



## ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE A UMIDADE DO SOLO, A TEMPERATURA DOS ALVOS E A PRESENÇA DE VEGETAÇÃO EM NATAL (RN)

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020553-569>



Aline Pereira Lima<sup>1</sup>

### RESUMO

O desenvolvimento sustentável das cidades depende da forma como elas são organizadas e construídas, pois o uso e ocupação da terra pelas atividades antrópicas provoca impactos nos processos e dinâmicas da natureza, inclusive nos de caráter climático. Dentre os fatores relacionados ao clima, a temperatura merece destaque principalmente em se tratando de localidades tropicais, cujas altas temperaturas ao longo do ano afetam diretamente a vida das pessoas. A umidade do solo é um dos aspectos de interesse nesse sentido, pois influencia tanto a temperatura da superfície quanto a vegetação. Sob essa perspectiva, este trabalho teve por objetivo verificar a relação entre a disponibilidade de água no solo, a temperatura dos alvos e a presença de vegetação para a cidade de Natal (RN), isto por meio da confecção e estudo respectivamente: (a) do balanço hídrico climatológico (Thorntwaite & Matter, 1995); (b) da carta de intensidade de temperatura ( $\Delta TS$ -°C), e (c) da carta do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (feitas com uso de técnicas de Sensoriamento Remoto). Os resultados demonstraram que mesmo com a escassez hídrica, que tende a amenizar o cenário térmico e diminuir a biomassa vegetativa, foram encontradas na zona urbana intensidades médio-altas (maiores que 6°C) dentro da escala. Além disso, ficou evidenciado o papel determinante da vegetação, através dos exemplos das Zonas de Proteção Ambiental (ZPAs), para o desenvolvimento de ambientes mais equilibrados termicamente, pois elas apresentaram valores mais elevados de NDVI (acima de 0,5) e menores intensidades de temperatura, em comparação com áreas urbanizadas.

**Palavras-chave:** Temperatura dos alvos. Umidade do solo. NDVI. Natal (RN).

<sup>1</sup> Doutoranda em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP - Campus de Presidente Prudente (SP). E-mail: [alineprlima@gmail.com](mailto:alineprlima@gmail.com)

## **STUDY OF RELATION BETWEEN SOIL HUMIDITY, TARGET TEMPERATURE AND VEGETATION PRESENCE IN NATAL (RN)**

### **ABSTRACT**

The sustainable development of cities depends on how they are organized and constructed because land use by anthropic activities generate impacts on natural processes and dynamics, including those of climatic type. Among those factors related to climate, the temperature must be highlighted mainly dealing with tropical localities, where high temperatures throughout the year affect directly people lives. The soil humidity is one of the aspects of interest about it because it influences both surface temperature and vegetation. In this context, this work have objected to check the relation between the water availability in soil, the targets temperature and the vegetation presence for the city of Natal (RN), by means of elaboration and study respectively of the: (a) climatological water balance (Thornthwaite & Matter, 1995); (b) temperature intensity map ( $\Delta TS-^{\circ}C$ ), and (c) Normalized Difference Vegetation index (NDVI) (using Remote Sensing). The results showed that even with hydrical stress, that tends to make softer the thermic scenario and decrease vegetal biomass, it were found medium-high temperatures intensities in the urban area (bigger than  $6^{\circ}C$ ) in the scale. Moreover, it was demonstrated the important role of vegetation, by the example of Environmental Protect Zones (EPZs), to the development of areas more thermically equilibrated, because they showed values more elevated od NDVI (higher than 0.5) and lower temperature intensities, in comparison with urbanized areas.

**Key words:** Target temperature, Soil humidity, NDVI, Natal (RN).

### **1 INTRODUÇÃO**

As intensas atividades humanas têm contribuído para a ocorrência de mudanças no uso e ocupação da terra, provocando alterações nos processos naturais, inclusive nos de cunho climático. Sob essa perspectiva, torna-se necessário compreender essas transformações e de que maneira elas afetam a qualidade do meio e a vida das pessoas. Em função da maioria da população mundial, e também da brasileira, viver em ambientes urbanos atualmente, as cidades têm papel fundamental na realização do desenvolvimento sustentável, visando um equilíbrio entre as atividades da sociedade e os demais elementos, dinâmicas e recursos da natureza. Um dos fatores de interesse dentro desse contexto é a disponibilidade de água no solo, que pode ser

representada pelo balanço hídrico climatológico, que considera tanto os ganhos de massa hídrica por precipitação, quanto as perdas por evapotranspiração; e possibilita ainda identificar deficiências e excedentes hídricos (THORNTHWAITE & MATTER, 1995).

A umidade, por sua vez, contribui para a variação de outro elemento de forte influência na vida das pessoas e na natureza, a temperatura. Nesse sentido, uma das formas, dentre outras, de se investigar a temperatura dos alvos da superfície, é por meio do uso do sensoriamento remoto. Trata-se de tecnologias que de acordo com Jensen (2009), permitem a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico direto, através de sensores que coletam a energia proveniente do alvo. Esses estudos se tornam ainda mais relevantes em cenários com médias térmicas elevadas, à exemplo de cidades tropicais, como mostram trabalhos de Amorim (2017; 2018).

A quantidade de água também é determinante para o desenvolvimento da vegetação, sendo o metabolismo das plantas, de maneira recíproca, determinante para a disponibilidade do recurso hídrico no meio. Por isso, a densidade de vegetação, que pode ser estimada através do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), contribui para o quadro térmico, além de ser variável conforme os processos de uso e ocupação da terra. A partir desse contexto, este trabalho teve por objetivo realizar o balanço hídrico climatológico, identificando os períodos de excedente e deficiência hídrica, para a área de Natal (RN), bem como gerar as cartas de intensidade da temperatura de superfície ( $\Delta TS$ ) e de NDVI para a área urbana deste município; a fim de verificar a relação entre a disponibilidade de água no solo, as temperaturas dos alvos e a presença de vegetação.

### **1.1 Área de Estudo**

O município de Natal localiza-se no nordeste do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1), sob as coordenadas UTM 256272E 9360720S (WGS-84). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística<sup>2</sup> (IBGE) apresenta população de aproximadamente 877 mil habitantes, área territorial em torno de 167 mil km<sup>2</sup> e vestígios de vegetação constituída pelo Bioma Mata Atlântica e Caatinga. Conforme

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/natal/panorama>>. Acesso em 01 dez. 2018.

a classificação de Köppen o clima de Natal é do tipo As, caracterizado como tropical com estação seca no verão.

Figura 1: Localização do município de Natal (RN). Fonte da Imagem de satélite: Adaptado de Google Earth, 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Natal tem como limite ao Norte, o município de Extremoz, à oeste, os municípios de São Gonçalo do Amrante e Macaíba, e mais ao Sul, o município de Parnamirim. À leste de Natal está localizado o Oceano Atlântico, e ainda em termos de hidrografia, o rio Rio Potengi percorre o território de leste a oeste, dividindo-os em duas regiões.

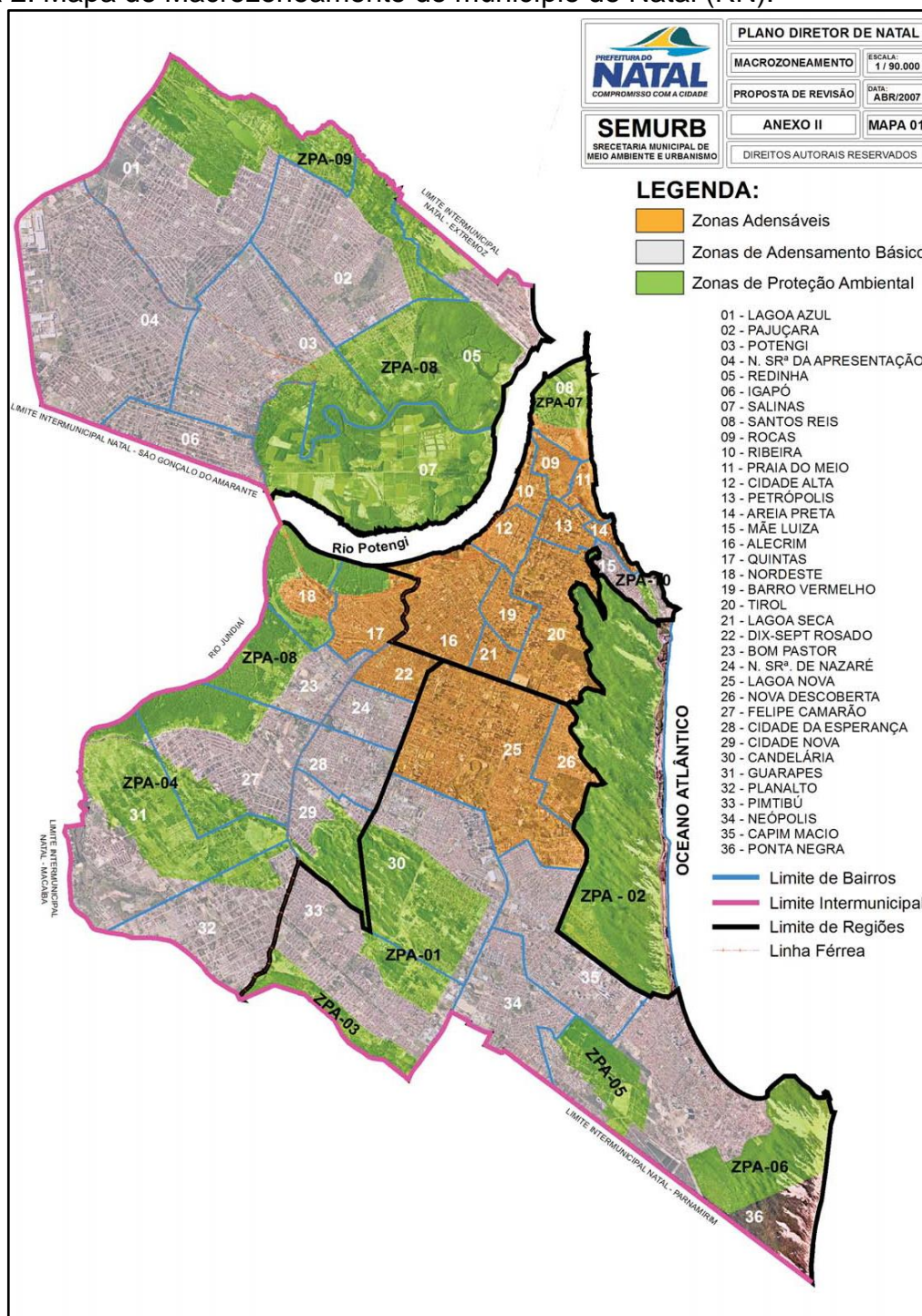
As principais atividades econômicas desenvolvidas no município são o turismo, o comércio, a indústria e a extração mineral. Em termos de uso e ocupação da terra, de acordo com o Plano Diretor (NATAL, 2018) e ilustrado pela Figura 2, que mostra o macrozoneamento do município, existem três tipos de zonas:

I-Zona de Adensamento Básico: é aquela na qual se aplica, estritamente, o coeficiente de aproveitamento básico, que correspondem a 1,2 para todos os usos nos terrenos contidos na Zona Urbana;

II-Zona Adensável: é aquela onde as condições do meio físico, a disponibilidade de infraestrutura e a necessidade de diversificação de uso, permitem um adensamento maior do que aquele relativo aos parâmetros básicos de coeficiente de aproveitamento;

III-Zona de Proteção Ambiental: a área na qual as características do meio físico restringem o uso e ocupação, visando a proteção, manutenção e recuperação dos aspectos ambientais, ecológicos, paisagísticos, históricos, arqueológicos, turísticos, culturais, arquitetônicos e científicos.

Figura 2: Mapa de Macrozoneamento do município de Natal (RN).



Fonte: NATAL, 2018.

## 2 METODOLOGIA

A fim de investigar a quantidade de água presente no solo foi realizado o balanço hídrico climatológico, conforme o modelo de Thornthwaite e Matter (1955). Este método parte do suprimento de água ao solo, representado pela Precipitação (P) e da demanda atmosférica, representada pela Evapotranspiração Potencial (ETP). Para este trabalho, a Capacidade de Água Disponível (CAD) adotada foi de 125 mm. Os dados de precipitação foram obtidos junto à base de dados da NASA (National Aeronautics and Space Administration)<sup>3</sup>, bem como os dados de temperatura, que foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração; ambos com base no recorte espacial de 0,2° nas quatro direções (norte, sul, leste e oeste) a partir do ponto zero do município (256272E 9360720S), totalizando uma área de aproximadamente 1970 quilômetros quadrados.

De acordo com o referido método, a partir de P e ETP, devem ser feitas, nesta ordem e com as equações a seguir, as seguintes estimativas: da variação do Armazenamento (ARM) e do Negativo Acumulado (NAC), da Alteração da umidade (ALT), da Evapotranspiração Real (ETR), da Deficiência (DEF) e do Excesso (EXC) de água no solo em determinado período na escala mensal. As alterações (ALT) de caráter negativo (ALT<0) são as Retiradas (RET), enquanto que as alterações de caráter positivo (ALT>0) são as Reposições (REP). Este procedimento foi realizado duas vezes: uma considerando um período mais longo (série histórica), compreendido entre 2000 e 2017 para caracterizar o município de estudo; e a outra de abril de 2016 a março de 2017, para caracterizar a época de tomada da imagem.

$$NAC = CAD * LN[ARM/CAD]$$

$$ARM = CAD * EXP[NAC/CAD]$$

$$ALTM = ARMM - ARMM-1, \text{ "M": Mês atual e "M-1": mês anterior}$$

$$\text{Se } P-ETP \geq 0 \rightarrow ETR = ETP$$

$$\text{Se } P-ETP < 0 \rightarrow ETR = P - ALT$$

$$DEF = ETP - ETR$$

$$\text{Se } ARM < CAD \rightarrow EXC = 0$$

<sup>3</sup> Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso em: 27 set.2018.

Se  $ARM=CAD \rightarrow EXC=[P-ETP]-ALT$

NAC= Negativo Acumulado (mm);

ARM=Armazenamento de água no solo (mm);

CAD = capacidade máxima de água disponível (mm);

ALT = alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês atual (mm);

ETR = evapotranspiração real média mensal (mm);

DEF= déficit hídrico (mm);

EXC = excesso hídrico (mm).

No que se refere ao procedimento relativo à identificação das temperaturas dos alvos e do NDVI da área urbana e entorno próximo, foram utilizadas imagens do satélite Landsat (Land Remote Sensing Satellite) 8, especificamente das bandas 4, 5 e 10. As bandas 4 e 5 apresentam resolução espacial de 30 metros e possuem respectivamente as seguintes aplicações: discriminar a vegetação em função do conteúdo em clorofila, e evidenciar o teor de biomassa. Já a banda 10 (termal) possui imagens com resolução espacial de 100 metros, que são tratadas e disponibilizadas pela United States Geological Survey (USGS) com pixel de 30 metros, sendo indicadas para mapeamento térmico melhorado e estimativa da umidade do solo.

Desta forma, para a geração do mapa de intensidade da temperatura de superfície foi utilizada imagem do satélite Landsat 8, banda 10, do canal infravermelho termal/TIRS 1, sendo selecionada a cena WRS 214-064, do dia 18 de abril de 2017, início da estação chuvosa. A seleção desta imagem se deu, pois ela apresentava, dentre o banco de dados disponível na época, a menor incidência de nuvens, característica influente nos resultados do tratamento. Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (°C) e respectivas intensidades na imagem de satélite foram realizados no aplicativo IDRISI<sup>4</sup>, com a utilização de equações e parâmetros fixos de conversão, disponíveis no sítio da USGS<sup>5</sup>, de níveis de cinza (NC) para radiância, em seguida para temperatura Kelvin, para temperatura

---

<sup>4</sup> Idrisi é marca registrada da Clark University.

<sup>5</sup> Esses procedimentos foram obtidos no sítio [https://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php). Acesso em: 23 out. 2018.

Celsius, e por fim para intensidade. Cumpre consignar que foi necessário efetuar ainda o procedimento de generalização da escala de intensidade com o objetivo de minimizar os efeitos causados pelas nuvens.

Ainda no IDRISI, a partir das faixas espectrais do vermelho e do infravermelho, respectivamente bandas 4 e 5, gerou-se o mapa de NDVI, que possibilitou identificar a densidade vegetativa e sua distribuição. A escala do NDVI é constituída de -1 a 1, com valores próximos do extremo inferior (-1) associados a menor quantidade de vegetação, e valores próximos ao limite superior (1) relacionados à maior presença de vegetação.

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação ao balanço hídrico do período (2000-2017), cujos dados são exibidos na Tabela 1 e Figura 3, observou-se que a região apresenta maior incidência de chuvas de março até julho, com valor máximo em junho de 201 mm; e época mais seca dentre outubro e dezembro, com registro do menor valor em outubro (6,11 mm). O comportamento hidrológico, ilustrado na Figura 4, revelou acentuada ocorrência de deficiência hídrica, compreendendo os períodos de janeiro a maio e novamente de agosto a dezembro; com retirada de água do solo de janeiro a abril e de agosto a dezembro. Além disso, houve reposição somente nos meses de junho e julho, e não foi verificado excedente hídrico, sendo que o armazenamento de água no solo ficou abaixo da capacidade o ano todo.

Tabela 1: Balanço Hídrico de Natal (RN), segundo Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 2000 a 2017.

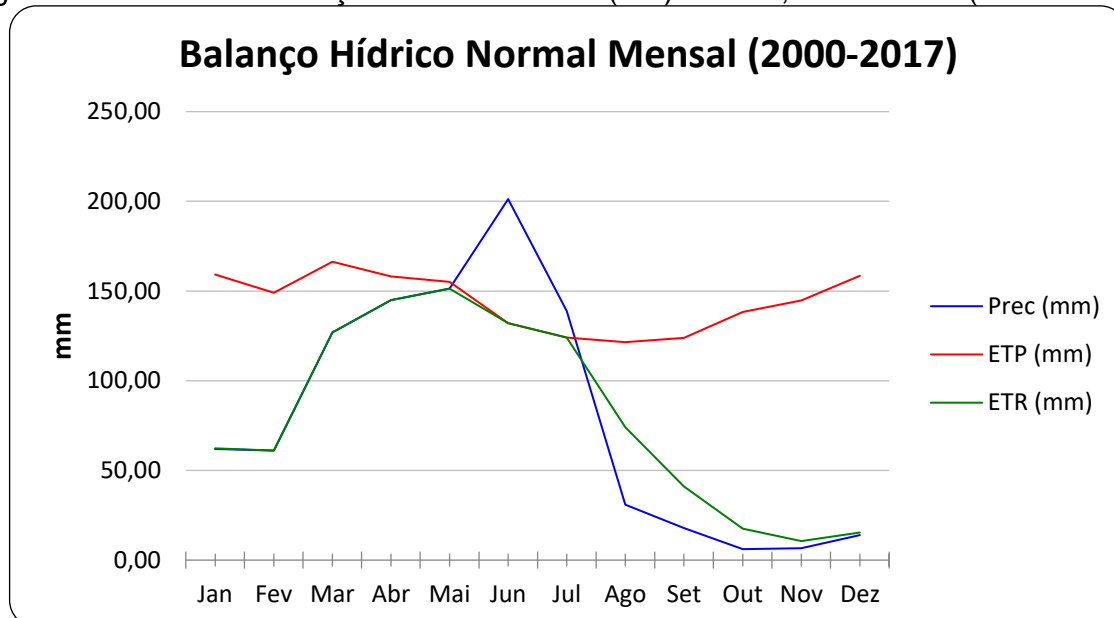
Mês	P	ETP	(P-ETP)	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	RET	REP
	mm	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	62,02	159,20	-97,19	-758,76	0,29	-0,34	62,35	96,85	0,00	-0,34	0,00
Fev	60,98	148,96	-87,98	-846,75	0,14	-0,15	61,12	87,84	0,00	-0,15	0,00
Mar	126,82	166,30	-39,48	-886,23	0,10	-0,04	126,86	39,44	0,00	-0,04	0,00
Abr	144,93	158,13	-13,20	-899,43	0,09	-0,01	144,94	13,19	0,00	-0,01	0,00
Mai	151,32	155,05	-3,73	-903,16	0,09	0,00	151,32	3,73	0,00	0,00	0,00
Jun	201,22	132,11	69,11	-74,08	69,11	69,02	132,11	0,00	0,00	0,00	69,02
Jul	138,92	124,13	14,79	-49,83	83,90	14,79	124,13	0,00	0,00	0,00	14,79
Ago	30,81	121,49	-90,68	-140,52	40,62	-43,28	74,09	47,40	0,00	-43,28	0,00
Set	17,80	123,95	-106,15	-246,66	17,37	-23,24	41,04	82,91	0,00	-23,24	0,00
Out	6,11	138,41	-132,30	-378,96	6,03	-11,35	17,46	120,95	0,00	-11,35	0,00
Nov	6,57	144,70	-138,13	-517,09	2,00	-4,03	10,60	134,09	0,00	-4,03	0,00



<b>Dez</b>	13,97	158,46	-144,49	-661,58	0,63	-1,37	15,34	143,12	0,00	-1,37	0,00
<b>Ano</b>	961,46	1730,88	-769,42	-6363,04	220,38	0,00	961,37	769,51	0,00	-83,81	83,81

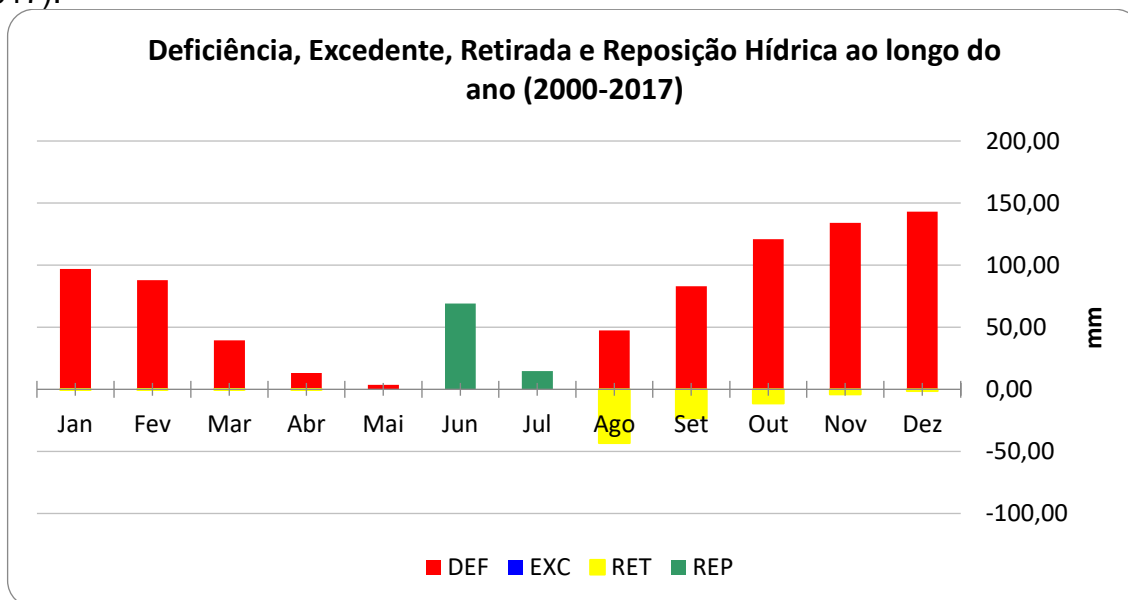
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 3: Gráfico do balanço hídrico de Natal (RN): PREC, ETP e ETR (2000 a 2017).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 4: Gráfico do balanço hídrico de Natal (RN): DEF, EXC, RET e REP (2000-2017).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os resultados do balanço hídrico de abril/2016 até março/2017, antecedente à tomada da imagem de satélite, são apresentados na Tabela 2 e Figura 5, e apontaram dois períodos mais chuvosos (de abril a junho e de fevereiro a março) com

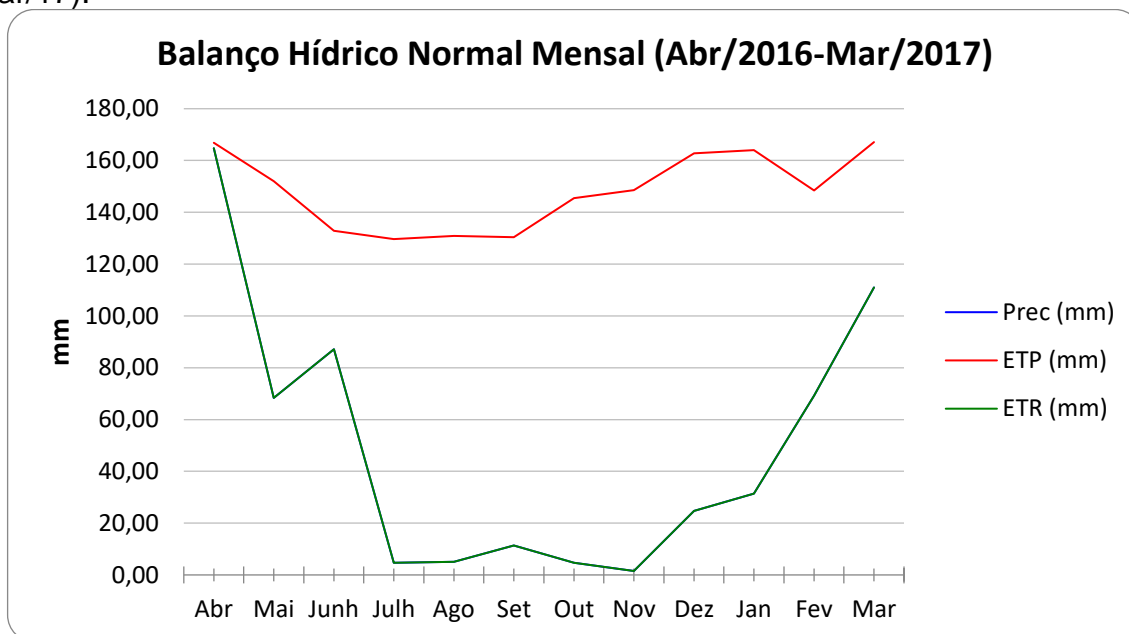
máxima precipitação registrada de 164 mm (em abril); e um período mais seco de julho a novembro, com precipitação mínima de 1,5 mm neste mês. O total precipitado no período foi de cerca de 580 mm, enquanto que para a série histórica foi de mais de 900 mm. Nesse sentido, os valores de precipitação foram coincidentes com os de evapotranspiração real. O comportamento hidrológico dos doze meses antes do registro da imagem, conforme mostra a Figura 6, caracterizou-se pela ausência de excedente, de retirada e de reposição de água do solo, havendo deficiência prolongada durante sete meses consecutivos (julh/16-jan/17).

Tabela 2: Balanço Hídrico de Natal (RN), segundo Thornthwaite e Mather (1955), para o período de abr/16-mar/17.

Mês	P	ETP	(P-ETP)	Nac	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	RET	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>Abr</b>	164,74	166,87	-2,13	-1197,62	0,00	0,00	164,74	2,13	0,00	0,00	0,00
<b>Mai</b>	68,35	152,03	-83,68	-1281,30	0,00	0,00	68,35	83,68	0,00	0,00	0,00
<b>Jun</b>	87,10	132,92	-45,83	-1327,13	0,00	0,00	87,10	45,83	0,00	0,00	0,00
<b>Jul</b>	4,67	129,66	-125,00	-1452,12	0,00	0,00	4,67	125,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ago</b>	5,01	130,89	-125,88	-1578,00	0,00	0,00	5,01	125,88	0,00	0,00	0,00
<b>Set</b>	11,36	130,35	-118,98	-1696,98	0,00	0,00	11,36	118,98	0,00	0,00	0,00
<b>Out</b>	4,73	145,53	-140,79	-1837,78	0,00	0,00	4,73	140,79	0,00	0,00	0,00
<b>Nov</b>	1,52	148,53	-147,00	-1984,78	0,00	0,00	1,52	147,00	0,00	0,00	0,00
<b>Dez</b>	24,71	162,84	-138,13	-2122,91	0,00	0,00	24,71	138,13	0,00	0,00	0,00
<b>Jan</b>	31,33	164,03	-132,69	-2255,61	0,00	0,00	31,33	132,69	0,00	0,00	0,00
<b>Fev</b>	69,19	148,41	-79,21	-2334,82	0,00	0,00	69,19	79,21	0,00	0,00	0,00
<b>Mar</b>	110,95	167,10	-56,16	-1195,49	0,00	0,00	110,95	56,16	0,00	0,00	0,00
<b>Ano</b>	583,66	1779,14	-1195,49	-20264,54	0,00	0,00	583,66	1195,49	0,00	0,00	0,00

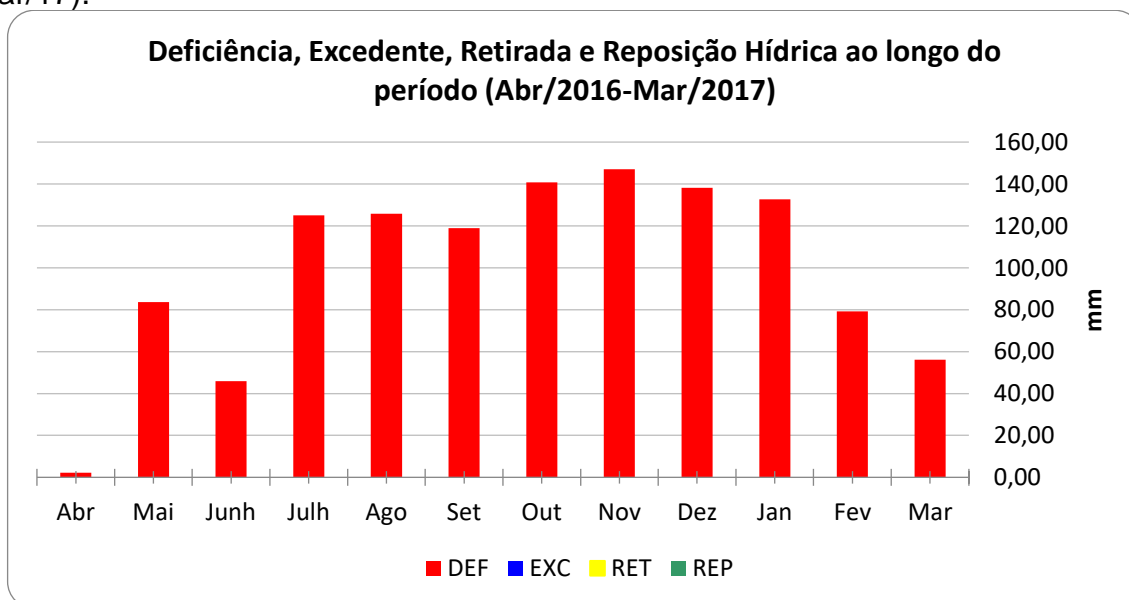
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 5: Gráfico do balanço hídrico de Natal (RN): PREC, ETP e ETR (Abr/16-Mar/17).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 6: Gráfico do balanço hídrico de Natal (RN): DEF, EXC, RET e REP (Abr/16-Mar/17).



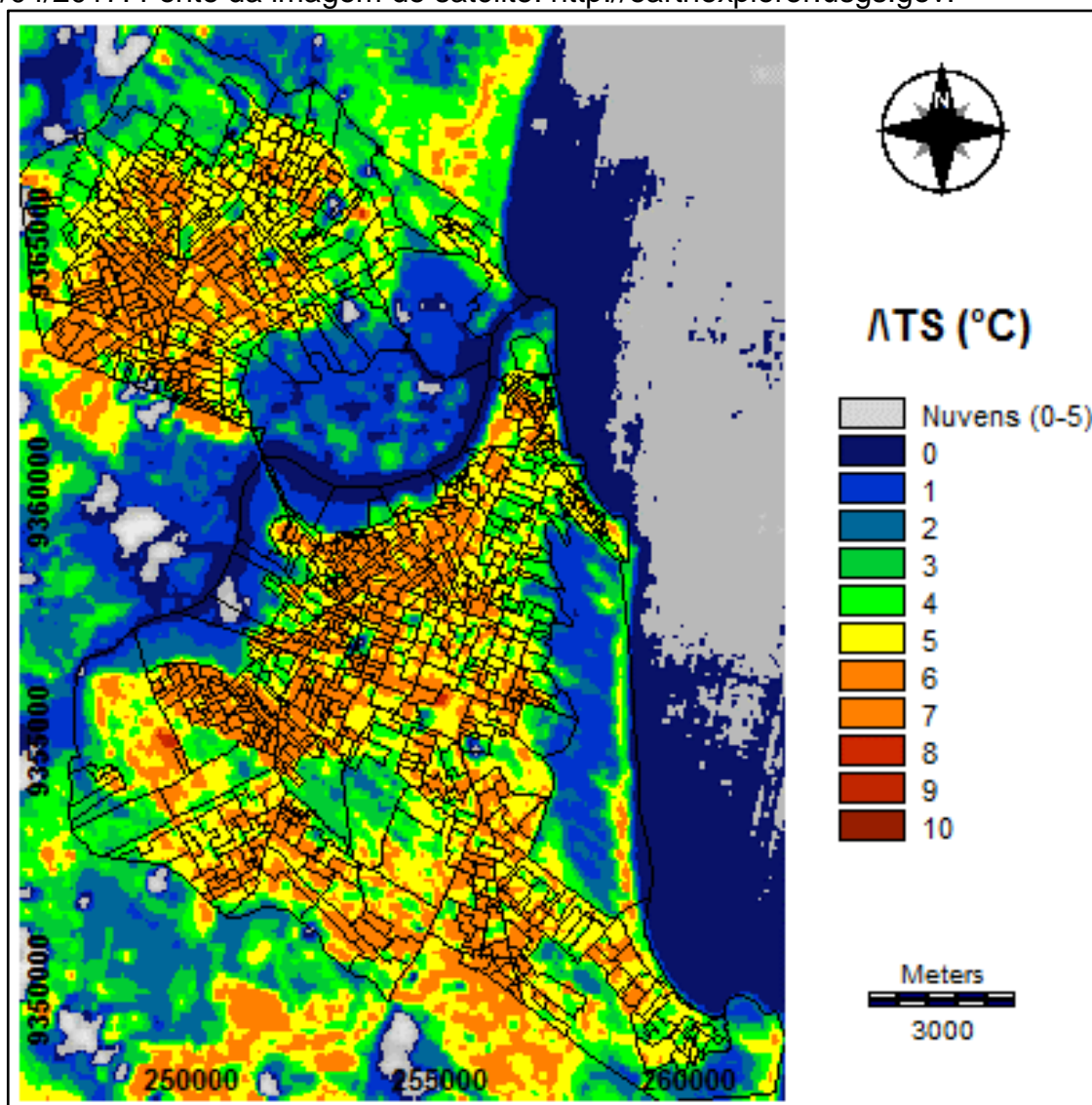
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No que se refere à carta de intensidade de temperatura de superfície (Figura 7), foram identificados valores de escala que compreendem de zero até 10°C, sendo que as nuvens foram agrupadas em uma categoria separada, a fim de minimizar sua

interferência nos resultados. Foi possível observar intensidades maiores, entre 5 e 7, predominantemente na zona urbana de Natal, contemplando tanto as zonas adensáveis quanto as zonas de adensamento básico. Já as intensidades menores, em torno de 1 na escala, foram localizadas nas zonas de proteção ambiental, ou seja, nas áreas periféricas do município e ao norte do Rio Potengi.

Nesse sentido, algumas modificações de superfície contribuem para que a atmosfera urbana seja mais complexa e diferente no intraurbano e no entorno rural podem ser citadas, como: a retirada de cobertura vegetal original e falta de compensação por arborização urbana; impermeabilização de superfície; mudanças no relevo e hidrografia (canalizações) e drenagem urbana; densidade e morfologia de construções, diminuindo espaços verdes e modificando fluxos de ar na cidade; características dos materiais construtivos, como composição e cores que tem diferentes capacidades de absorção e reflexão de radiação solar; cobertura vegetal, em termos de porte e densidade, nas áreas públicas mas também privadas. Pesquisas realizadas por Jensen (2009), mostraram, por exemplo, que no período do dia, as temperaturas mais altas podem estar associadas às áreas comerciais, as mais baixas aos corpos d'água, vegetação e terras de uso agrícola e; os valores intermediários, às áreas residenciais devido à sua composição heterogênea (casas, gramados e coberturas arbóreas).

Figura 7: Carta da intensidade da temperatura de superfície ( $\Delta TS$ - $^{\circ}C$ ) de Natal (RN) gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 10) do Landsat 8 de 18/04/2017. Fonte da imagem de satélite: <http://earthexplorer.usgs.gov>.

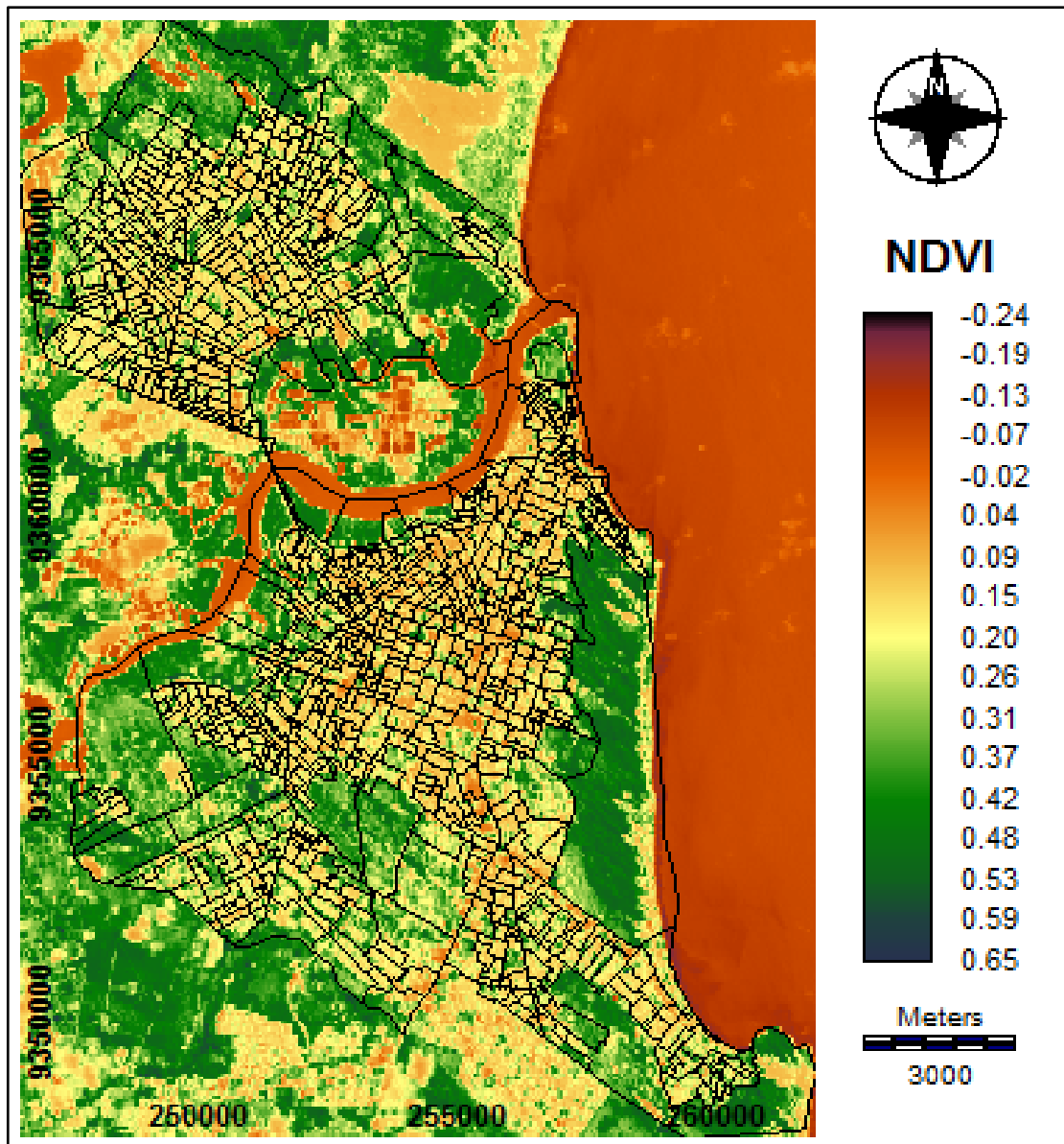


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A carta gerada de NDVI, Figura 8, exibiu uma escala variando de -0,24 até 0,65, contudo, estes resultados sofreram influência da presença de nuvens. Mesmo assim, foi possível verificar que os índices mais altos (próximos a 0,5) foram encontrados nas ZPAs, devido à elevada densidade vegetativa em relação ao restante do município, atributo associado à própria definição para fins de conservação ambiental prevista no Plano Diretor. Já a faixa intermediária dentro da escala de NDVI, em torno de 0,15, foi característica da região urbanizada; e por fim os valores negativos corresponderam majoritariamente à região do rio Potengi e ao Oceano Atlântico.

Cabe destacar que as áreas que apresentaram maiores NDVIs coincidem com as regiões que com intensidade de temperatura mais baixas. Isto porque, quanto maior a presença de cobertura vegetal arbórea, menor a temperatura do alvo, pois as plantas através dos seus mecanismos de evaporação e evapotranspiração amenizam esse cenário térmico. Além disso, segundo Amorim (2017), as diferenças entre uma área vegetada e outra sem vegetação não se limitam à amortização das temperaturas do ar, interferindo também na velocidade do vento, na umidade do ar e na temperatura radiante.

Figura 8: Carta de NDVI de Natal (RN), elaborada a partir das bandas 4 e 5 da imagem Landsat 8 de 18/04/2017. Fonte da imagem de satélite: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A partir de uma análise integrada dos resultados do balanço hídrico e das cartas geradas ( $\Delta TS$  e NDVI), verificou-se que apesar de a série histórica (2000-2017) apontar que no mês de março a deficiência hídrica começa a diminuir devido ao início das chuvas, a data de tomada da imagem (abr/2017) foi precedida de prologada estiagem, com sete meses de precipitação abaixo de 30 mm (mensal) desde julh/2016, e retomada de chuvas em fevereiro. Tratou-se de um período (abr/16 a mar/17) no qual todos os meses apresentaram deficiência hídrica, atingindo 79 mm em fevereiro e 56 mm em março. Isso caracterizou a época antecedente ao registro da imagem como um período mais seco do que o padrão indicado pela série.

Cumprе salientar sobre a influência da presença/escassez de água para os registros de temperatura e do índice de vegetação. A umidade do material tende a reduzir o albedo e com isso, maior é a sua capacidade de absorver e de reemitir energia posteriormente; aumentando também a tendência de elevação a temperatura (Baptista, 2012). Já a menor disponibilidade de água no solo tende a diminuir a biomassa vegetal e consequentemente o vigor das plantas, abaixando também o índice de NDVI.

Cumprе consignar que nestes resultados há influências da umidade oriunda do Rio Potengi, bem como do oceano, e de outros mecanismos atmosféricos atuantes, que não fizeram parte do objeto de estudo deste trabalho.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados da análise do Balanço Hídrico de Natal para a série histórica (2000-2017) mostraram que a ocorrência de estação chuvosa no outono e início do inverno, e estação seca na primavera; com predomínio de deficiência hídrica ao longo do ano e armazenamento de água no solo sempre abaixo da capacidade disponível. Para o período que antecedeu à tomada da imagem, contudo, o comportamento hidrológico identificado caracterizou-se por diminuição das chuvas, de forma sempre que a evapotranspiração potencial superou a precipitação, resultando em 100% de deficiência hídrica.

Mesmo com a escassez de água apontada pelo balanço hídrico em relação ao padrão observado na série histórica, que tende a amenizar os valores de temperatura e a diminuir a biomassa vegetativa; a carta de intensidade de temperatura revelou

áreas na zona urbana com intensidades média-altas (maiores que 6°C) dentro da escala, atingindo até 9°C. Não obstante, as Zonas de Proteção Ambiental definidas pelo poder público municipal, que seguem critérios mais restritivos de uso e ocupação da terra e priorizam a conservação do meio físico, apresentaram os valores mais elevados de NDVI (acima de 0,5). A maior quantidade de vegetação favorece quadros térmicos mais amenos nessas regiões de proteção, o que também ficou evidenciado pela carta de intensidade de temperatura de superfície, em comparação com áreas urbanizadas.

Por fim, ficou demonstrada por meio do exemplo das ZPAs de Natal, a contribuição da vegetação para cenários térmicos mais equilibrados. Apesar da tendência de sua diminuição à medida que as áreas urbanas vão se expandindo, a cobertura vegetal é componente fundamental na construção do desenvolvimento sustentável das cidades. Nesse sentido, é importante que o poder público e a sociedade valorizem não somente áreas de proteção definidas por lei, mas também invistam em arborização urbana apropriada, parques lineares, áreas de agricultura urbana, telhados verdes, e medidas com função ecológica que harmonizem com os aspectos econômico e social integrantes do ambiente urbano.

## **AGRADECIMENTOS**

A autora gostaria de agradecer aos professores doutores Margarete Cristiane Trindade Amorim e José Tadeu Garcia Tommaselli, da UNESP de Presidente Prudente (SP), pelos ensinamentos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

AMORIM, M.C.C.T., 2017. **Teoria e Método para o Estudo das Ilhas de Calor em Cidades Tropicais de Pequeno e Médio Porte**. 178 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente.



AMORIM, M.C.C.T., 2018. Spatial variability and intensity frequency of surface heat island in a Brazilian city with continental tropical climate through remote sensing. **Remote Sensing Applications: Society and Environment** 9 (2018) 10-16.

BAPTISTA, G. M. de M., 2012. Sensores Imageadores na Faixa Termal (8 – 14  $\mu\text{m}$ ). In P. R. Meneses, & T. Almeida (Org.), **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto** (p. 47-56). Brasília: UnB/CNPq.

JENSEN, J. R., 2009. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos: Parênteses.

NATAL., 2018. **LEI COMPLEMENTAR Nº 082, DE 21 DE JUNHO DE 2007 (PLANO DIRETOR DE NATAL-RN)**. Disponível em:<  
<https://natal.rn.gov.br/semurb/planodiretor/>>. Acesso em 02 dez.2018.

THORNTHWAITE, C.; MATTER, J. R., 1995. **The water balance**. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 1955.

