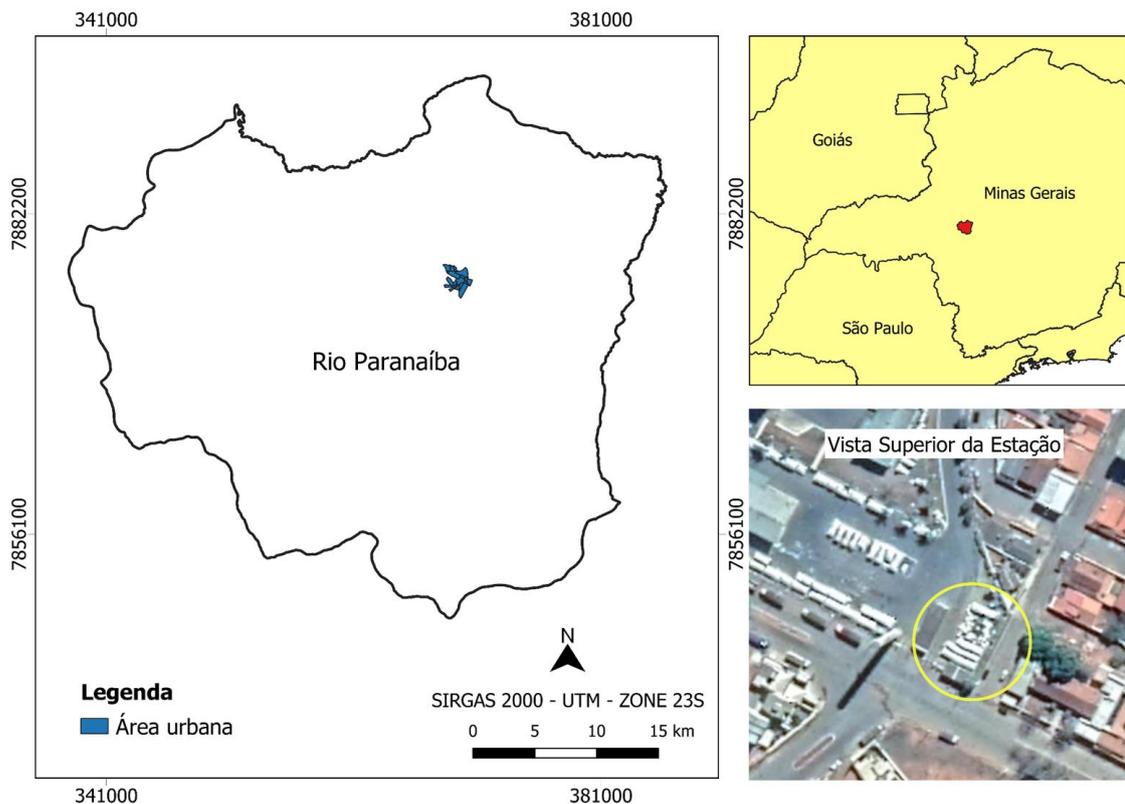
94 Destarte, o objetivo deste estudo foi avaliar a correlação entre as temperaturas de superfície  
95 estimadas por meio das imagens do satélite Landsat 8 e as temperaturas registradas por uma estação  
96 meteorológica Vantage Pro 2 nas estações seca e chuvosa, presente no município de Rio Paranaíba-  
97 MG.

98 **2. METODOLOGIA**

99 **2.1 Área de estudo**

100 Rio Paranaíba é um município brasileiro localizado no estado de Minas Gerais, situado na  
101 Mesorregião do Alto Paranaíba, distante 350km da capital Belo Horizonte (PREFEITURA DE RIO  
102 PARANAÍBA, 2020). O referido município tem área de 1.352,353 km<sup>2</sup> e população estimada de  
103 12.313 habitantes (IBGE, 2019). A densidade populacional é de aproximadamente 9,11 hab./km<sup>2</sup>  
104 (AMAPAR, 2020).

105 A altitude média da cidade é de 1.076 metros e suas coordenadas geográficas sexagesimais são:  
106 latitude 19° 11' 39" Sul e longitude 46° 14' 37" Oeste (CIDADE-BRASIL, 2020). A precipitação  
107 média do Alto Paranaíba é de 1.480 mm anuais (SANTOS; FERREIRA, 2016) e o bioma que abrange  
108 a cidade de Rio Paranaíba é o cerrado (IBGE, 2019). Apesar de ser um município de pequeno porte,  
109 Rio Paranaíba possui um *campus* da Universidade Federal de Viçosa, o que leva a cidade a possuir  
110 uma população flutuante. Como consequência, desde 2006, quando a Universidade foi instalada na  
111 cidade, impulsionou-se um crescimento da malha urbana, sem o devido planejamento. Devido à maior  
112 parte da área do município ser rural, restringiu-se o estudo à área urbana, foco deste estudo,  
113 representada na Figura 1.



114  
115

Figura 1 – Mapa de localização. Fonte: Elaborado pelos autores.

## 116 2.2 Procedimentos metodológicos

117 Os dados de temperatura registrados no município foram obtidos da estação meteorológica  
118 Vantage Pro 2, localizada na Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé (Cooxupé). A  
119 estação entrou em operação no ano de 2002, com os registros de temperatura, umidade relativa,  
120 pressão, radiação solar, precipitação e velocidade do vento. A altitude da estação é de 1.120 metros,  
121 com localização nas coordenadas geográficas sexagesimais: latitude 19° 11' 46" Sul e longitude 46°  
122 14' 07.4" Oeste (SISMET COOXUPÉ, 2020).

123 O trabalho foi desenvolvido com imagens do Landsat 8, sendo este o satélite mais empregado  
124 em trabalhos dessa natureza. Dessa forma foi possível comparar os resultados encontrados com os de  
125 outros autores, como Silva *et al.* (2020), Lima, Oliveira e Bezerra (2020) e Hofierka *et al.* (2020).  
126 Utilizando as imagens do satélite Landsat 8, obtidas através do *United States Geological Survey*  
127 (USGS, 2019), foi possível estimar as temperaturas superficiais nas estações seca e chuvosa para os  
128 anos de 2014 - 2015, 2016 - 2017 e 2019.

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

131 Nas estações seca e chuvosa verificou-se a presença de nuvens sobre a área de estudo, reduzindo  
132 o número de imagens disponíveis. Portanto, adotou-se como critério de seleção, imagens que não  
133 tivessem nuvens sobre a área de estudo e que possuísem o valor máximo de 50% de cobertura de  
134 nuvens.

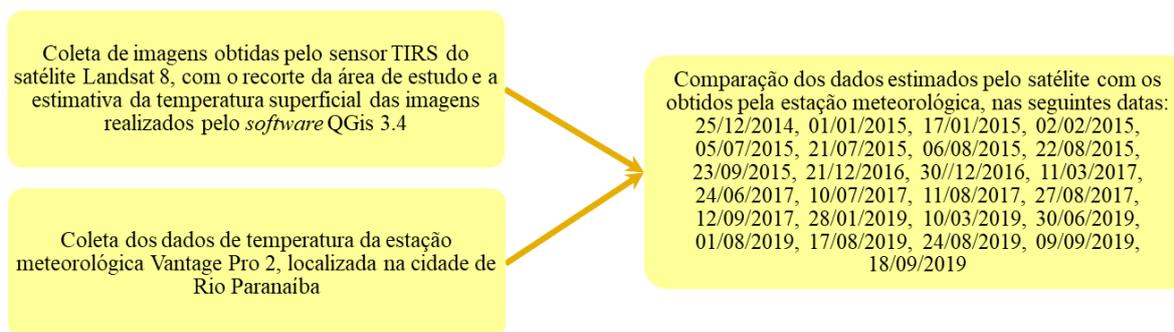
135 Para analisar a representatividade da amostra em relação às imagens disponíveis, admitindo-se  
136 um nível de confiança de 95%, utilizou-se a calculadora de amostragem Solvis. O resultado se dá por  
137 análise de uma parcela do objeto de estudo (SOLVIS, 2020). O cálculo foi feito correlacionando os  
138 seguintes dados: o grupo (imagens disponíveis), a amostra (imagens utilizadas) e o nível de confiança;  
139 obtendo como resultado o erro máximo admitido.

140 A reprojeção das coordenadas, o recorte da área de estudo e a estimativa da temperatura  
141 superficial das imagens foram realizados utilizando-se o *software* QGIS 3.4. O *shapefile* do município  
142 de Rio Paranaíba usado para auxílio no recorte da área de estudo foi baseado no trabalho de Faria  
143 Filho, Gonçalves e Gomes Luiz (2019).

144 Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma resumindo as etapas do presente trabalho.

145

Figura 2 – Etapas principais.



146

147

Fonte: Elaborado pelos autores.

148

149

150

151

Para o cálculo das temperaturas da superfície por sensoriamento remoto, através da calculadora raster do QGis 3.4, utilizou-se a banda infravermelho termal do sensor TIRS (banda 10), com resolução espacial de 100 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):

152

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (1)$$

153

Onde:

154

Lλ: Radiância espectral do sensor de abertura em Watts/(m<sup>2</sup>.sr.μm);

155

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

156

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

157

Qcal: Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10.

158

159

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

160

$$Tk = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

161

Onde:

162

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

163

K2: Constante de calibração 2 = 1.321,08 (K);

164

K1: Constante de calibração 1 = 774,89 (K).

165

166

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

167

$$Tc = Tk - 273,15 \quad (3)$$

168 Onde:

169 Tc: Temperatura em graus Celsius.

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

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

### 178 **2.3 Exatidão e precisão dos dados de sensoriamento remoto**

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

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

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

$$190 \quad REQM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

191 Onde:

192 REQM: Raiz do Erro Quadrático Médio;

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

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

195 n: Número de observações.

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

$$200 \quad EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Ei - Oi|}{n} \quad (5)$$

201 Onde:

202 EMA: Erro Médio Absoluto.

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

$$207 \quad IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Ei - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}|)^2} \quad (6)$$

208 Onde:

209 IC: Índice de Concordância;

210  $\bar{O}$ : Média aritmética dos valores observados pela estação meteorológica Vantage Pro 2.

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

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

$$217 \quad IC_{mod} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Ei - Oi|}{\sum_{i=1}^n (|Ei - \bar{O}| + |Oi - \bar{O}|)} \quad (7)$$

218 Onde:

219 IC<sub>mod</sub>: Índice de Concordância modificado.

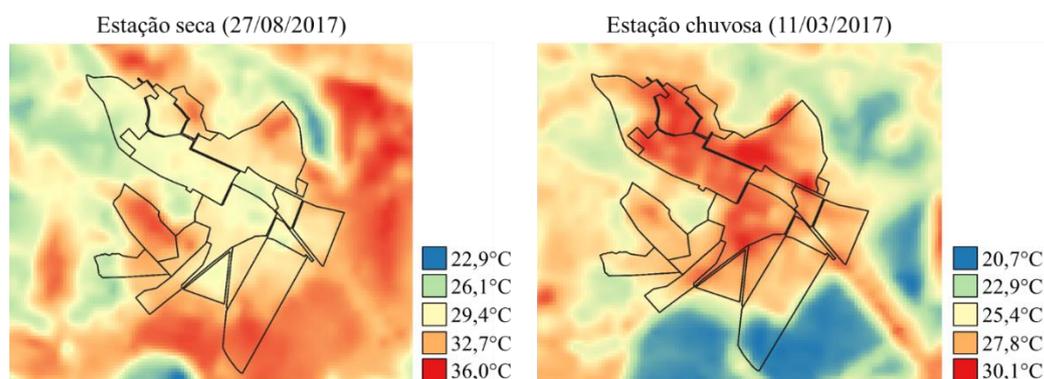
220 Através da regressão linear entre os dados de temperaturas obtidos por sensoriamento e os dados  
221 observados pela estação meteorológica, foi possível determinar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

222 Por fim, outra métrica para avaliar a correlação entre os dados observados e estimados é o  
 223 coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) dado pela raiz quadrada de  $R^2$ , que é uma medida de  
 224 associação linear entre variáveis. Seu valor varia de -1 a 1, com o sinal indicando correlação positiva  
 225 ou negativa entre as variáveis (dados observados e estimados). Valores próximos a unidade negativa  
 226 ou positiva indicam correlação perfeita. Já valores próximos a zero, correspondem à nenhuma relação  
 227 linear entre as variáveis.

### 228 3. RESULTADOS

229 Foram obtidas 57 imagens capturadas pelo satélite Landsat 8 durante as estações seca e chuvosa  
 230 para os anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2019. Entretanto, devido aos critérios de seleção adotados,  
 231 apenas 25 imagens foram consideradas satisfatórias para o estudo. Na Figura 3 apresentam-se, como  
 232 exemplo, os mapas com as temperaturas de superfície obtidas pela utilização das imagens do Landsat  
 233 8.

234 Figura 3 – Temperatura de superfície nas estações seca e chuvosa para o ano de 2017.



235  
 236 Fonte: Elaborado pelos autores.

237 Na Tabela 1, apresenta-se a quantidade de imagens disponíveis e utilizadas para as estações  
 238 seca e chuvosa, confirmando a quantidade superior de imagens utilizadas para o primeiro período.

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

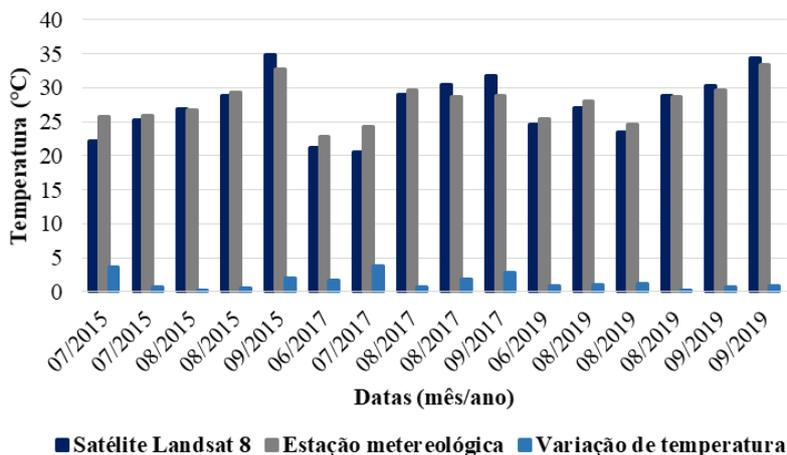
Estação	Imagens disponíveis	Imagens Utilizadas	
	Quantidade	Quantidade	%
Chuvosa	22	9	40,91
Seca	35	16	45,71
Total	57	25	43,86

240 Fonte: Elaborado pelos autores.

241 A Figura 4 mostra a comparação entre as temperaturas estimadas e as observadas, bem como,  
 242 a variação em módulo destes dados, na estação seca. Nesta época do ano, as imagens são limpas,

243 praticamente sem nuvens, possibilitando um maior número para análise. Já na estação chuvosa há  
 244 uma redução da disponibilidade de imagens pela presença de nuvens e sombras.

245 Figura 4 – Comparação entre temperaturas estimadas e observadas, na estação seca.

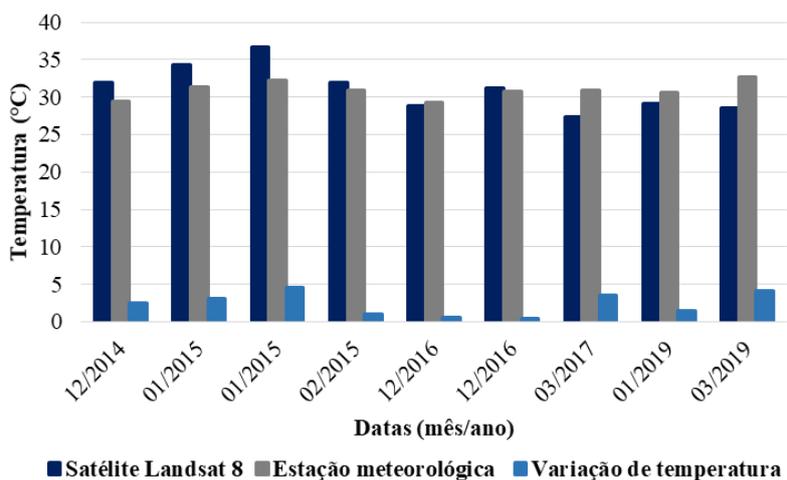


246  
247

Fonte: Elaborado pelos autores.

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

251 Figura 5 – Comparação entre temperaturas estimadas e observadas, na estação chuvosa.



252  
253

Fonte: Elaborado pelos autores.

254 Em relação ao erro admitido para a amostra de imagens selecionada, calculado através da  
 255 calculadora de amostragem Solvis (SOLVIS, 2020), obteve-se para o período chuvoso o valor de  
 256 25,70%, e para o período seco igual a 18,31%. Considerando-se todas as imagens selecionadas, o erro  
 257 máximo foi de 14,82%.

258 Verificou-se a exatidão e a precisão por meio do cálculo das estatísticas apresentadas na Tabela  
 259 2.

260

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

<b>Estação</b>	<b>REQM (°C)</b>	<b>EMA (°C)</b>	<b>IC</b>	<b>ICmod</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>r</b>
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

261

Fonte: Elaborado pelos autores.

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

De acordo com a Tabela 2, os valores das estatísticas utilizadas apontam reduzida correlação para a estação chuvosa 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.

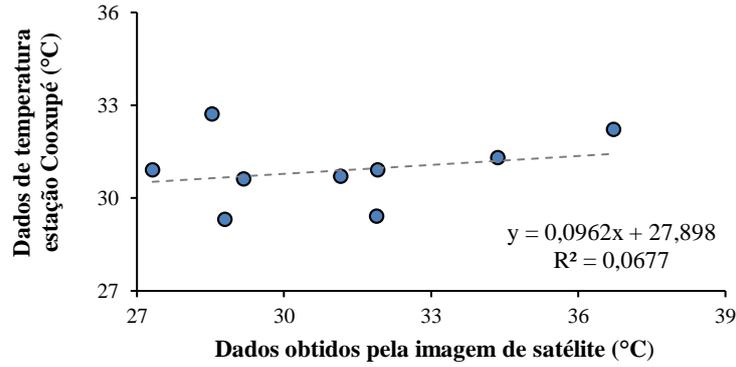
Avaliando o IC de acordo com a Tabela 2, para a estação chuvosa obteve-se um valor de 0,43, traduzindo-se numa baixa concordância entre dados estimados e observados. Contudo, para o período seco, o valor de IC obtido foi de 0,94, demonstrando para o referido período excelente concordância entre os dados. 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<sup>2</sup>) foi obtido através da regressão linear, para as estações chuvosa, seca e total (Figuras 6, 7 e 8).

287

Figura 6 – Correlação dos valores de temperatura (estação chuvosa).



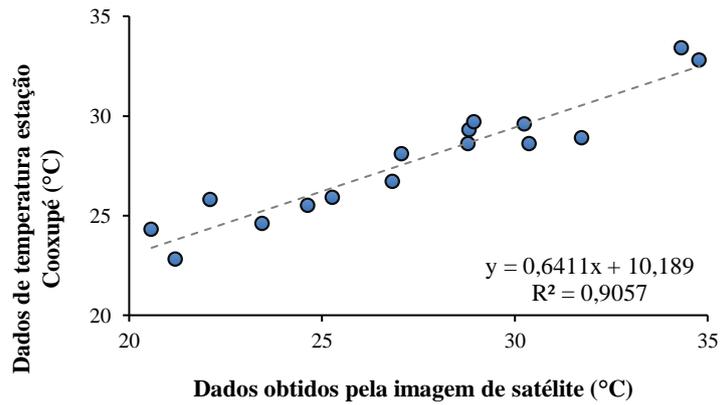
288

289

Fonte: Elaborado pelos autores.

290

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



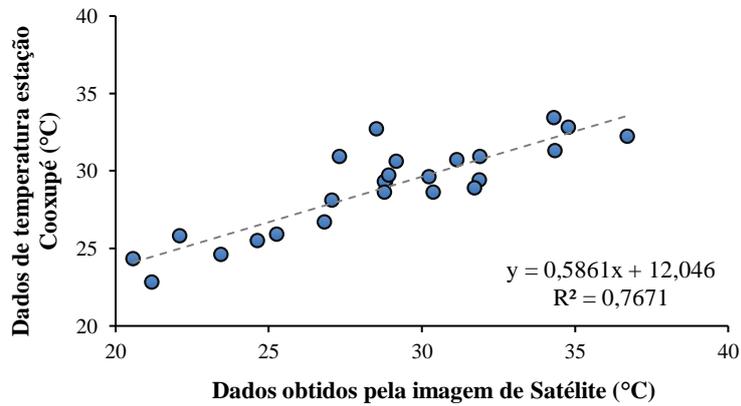
291

292

Fonte: Elaborado pelos autores.

293

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



294

295

Fonte: Elaborado pelos autores.

296

297

298

299

Na estação chuvosa, o coeficiente de determinação foi de aproximadamente 0,07 indicando nenhuma correlação entre os dados da estação e os dados obtidos pelo Landsat 8. Para a regressão linear na estação seca obteve-se um  $R^2$  de 0,91, ou seja, 91% da variação total das temperaturas observadas no referido período podem ser explicados pelas temperaturas obtidas por sensoriamento.

300 O valor de  $R^2$  calculado para a estação seca se aproxima ao que foi obtido no trabalho de Lima,  
301 Oliveira e Bezerra (2020), com um  $R^2$  de 0,9614, onde usou-se imagens do Landsat 8 na estação seca  
302 nos anos de 2013 e 2014. Para a correlação entre as temperaturas considerando-se todo o período  
303 analisado, obteve-se um valor inferior de  $R^2$ , em comparação à estação seca, no valor de 0,77.

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

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

#### 317 4. CONCLUSÕES

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

321 Na estação chuvosa houve discrepância entre os valores estimados por sensoriamento e os  
322 dados observados, sem correlação entre os dados. Entretanto, a variação de temperatura calculada  
323 através da Raiz do Erro Quadrático Médio das temperaturas (REQM) e do Erro Médio Absoluto  
324 (EMA) resultou em valores plausíveis.

325 Devido aos resultados da estação chuvosa não apresentarem resultados favoráveis quando  
326 analisados do ponto de vista estatístico, uma alternativa seria descartá-lo da amostra total, utilizando  
327 apenas imagens do período seco para futuros estudos.

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

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

## 335   **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

338  
339   **AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de**  
340   **porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia, 2017.

341  
342   **AMORIM, M.C.C.T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise.** Revista Brasileira de  
343    Climatologia, Presidente Prudente, 2019.

344  
345   **BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor**  
346   **urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte,  
347    p. 1741-1748, 2003.

348  
349   **BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B.**  
350   **M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia.**  
351    Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.

352  
353   **CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de**  
354   **estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo,**  
355   **Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, p. 8997, 1997.

356  
357   **CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M. B. P.**  
358   **Validação de dados termo pluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de**  
359   **São Paulo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, n. 6, p.  
360    665-671, 2013.

361  
362   **CIDADE-BRASIL. Município de Rio Paranaíba: território de Rio Paranaíba, 2020.** Disponível  
363    em: < <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-rio-paranaiba.html/>>. Acesso em: 30 de mai. de  
364    2020.

365  
366   **COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor**  
367   **TIRS/LandSat – 8: metodologia e aplicações.** Revista Geográfica Acadêmica, v. 7, n. 1, p. 31-45,  
368    2013.

369  
370   **FARIA FILHO, R. F.; GONÇALVES, R. M. L.; GOMES LUIZ, H. T. Modelos estatísticos para**  
371   **geração da Planta de Valores Genéricos: uma aplicação em município de pequeno porte.** Revista  
372    Brasileira de Gestão Urbana, 2019.

373  
374   **FILGUEIRAS, R.; NICOLETE, D. A. P.; CARVALHO, T. M.; CUNHA, A. R.; ZIMBACK, C. R.**  
375   **L. Predição da temperatura do ar por meio de sensoriamento remoto orbital.** Revista Brasileira  
376    de Cartografia, v. 68, n. 8, 2016.

377  
378   **GARTLAND, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** 1. ed. São Paulo:  
379    Oficina de textos, 2010.

380 HOFIERKA, J.; GALLAY, M.; ONAČILLOVÁ, K.; HOFIERKA JR, J. Physically-based land  
381 surface temperature modeling in urban areas using a 3-D city model and multispectral satellite data.  
382 **Urban Climate**, v. 31, 2020.  
383

384 IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados:  
385 População estimada**, 2019. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-  
386 paranaiba.html/](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/rio-paranaiba.html/)>. Acesso em: 04 de mai. de 2020.  
387

388 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **LANDSAT**, 2020. Disponível em:  
389 <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#wrapper/>>. Acesso em: 19, jun de 2020.  
390

391 LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. **Evaluating the use of ‘goodness-of-fit’ measures in hydrologic  
392 and hydroclimatic model validation**. Water Resources Research, v. 35, p. 233-241, 1999.  
393

394 LEITE, E. S.; OLIVEIRA, L. A.; BORGES, W. C. **Análise do comportamento de temperatura de  
395 superfície na malha urbana de Araxá/MG, utilizando-se banda termal do satélite Landsat 8**.  
396 Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava – PR, v.12, p. 785-792, 2016.  
397

398 LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; BEZERRA, A. E. **Estimativa da temperatura média do ar  
399 no estado do ceará por meio do sensoriamento remoto**. Revista do Programa de Pós-Graduação  
400 em Geografia da Universidade Federal do Piauí, v. 9, n. 2, p. 01- 18, 2020.  
401

402 MENEZES FILHO, F. C. M. de; RODRIGUES, A. L. M. **Avaliação do Saneamento Ambiental  
403 por meio da Proposição e Aplicação de Índices de Percepção e Satisfação Populacional**. Holos  
404 Environment (Online), v. 17, p. 122-137, 2017.  
405

406 PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. **Procedimentos  
407 metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte**. Revista  
408 Brasileira de Climatologia (Online), v. 21, 2017.  
409

410 PREFEITURA DE RIO PARANAÍBA. **Rio Paranaíba**, 2020. Município. Disponível em: <  
411 <http://www.rioparanaiba.mg.gov.br/>>. Acesso em: 29 de mar. de 2020.  
412

413 RAMOS, A. W. P.; NEVES, S. M. A.; SILVA, G. J. **Análise, a partir de imagem Landsat 8, de  
414 ilhas de calor na cidade brasileira de Cáceres/MT**. 2017.  
415

416 RAMPAZO, N. A. M.; PICOLI, M. C. A.; CAVALIERO, C. K. N. **Comparação entre dados  
417 meteorológicos provenientes de sensoriamento remoto (modelados e de satélites) e de estações  
418 de superfície**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 2, p. 412-426, 2019.  
419

420 RASUL, A.; BALZTER, H.; SMITH, C; REMEDIOS, J.; ADAMU, B.; SOBRINO, J. A.;  
421 SRIVANIT, M.; WENG, Q. **A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands**. Land,  
422 v. 6, n. 38, 2017.  
423

424 SANTOS, J. G.; FERREIRA, V. O. **A variabilidade pluviométrica na Mesorregião do Triângulo  
425 Mineiro/Alto Paranaíba-MG**. GeoTextos, vol. 12, n. 1, p. 233-265, 2016.  
426

427 SILVA, J.A. **A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais**. Cadernos de  
428 graduação Ciências Humanas e Sociais Unit. Aracaju, v. 2, n. 2, p. 197-207, 2014.

429 SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A.; ANDRADE, E. L.; TERAMOTO, E. T.; SIMONETTI, V. C.  
430 **Análise temporal da temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto.** *Holos*  
431 *Environment (Online)*, v. 20, p. 186-197, 2020.  
432  
433 SISMET COOXUPÉ. **Estação em tempo real**, 2020. Disponível em: <  
434 <http://sismet.cooxupe.com.br:9000/estacaoOnline/>>. Acesso em: 10 de mai. de 2020.  
435  
436 SONNENBERG, R. K. H., SANTINELLI, E. O., ANDRADE, E. L., SIMONETTI, V. C., SILVA,  
437 D. C. C. **Analysis of water parameters by remote sensing for aquaculture in reservoirs.** *Journal*  
438 *of Hyperspectral Remote Sensing*, v.10, n.3, p. 168-178, 2020.  
439  
440 SOLVIS. **Cálculos de amostragem**, 2020. Disponível em: < [https://www.solvis.com.br/calculos-de-](https://www.solvis.com.br/calculos-de-amostragem/)  
441 [amostragem/](https://www.solvis.com.br/calculos-de-amostragem/)>. Acesso em: 23 de jun. de 2020.  
442  
443 USGS (United States Geological Survey). **Landsat Missions.** Disponível em:  
444 <<http://landsat.usgs.gov>>. Acesso em: 24 de out. de 2019.  
445  
446 USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product.**  
447 Disponível em: <[https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product)  
448 [data-product](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product)> Acesso em: 19. out. de 2020.  
449  
450 VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. **Caracterização do fenômeno das ilhas de calor na cidade de**  
451 **Uberlândia – MG.** Londrina: I Simpósio Nacional de Geografia e Gestão Territorial e XXXIV  
452 *Semana de Geografia da Universidade Estadual de Londrina*, p. 688-705, 2018.  
453  
454 VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. **Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a**  
455 **Uberlândia – MG.** Londrina: *Geographia Opportuno Tempore*, v. 4, n. 3, p. 137-160, 2018.  
456  
457 WILLMOTT, C. J. **On the validation of models.** *Physical Geography*, v. 2, p. 184-194, 1981.  
458  
459 WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.;  
460 LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. **Statistics for the evaluation and comparison**  
461 **of models.** *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995– 9005, 1985.  
462  
463 XU, W.; ZOU, Y.; ZHANG, G.; LINDERMAN, M. **A comparison among spatial interpolation**  
464 **techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China.** *International Journal of*  
465 *Climatology*, v. 35, n. 10, p. 2898-2907, 2015.