



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

**INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE SOROCABA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências  **unesp**
ambientais Sorocaba



318000009353

Mestrado

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

ARGEMIRO JOSÉ MORENO ARTEAGA

**ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO LÍQUIDA NA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CALOR
NO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO UNA, IBIÚNA/SP**



Sorocaba

2017

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

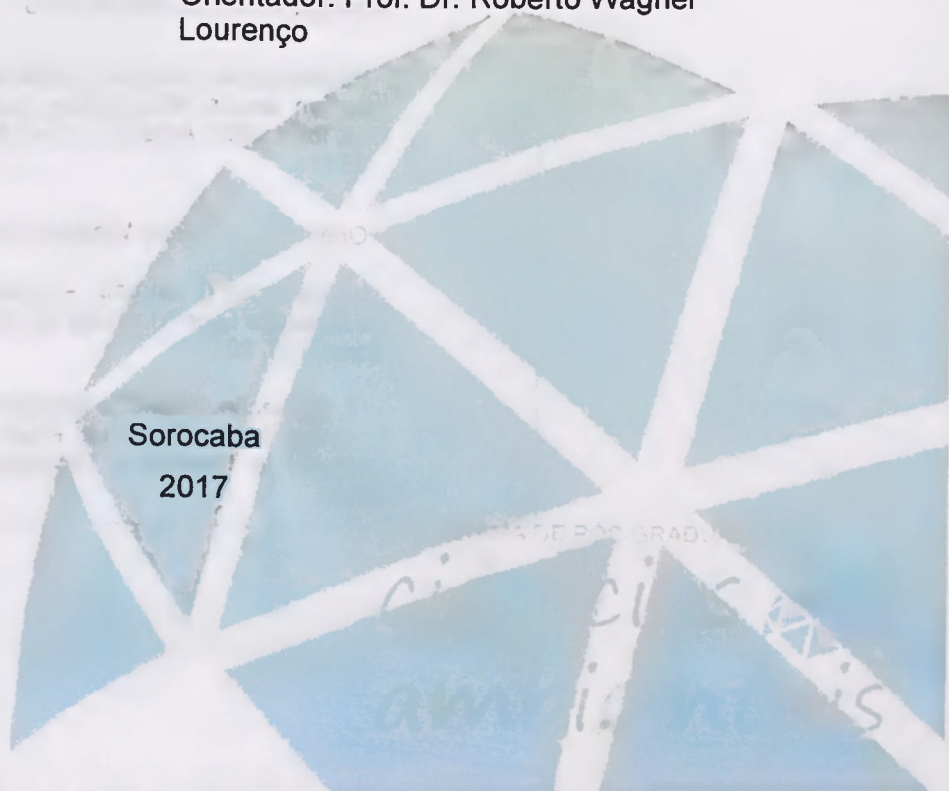
ARGEMIRO JOSÉ MORENO ARTEAGA

**ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO LÍQUIDA NA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CALOR
NO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO UNA, IBIÚNA/SP**

Dissertação apresentada como requisito
para a obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho" na Área de Concentração
Diagnóstico, Tratamento e Recuperação
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner
Lourenço

Sorocaba
2017



Class.	2017 A-486e
Tombo:	21-49100

SVE

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO LÍQUIDA NA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CALOR
NO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS:
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO UNA, IBIÚNA/SP

Resumo: Este trabalho tem como objetivo estimar a radiação líquida na superfície e o fluxo de calor no solo em bacias hidrográficas. O estudo de caso foi realizado na Bacia do Rio Una, Ibiúna/SP. Foram utilizados dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento para calcular a radiação líquida. O fluxo de calor no solo foi estimado a partir da radiação líquida e da condutividade térmica do solo. Os resultados mostram que a radiação líquida varia entre 100 e 200 W/m² e o fluxo de calor no solo varia entre 50 e 100 W/m².

Ficha cataiográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Arteaga, Argemiro José Moreno.

Estimativa da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo em bacias hidrográficas: estudo de caso na Bacia do Rio Una, Ibiúna/SP / Argemiro José Moreno Arteaga, 2017. 85 f.: il.

Orientador: Roberto Wagner Lourenço.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2017.

1. Radiação. 2. Bacias hidrográficas. 3. Sensoriamento remoto. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

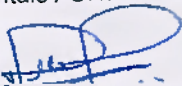
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO LÍQUIDA NA SUPERFÍCIE E FLUXO DE CALOR NO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO UNA, IBIÚNA/SP**

AUTOR. ARGEMIRO JOSE MORENO ARTEAGA

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENCO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENCO
Ciências Ambientais / UNESP Sorocaba


Prof. Dr. PAULO SÉRGIO TONELLO
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP – Sorocaba


Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
Coordenadoria do Curso de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Sorocaba, 21 de setembro de 2017

**Esta investigación es dedicada a mi madre
Almiris Arteaga Hernandez.**

AGRADECIMENTOS

A Deus por dar-me a sabedoria necessária e força nos momentos difícil.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Aos funcionários e professores do Campus de Sorocaba pelo auxílio na realização deste trabalho, em especial ao professor Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço pela orientação.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

A meu irmão Alfredo Daniel Moreno Arteaga por toda a ajuda oferecida.

A meus amigos Fracis Lai, Eduardo Liberado, Marco Abreou e todas as amizades que fiz na Aliança Bíblica Universitária do Brasil (ABUB) pelo apóio, convivência e motivação.

A José Carlos Souza por todas suas orientações.

Arteaga, A. J. M. Estimativa da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo em bacias hidrográficas: estudo de caso na Bacia do Rio Una, Ibiúna/SP. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Câmpus Experimental de Sorocaba, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.

RESUMO

Esta pesquisa visa estimar a radiação líquida na superfície e o fluxo calor no solo na bacia hidrográfica do Rio Una, no Estado de São Paulo, a fim de analisar seu comportamento nas áreas naturais de mata atlântica e as intervindas com construções urbanas, avaliando a influência sofrida pelas modificações ambientais. Para isto, aplicaram-se técnicas de geoprocessamento utilizando quatro imagens digitais Landsat-8, uma imagem representativa de cada estação climática, além, foi utilizada uma imagem digital ASTER como modelo digital de elevação da bacia. Com as quais se estimaram para cada estação do ano, valores de temperatura superficial, albedo, radiação de onda curta e longa incidente, radiação emitida e a respectiva representação espacial da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo. Nos resultados, as áreas com edificações urbanas, comparados com as de mata atlântica, apresentaram semelhante incidência de radiação de onda longa e curta incidente; mas, superiores os valores de albedo, temperatura superficial, radiação emitida e, conseqüentemente, a radiação líquida na superfície determinada foi de inferior magnitude e o fluxo de calor no solo maior; o que representa deslocamento de energia para a atmosfera pelas edificações. Assim, demonstraram-se alterações ambientais na bacia que podem influenciar nas condições climáticas, seja a nível local ou regional, principalmente porque a energia deslocada pode ser interceptada por gases de efeito estufa como gás carbônico e metano, que contribuem no aumento da temperatura média do ar. Os resultados obtidos foram comparados com dados encontrados na literatura, mostrando adequada funcionalidade da metodologia empregada.

Palavras-chave: Radiação; Mata; Edificações; Temperatura; Landsat; Sensoriamento remoto.

Arteaga, A. J. M. Estimative the net radiation flux at the surface and soil heat flux in watersheds: Case study in the watersheds Rio Una, Ibiúna / SP. 2017. 85 f. Dissertation (Master's degree Environmental Sciences) – Câmpus Experimental de Sorocaba, UNESP - Univ Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.

ABSTRACT

This research aims to estimate the net radiation at the surface and the heat flux in the soil in the watershed of Una River, in the state of Sao Paulo, in order to analyze their behavior in the natural areas of Atlantic forest and the intervening with urban constructions. For this, geoprocessing techniques were applied using four digital images Landsat-8, an image representative of each climatic season, in addition, an ASTER image was used as digital model of basin elevation. With which they were estimated for each season of the year, values of land surface temperature, surface albedo, incident long-wave radiation, incident short-wave radiation, long-wave radiation emitted and the respective spatial representation of the net radiation at the surface and soil heat flux. In the results, areas with urban buildings, compared with those of Atlantic Forest, presented similar incident long-wave and short-wave radiation; but, higher albedo values, land surface temperature, long-wave radiation emitted and, consequently, the net radiation at the surface determined was of lower magnitude and the heat flux in the soil greater; which represents displacement of energy to the atmosphere by the buildings. Thus, environmental changes have been demonstrated in the basin that can influence the climatic conditions, locally or regionally, mainly because displaced energy can be intercepted by greenhouse gases such as carbon dioxide and methane, which contribute to the increase in the average air temperature. The results obtained were compared with data found in the literature, showing adequate functionality of the methodology used.

Keywords: Radiation; forest; buildings; Temperature; Landsat; Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da bacia do Rio Una.....	25
Figura 2 - Processo de incidência, refletância e emitância das radiações entre a atmosfera e a superfície terrestre.....	28
Figura 3 - Imagens Landsat 8 a cor natural da bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	40
Figura 4 - Distribuição espacial das áreas com edificações urbanas e matas na bacia do Rio Una.....	41
Figura 5 - Mapa de NDVI na bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	44
Figura 6 - Histograma de frequência dos valores de NDVI.....	45
Figura 7 - Mapa de NDVI com as áreas de mata e edificações urbanas na Bacia do Rio Una.....	46
Figura 8 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de NDVI das áreas de mata e edificações urbanas.....	47
Figura 9 - Mapa de temperatura da superfície na Bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	48
Figura 10 - Histograma de frequência dos valores de temperatura superficial da bacia.....	49
Figura 11 - Mapa de temperatura superficial da Bacia do Rio Una com as áreas de mata e edificações urbanas.....	50

Figura 12 - Gráfico de valores mínimos, médios e máximos de temperatura superficial das áreas de mata e edificações urbanas.....	51
Figura 13 - Mapas de Albedo da Bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	53
Figura 14 - Histograma de frequência dos valores de albedo superficial da bacia nas estações climáticas.....	54
Figura 15 - Mapas de albedo da bacia do Rio Una com as áreas de mata e edificações urbanas.....	55
Figura 16 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de albedo superficial das áreas de mata e edificações urbanas.....	56
Figura 17 - Mapas de radiação solar de onda curta incidente na bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	58
Figura 18 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda curta incidente na bacia nas estações climáticas.....	59
Figura 19 - Mapas de radiação de onda longa incidente na bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	61
Figura 20 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda longa incidente na bacia nas estações climáticas.....	62
Figura 21 - Mapas de Radiação de onda longa emitida pela superfície da bacia nas estações climáticas.....	63
Figura 22 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda longa emitida na bacia nas estações climáticas.....	64
Figura 23 - Mapas de radiação de onda longa emitida pela superfície da bacia nas áreas de mata e edificações urbanas.....	65

Figura 24 - Gráfica comparativa de valores mínimos, médios e máximos da radiação emitida pelas áreas de mata e edificações urbanas.....	66
Figura 25 - Mapas de radiação líquida na superfície da bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	68
Figura 26 - Histograma de frequência dos valores de Radiação líquida na superfície da bacia nas estações climáticas.....	69
Figura 27 - Mapas de radiação líquida na superfície da bacia nas áreas de mata e edificações urbanas.....	70
Figura 28 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de radiação líquida nas áreas de mata e edificações urbanas.....	71
Figura 29 - Mapas de fluxos de calor no solo da bacia do Rio Una nas estações climáticas.....	73
Figura 30 - Histograma de frequência dos valores de fluxo de calor no solo na bacia nas estações climáticas.....	74
Figura 31 - Mapas de fluxo de calor no solo da bacia do Rio Una nas áreas de mata e edificações urbanas.....	75
Figura 32 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de fluxo de calor no solo nas áreas de mata e edificações urbanas.....	76

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Valores mínimos, médios e máximos da radiação líquida e fluxo de calor, e os parâmetros utilizados para seu cálculo. nas áreas de mata e edificações urbanas nas estações climáticas.....43

Tabela 2 - Dado empregado na estimativa da radiação líquida da superfície e fluxo de calor do solo.....43

Tabela 3 - Temperatura superficial em cada estação climática.....50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_L	= Fator aditivo da radiância para a banda 10 da imagem Landsat
A_p	= Fator aditivo de reescalonamento para as bandas da imagem Landsat
cos	= Cosseno de um ângulo
$^{\circ}C$	= Grados centígrados
d_n	= Dia sequencial do ano segundo calendário Juliano
d_r	= Distância relativa entre a Terra e o Sol
ESRI	= Environmental Systems Research Institute
G	= Fluxo de calor no solo
G_{SC}	= Constante solar que atinge na superfície da atmosfera terrestre
K	= Grados Kelvin
K_1	= Constantes de calibração da banda 10 da imagem Landsat
K_2	= Constantes de calibração da banda 10 da imagem Landsat
L	= Fator de correção para SAVI que minimiza o efeito do solo
L_{λ}	= Radiância espectral no topo da atmosfera da banda 10 da imagem
LAI	= Índice de área foliar
ln	= Logaritmo natural de um valor
m	= Metros
M_L	= Fator multiplicativo da radiância para a banda 10 da imagem Landsat
M_p	= Fator multiplicativo de reescalonamento para as bandas da imagem L
NDVI	= Índice de vegetação por diferença normalizada
OLI	= Operacional Terra Imager
Q_{cal}	= Número digital para cada pixel das bandas da imagem Landsat
R_n	= Radiação líquida na superfície da bacia
$R_{L\downarrow}$	= Radiação de onda longa incidente
$R_{L\uparrow}$	= Radiação de onda longa emitida pela superfície
R_{Si}	= Radiação de onda curta incidente
SAVI	= Índice de vegetação ajustado ao solo
SEBAL	= Surface Energy Balance Algorithms for Land
SI	= Sistema Internacional de Unidades
SIG	= Sistema de informação geográfica
T_a	= Temperatura média diária do ar
TIRS	= Thermal InfraRed Sensor

T_s	= Temperatura da superfície
W	= Watt
z	= Elevação acima do nível do mar
α	= Albedo da superfície da bacia
α_a	= Espalhamento da radiação solar na atmosfera
α_{TOA}	= Albedo no topo da atmosfera
ϵ_a	= Emissividade da atmosfera
ϵ_D	= Emissividade térmica da superfície da bacia
T_{sw}	= Transmitância atmosférica da radiação solar incidente para céu claro
θ	= Ângulo de elevação solar (°)
π	= Constante numérica matemática
ρ_λ	= Refletância planetária no topo da atmosfera
ρ_2	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 2 da imagem Landsat
ρ_3	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 3 da imagem Landsat
ρ_4	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 4 da imagem Landsat
ρ_5	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 5 da imagem Landsat
ρ_6	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 6 da imagem Landsat
ρ_7	= Refletância planetária no topo da atmosfera da banda 7 da imagem Landsat
σ	= Constante de Stefan-Boltzmann
T_{sw}	= Transmitância atmosférica para dias de céu claro
ω_λ	= Coeficientes de peso das bandas monocromáticas da imagem Landsat
ω_2	= Coeficientes de peso da banda 2 da imagem Landsat
ω_3	= Coeficientes de peso da banda 3 da imagem Landsat
ω_4	= Coeficientes de peso da banda 4 da imagem Landsat
ω_5	= Coeficientes de peso da banda 5 da imagem Landsat
ω_6	= Coeficientes de peso da banda 6 da imagem Landsat
ω_7	= Coeficientes de peso da banda 7 da imagem Landsat

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	18
2.1. Radiação solar.....	18
2.2. Radiação solar na superfície da Terra.....	18
2.3. Radiação líquida na superfície.....	19
2.4. Fluxo de calor no solo	20
2.5. Estimativa de radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo.....	20
2.6. Geoprocessamento e sensoriamento remoto.....	21
3. OBJETIVOS.....	24
3.1. Objetivo geral.....	24
3.2. Objetivo específicos.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1. Área de Estudo.....	25
4.2. Materiais.....	25
4.2.1. Imagens de Satélite.....	25
4.2.2. Dados meteorológicos.....	26
4.3. Método empregado.....	27
4.3.1. Cálculo da radiação líquida na superfície.....	27
4.3.1.1. Radiação de onda curta incidente.....	28
4.3.1.2. Albedo da superfície.....	29
4.3.1.3. Radiação de onda longa incidente.....	31
4.3.1.4. Radiação de onda longa emitida.....	32
4.3.2. Cálculo do fluxo de calor no solo.....	36
4.4. Fluxograma do método empregado.....	37

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, como também sobre a evapotranspiração da água, o aquecimento da cobertura superficial da Terra e do ar (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; TANG et al., 2013; KING et al., 2015). A interação que tem a radiação incidente entre a atmosfera e a superfície terrestre regula o comportamento do clima na biosfera, sendo que qualquer fator que transforme ou altere as propriedades das coberturas superficiais, afeta as características climáticas do planeta (BASTIAANSEN et al., 1998; SANTOS, 2011; HANSEN et al., 2011).

O crescimento das atividades humanas, como a agrícola e expansão urbana com a construção de edificações, sem planejamento adequado a falta de políticas públicas eficazes para a regulamentação e controle no ordenamento do território, vem promovendo supressão de áreas ambientais naturais, gerando modificações nos processos de absorção e refletância do fluxo de radiação incidente na superfície terrestre (FARIA; SCHVARSBERG, 2011; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA), 2016).

Assim, a quantidade de energia que chega à superfície do planeta é determinada pelas radiações atingidas, porém, a energia armazenada é determinada pelo tipo de cobertura, devido a que os corpos terrestres também podem emitir energia em forma de radiação de volta à atmosfera conforme a suas propriedades absorptivas e refletivas, pois as coberturas interceptam radiações incidentes e a transportam para seu interior como calor (transferência de energia térmica) com o consequente aumento de sua temperatura e emissividade (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; VELOSO, 2014; SCHMID; HUNZIKER; WÜEST, 2014). Sendo isto de extrema importância, considerando que os gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono e o metano, são aquecidos pela radiação emitida na superfície terrestre, causando mudança no clima (DONOHUE et al., 2014).

Então analisar o comportamento da radiação na superfície e fluxo de calor no solo ajuda a compreender os consequentes efeitos ao clima pelas alterações ambientais causadas com a mudança das coberturas naturais devido aos distintos usos e ocupações do solo estabelecido pelas diversas intervenções antrópicas. É de fundamental importância para entender as interações dos ecossistemas naturais e as respostas das áreas alteradas pelo ser humano nos processos de transferência

de carbono e energia entre a superfície e sua atmosfera, com os decorrentes impactos no equilíbrio climático global (DONOHUE et al., 2014; ZHOU; SAVIJÄRVI, 2014; SANTOS et al., 2015); contribuindo com a compreensão deste fenômeno, de modo atingir um desenvolvimento sustentável com a gestão e planejamento racional dos recursos naturais a fim de minimizar os impactos ambientais causado com seu uso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Radiação solar

O Sol fornece energia ao planeta Terra na forma de radiação eletromagnética, que é base de toda a vida.

Quase toda radiação emitida pelo sol pertence ao espectro contínuo de comprimentos de onda curta formados pela radiação ultravioleta, radiação visível e radiação infravermelha próxima (BALOGH; PEDRIALI; KANEKO, 2011).

A radiação ultravioleta é absorvida aproximadamente em sua totalidade pelo oxigênio e ozônio antes de atingir a superfície da Terra, a radiação do visível passa em sua maioria pela atmosfera em grandes quantidades sem sofrer absorção, e parte da radiação infravermelha próxima é absorvida principalmente pelo vapor da água e pelo dióxido de carbono (MARENGO, 2006).

Os gases da atmosfera que absorvem radiação solar são aquecidos e passam a emitir radiação de onda longa para a superfície da Terra (GUSMÃO et al., 2012; KING et al., 2015).

A radiação solar que não é absorvida sofre processo de difusão, no qual a atmosfera modifica a direção dos raios solares, que podem ser desviados novamente para o espaço sem incidir na superfície da Terra, processo que é mais facilmente percebido em dias nublados e com alto grau de contaminação, sendo quando mais limpa estiver a atmosfera, aumenta as proporções dos raios solares que atingem diretamente a superfície do planeta (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

2.2. Radiação solar na superfície da terra

A radiação solar na superfície da Terra ou radiação solar global é o fluxo de energia incidente proveniente do sol e recebida pela cobertura terrestre; sendo expressa no sistema internacional em *Watt* (W) por área unitária, que é igual a *Joule* (J) por área unitária em unidade de tempo ($1 \text{ Wm}^{-2} = 1 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$) (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; GARBRECHT et al., 2013).

A radiação solar que atinge na atmosfera varia no ano segundo a distância entre o Sol e a Terra devido ao movimento de translação do planeta que realiza em

trajetória elíptica e movimento de rotação com uma inclinação de seu eixo orbital, dando origem às estações climáticas (UNIÃO EUROPEIA. COMISSÃO EUROPEIA, 2004; PINHO; GALDINO, 2014).

A energia solar caracteriza o estado da atmosfera, sendo o principal elemento que descreve as condições climáticas num determinado local conforme a latitude, altitude e da época do ano (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

Os corpos terrestres também emitem energia radiante conforme a sua temperatura superficial, mas no comprimento de onda longa, em forma de fluxo de radiação termal em direção à atmosfera (VELOSO, 2014; SCHMID et al., 2014).

Dessa forma, o balanço de radiação na superfície é contabilizado através dos fluxos radiativos descendentes e ascendentes de ondas curtas e ondas longas que interagem na interface solo-atmosfera, que depende da radiação solar incidente no topo da atmosfera, bem como das características da superfície (RWASOKA; GUMINDOGA; GWENZI, 2011; GUSMÃO et al., 2012). Ou seja, para qualquer superfície terrestre a energia consumida nos processos que nelas ocorrem está definida com o balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas atingidas e pelas emitidas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; CAMMALLERI et al., 2012; PEREIRA et al., 2015).

2.3. Radiação líquida na superfície terrestre

A radiação líquida na superfície da Terra representa a quantidade de energia solar na forma de ondas eletromagnéticas utilizada nos processos fotossintéticos pelos seres vivos clorofilados que empregam dióxido de carbono (CO_2) e água para obter glicose, na evapotranspiração pela evaporação da água na superfície e transpiração dos seres vivos, no aquecimento do solo e do ar (POÇAS et al., 2013; MACHADO et al., 2014; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

Resulta da contabilização dos fluxos de radiação solar incidente de onda curta, radiação de onda longa emitida pelos gases da atmosfera terrestre, a emitida e/ou refletida pelas coberturas da superfície da Terra (ALLEN et al., 2011).

2.4. Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo corresponde ao transporte de energia na cobertura terrestre pelo processo de condução térmica, isto é, transferência de energia entre átomos e/ou moléculas constituintes devido a gradientes de temperaturas (VELOSO, 2014).

Representa a quantidade de energia da radiação líquida na superfície utilizada para aquecer o solo, e é altamente dependente das condições de textura e cobertura que apresenta (MACHADO et al., 2014).

O regime térmico de um solo fica sujeito à existência de cobertura com vegetação ou com resíduos vegetais que atenuam na modificação de sua temperatura, pois a cobertura intercepta a radiação incidente recebendo energia, criando gradientes térmicos entre os constituintes vizinhos que estão em contato, o que origina o transporte de calor da superfície para o interior do solo, sendo transmitido das camadas superficiais para as camadas mais profundas, aumentando o armazenamento de energia com a consequente elevação da emissão de radiação de onda longa para a atmosfera (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; JIM, 2016).

2.5. Estimativa da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo

A radiação líquida na superfície pode ser calculada indiretamente por meio de um instrumento chamado “saldo-rauiômetro” constituído de duas placas que funcionam como sensores com pares termoelétricos que captam energia de ondas curtas e de ondas longas, mas têm custos econômicos elevados e suas medições são pontuais, não possibilitando pesquisas com resultados em escala regional, sendo assim, pouco usados em estações meteorológicas tanto convencionais como as automatizadas (GOMES et al., 2009).

Já o fluxo de calor no solo é medido de forma pontual com Fluxímetro, em unidade de *Watts* por metro quadrado (Wm^{-2}) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016).

Quando há necessidade do conhecimento na escala regional que implique amplos espaços de área, esses métodos não oferecem o devido suporte, uma vez que os mesmos são aplicados a condições muito específicas e têm, portanto,

validade apenas para condições particulares de onde são utilizados (BRAGA et al., 2014).

Um modelo matemático de processamento de imagem digital de satélite utilizado para estimar a radiação na superfície e fluxo de calor do solo em escala regional é o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) proposto por Allen et al. (2011).

O SEBAL é um algoritmo que emprega técnicas de sensoriamento remoto por meio de uma série de cálculos matemáticos fundamentado em leis da radiação, principalmente a lei de Stefan-Boltzmann, e em formulações empíricas. Para se utilizar, o algoritmo precisa de dados de índice de vegetação, temperatura, emissividade e albedo da superfície terrestre, como também emissividade da atmosfera e as radiações incidentes (as de onda curta e longa); informação que é obtida por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagem de satélite.

Uma característica importante do algoritmo em sua aplicação é a vantagem de usar as variâncias espectrais registradas nas imagens digitais de satélite Landsat 8, que são de fácil acesso, e os dados meteorológicos da temperatura do ar no dia em que foi tomada a imagem.

Atualmente existem muitas aplicações do algoritmo SEBAL a nível nacional e internacional, mas todas estão descritas em sua base teórica utilizando imagens digital de satélites Landsat 5 e 7, sendo não realizados ou não reconhecidos os trabalhos aplicados com as formulações matemáticas, equações e constantes apropriadas para imagem de Landsat 8 (ALLEN et al., 2011; TANG et al., 2013; LI et al., 2013; Silva et al., 2015).

2.6. Geoprocessamento e sensoriamento remoto

O Sensoriamento Remoto é uma técnica de obtenção de imagens da superfície do planeta por meio da detecção e medição quantitativa das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012). Essencialmente o sensoriamento remoto extrai informações pelo registro da radiação eletromagnéticas refletidas ou emitidas pelas feições das coberturas superficiais, aproveitando as distintas assinaturas espectrais pelas diferentes

composições físico-químicas que apresentam os alvos naturais como artificiais para sua possível discriminação e caracterização.

Esta técnica tem ganhado relevância nos últimos anos porque esta sendo muito utilizada em análises dos fenômenos ambientais, sociais e econômicos; por seu fácil acesso a imagens digitais e posterior processamento informático para a obtenção de produtos desejados.

Existe uma grande variedade de satélite com sensores adjuntos para a aquisição de imagens digitais na coleta de informações espaço-temporal do planeta para diversas aplicações científicas, entre os quais esta o satélite Landsat 8 e o Terra.

O satélite Landsat 8 utiliza apenas pequenas faixas do espectro eletromagnético, que consiste da luz visível e do infravermelho, ambas provenientes do sol, e da faixa de ondas longas termais emitidas pela Terra. Possui dois sensores imageadores (OLI e TIRS), com resolução espacial de 30 m e 15 m para as bandas do sensor OLI e de 100 m para as do TIRS. Apresenta uma órbita heliosíncrona que segue o sol acompanhando a Terra no movimento de translação em torno de seu eixo de polo a polo, cobrindo praticamente todas as regiões do Globo, com uma resolução temporal de 16 dias e radiométrica de 16 bits, com captação espectral de 11 bandas (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2013; SANTOS *et al.*, 2014). As imagens digitais Landsat têm diferentes utilidades, entre as quais a de avaliação dos recursos naturais e áreas urbanas.

Por sua parte o satélite Terra tem o sensor ASTER com capacidade de captação de 14 bandas espectrais e resolução espacial de 15, 30 e 90 m. Faz medição desde o espaço de variáveis topográficas da superfície do planeta, que são utilizáveis para modelos digitais de elevação (SANTOS *et al.*, 2014).

A coleta de informações espaço-temporal por meio de satélite, com o desenvolvimento da tecnologia de informática, se tornou possível pelo armazenamento e representação dos dados em ambiente computacional, aparecendo o geoprocessamento. Sendo o geoprocessamento uma ferramenta computacional para o processamento informatizado de dados georreferenciados mediante programas que utilizam técnicas matemáticas que permite o uso de informações cartográficas para o tratamento de dados espacial e temporalmente (MENESES; ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento remoto com o geoprocessamento constituem tecnologias indispensáveis em estudos aplicados nas análises de mudanças ambientais, permitindo monitorar de forma dinâmica, atendendo a realização de estudos ao longo de períodos de tempo (SANTOS *et al.*, 2015).

Muitos softwares estão disponíveis para atividades de geoprocessamento, que são sistemas de informação geográfica (SIG), funcionando para adquirir, armazenar e analisar dados geográficos, mapas, cartas climáticas, censos, entre outros. Dentro dos sistemas de processamento digital de imagens de satélite esta disponível ArcGIS, que é um pacote de softwares da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas (SANTOS *et al.*, 2014).

O ArcGIS disponibiliza uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização para o tratamento das informações obtidas por sensoriamento remoto. Pode manipular grandes volumes de dados, intrínseco às imagens de satélite, associado à relativa complexidade de cálculos, com o qual se podem desenvolver modelos matemáticos e estatísticos para o entendimento de fenômenos ambientais.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral estimar a radiação líquida na superfície e o fluxo de calor no solo na bacia hidrográfica do Rio Una, utilizando imagem digital do satélite Landsat 8, a fim de analisar a influência das construções antrópicas urbanas no clima.

3.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

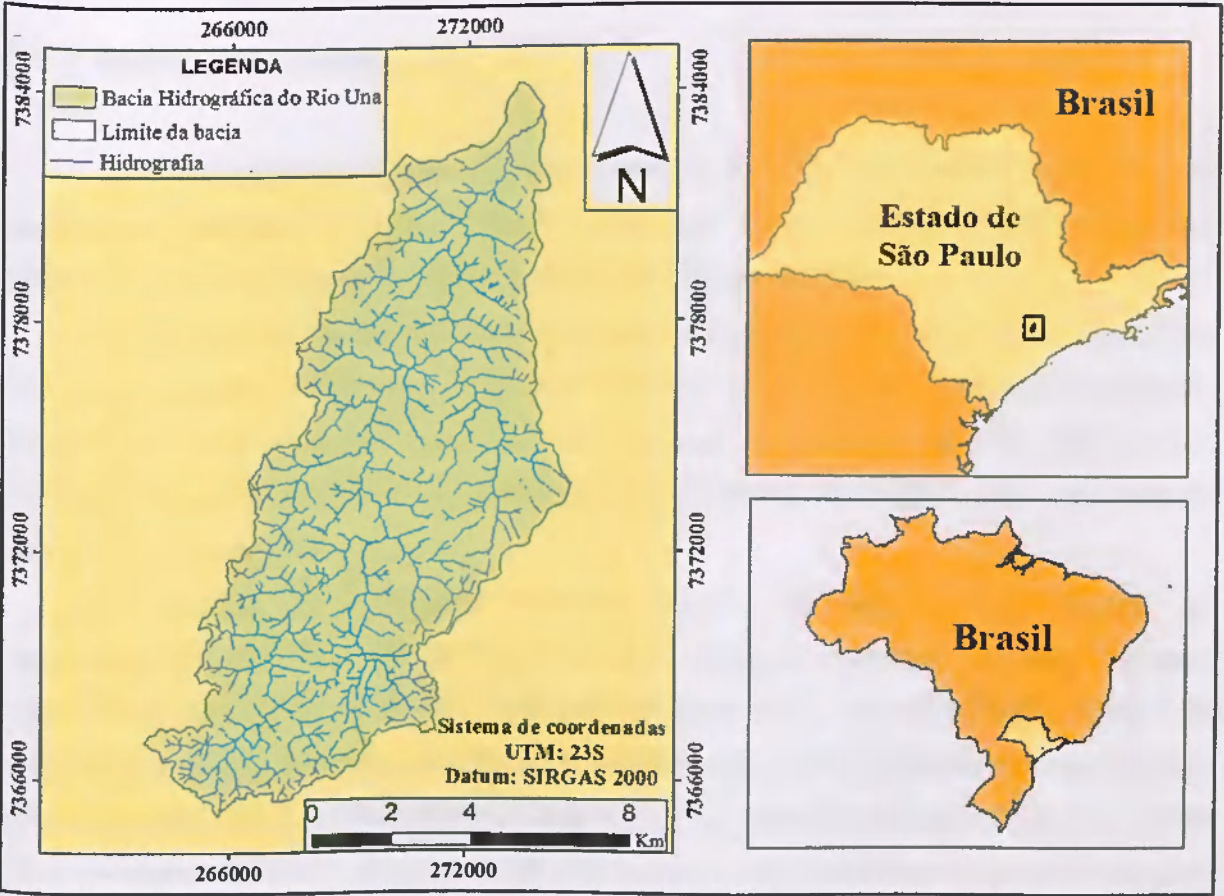
- Determinar e mapear o índice de vegetação por diferença normalizada, o albedo, a temperatura da superfície, a radiação incidente e emitida, na Bacia Hidrográfica do Rio Una;
- Calcular e Mapear a radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo na Bacia Hidrográfica do Rio Una;
- Avaliar o comportamento da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo na Bacia Hidrográfica do Rio Una, inferindo a influência nas condições do clima provocadas pelas edificações urbanas construídas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Una, localizado no município de Ibiúna, no estado de São Paulo, Brasil (Figura 1). Esta bacia apresenta uma área de 96,46 Km², e diferença altimétrica de 339 metros de altitude entre a nascente e a foz, com drenagem de água do sul para o norte, desde os 1175 m sobre o nível do mar até os 836 m.

Figura 1 - Localização da bacia do Rio Una.



Fonte: Autoria própria.

Faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê. Tem contribuição de água no reservatório de Itupararanga, principal manancial de abastecimento de Sorocaba e região, como também geração de energia elétrica e lazer (SÃO PAULO (ESTADO), 2017).

A bacia em sua cobertura superficial apresenta solo exposto, pastagem, matas, edificações urbanas, edificações rurais e campos sujos. Também áreas com agricultura de longo período, havendo pomares, silvicultura de eucalipto e pinus; e agricultura de curto período as quais contem plantio de hortaliças, verduras e tubérculos.

Predomina a cobertura de matas, com fragmentos florestais dispostos geograficamente ao longo de todo seu território, porém, as atividades antrópicas, como Edificações Rurais e Urbanas, vêm ocupando grande parte da área onde antes era ocupado por Matas (SALES, 2015).

4.2. Materiais

4.2.1. Imagens de Satélite

Foram utilizadas imagens digitais Landsat 8 e ASTER, obtidas nos sítios de aquisições gratuitas da United States Geological Survey (2016) e Earth Observing System Data and Information System (2016), respetivamente.

Das imagens Landsat 8 foram utilizadas as bandas 2, 3, 4, 5, 6, e 7 do sensor OLI com resolução espacial de 30 m e a banda 10 do sensor TIRS com resolução espacial de 100 m, para cada pixel da imagem. A imagem ASTER GDEM com resolução espacial de 30 m e foi utilizada para obter a elevação acima do nível do mar na área da bacia.

A escolha das imagens digitais usadas foi definida em função da sazonalidade climática, utilizando-se quatro imagens Landsat 8, uma imagem representativa de cada estação, para calcular com cada uma a radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo representativa para as diferentes épocas. Para a época de primavera foi escolhida a data de 23 de setembro de 2015, para o verão 08 de fevereiro de 2014, outono 18 de abril de 2016, e para o inverno o 24 de agosto de 2016. Datas especificadas por apresentar condições meteorológicas de céu claro, com mínima interferência da atmosfera no fluxo de radiação solar incidente na cobertura terrestre.

Além, as imagens Landsat 8 foram utilizadas para identificar a ocupação da cobertura superficial da bacia pela floresta e as edificações urbanas, com análises visual.

O processamento digital das imagens, para o desenvolvimento metodológico implementado, foi executado com o software ArcGIS 10.3.

4.2.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos usados correspondem à temperatura média horaria no momento da capturas das imagens digitais Landsat 8 escolhidas em cada data, os quais foram obtidos no portal automatizado de processamento de dados meteorológicos em AccuWeather (2016).

4.3. Método empregado

O processo metodológico para o cálculo da radiação líquida na superfície e fluxo de calor no solo foi conforme o algoritmo SEBAL descrito por Allen et al. (2011), mas com as equações e coeficiente definidos especificamente para imagens digitais Landsat 8.

No método do modelo SEBAL se determina inicialmente a radiação solar de ondas curtas e ondas longas incidentes na superfície, e após, estima-se a radiação líquida. Posteriormente, com a radiação líquida se obtém o fluxo de calor no solo.

4.3.1. Cálculo da radiação líquida na superfície

A radiação líquida na superfície da área de estudo foi obtida a partir do balanço entre o fluxo de radiação de ondas curtas incidentes provenientes do Sol com o fluxo de radiação de ondas longas incidentes originadas na atmosfera do planeta, e o fluxo de radiação refletido e emitido pela cobertura terrestre; através da seguinte equação (1) conforme Allen et al. (2011) e a Figura 2:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + \varepsilon_o R_{L\downarrow} - R_{I,\uparrow} \quad (1)$$

Sendo:

R_n a radiação líquida na superfície da área (Wm^{-2});

$R_{S\downarrow}$ a radiação de onda curta incidente na área (Wm^{-2});

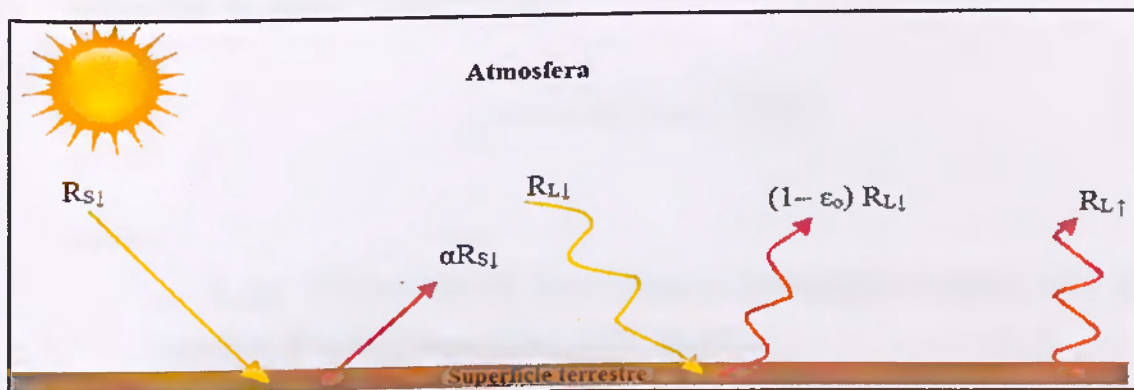
α o albedo da superfície da área (Adimensional);

$R_{L\downarrow}$ a radiação de onda longa incidente na área (Wm^{-2});

$R_{L\uparrow}$ a radiação de onda longa emitida pela superfície da área (Wm^{-2}); e

ϵ_0 a emissividade térmica da superfície da área (Adimensional).

Figura 2 - Processo de incidência, refletância e emitância das radiações entre a atmosfera e a superfície terrestre.



Fonte: Autoria própria.

4.3.1.1. Radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$)

No cálculo da radiação solar de onda curta incidente, assumindo-se condições meteorológicas de céu claro com mínima interferência de nuvens, utilizou-se a seguinte equação de Allen *et al.* (2011):

$$R_{S\downarrow} = d_r G_{sc} \tau_{sw} \cos \theta \quad (2)$$

Sendo:

τ_{sw} a transmitância atmosférica da radiação incidente para dias de céu claro;

G_{sc} é constante solar, com valor de $1367 Wm^{-2}$;

d_r distância relativa entre a Terra e o Sol (Adimensional), em cada uns das datas definidas no estudo;

θ o ângulo de elevação solar ($^\circ$) no momento em que foi captada cada imagem digital Landsat 8, disponível no cabeçalho da imagem.

a) Distância relativa entre a Terra e o Sol (d_r):

A distância relativa entre a Terra e o Sol varia no transcurso do ano pelo movimento de translação que apresenta o planeta.

Para cada uma das datas se determina a respectiva distância de acordo a expressão de Iqbal (1983) em (3):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi d_n}{365}\right) \quad (3)$$

Sendo:

d_n o dia sequencial do ano segundo calendário Juliano para cada estação climática nas datas estabelecidas.

b) Transmitância atmosférica (τ_{sw}):

A transmitância da radiação pela atmosfera do planeta, para dias de céu claro, foi determinada conforme a equação (4) de Allen et al. (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z \quad (4)$$

Sendo:

z a elevação acima do nível do mar (m) da cobertura superficial da bacia em sua área.

Esta elevação “ z ” foi encontrada por meio de modelo digital de elevação global com imagem digital ASTER, do satélite Terra, que apresenta o perfil topográfico delineado referente ao curso de água principal da área de estudo.

4.3.1.2. Albedo da superfície (α)

O albedo da superfície representa a porcentagem de radiação de onda curta incidente da atmosfera que, é refletido pelas coberturas superficiais presente na

bacia. Obtém-se com a equação (5), a qual considera os efeitos ocasionados pela transmitância e espalhamento da radiação na atmosfera do planeta (BASTIAANSSEN et al., 1998; ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2015):

$$\alpha = \frac{\alpha_{TOA} - \alpha_a}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Sendo:

α_{TOA} o albedo no topo da atmosfera (Adimensional);

τ_{sw} a transmitância atmosférica para dias de céu claro (Adimensional);

α_a o espalhamento atmosférico antes de a radiação atingir a superfície, com um valor escalar de 0,03 (ALLEN et al. 2002; SILVA et al., 2015).

a) Albedo no topo da atmosfera (α_{TOA}):

O albedo no topo da atmosfera, não considerando os efeitos das condições meteorológicas e químicas atmosféricas, calculou-se mediante a relação linear das refletâncias planetárias no topo da atmosfera (p_λ) das bandas monocromáticas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 de cada imagem digital do satélite Landsat 8 (TASUMI et al., 2008; ALLEN et al., 2011), como é mostrado na equação (6):

$$\alpha_{TOA} = \sum \omega_\lambda p_\lambda = \omega_2 p_2 + \omega_3 p_3 + \omega_4 p_4 + \omega_5 p_5 + \omega_6 p_6 + \omega_7 p_7 \quad (6)$$

Sendo:

p_λ a refletância planetária no topo da atmosfera das bandas monocromáticas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 da imagem digital; e

ω_λ são os coeficientes de peso das bandas monocromáticas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 da imagem digital.

O coeficiente de peso para as bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 das imagens digitais Landsat 8 foi determinado por Ruhoff et al. (2015), ficando a equação utilizada para obter o albedo no topo da atmosfera da seguinte forma:

$$\alpha_{TOA} = 0,3\rho_2 + 0,276\rho_3 + 0,233\rho_4 + 0,143\rho_5 + 0,035\rho_6 + 0,012\rho_7 \quad (7)$$

A refletância planetária no topo da atmosfera (ρ_λ) para as bandas 2 até a 7, para imagens digitais do satélite Landsat 8, que considera a respectiva correção para o ângulo de elevação solar (θ), foi obtido com a seguinte equação (8) (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2016):

$$\rho_\lambda = \frac{M_p Q_{cal} + A_p}{\sin(\theta)} \quad (8)$$

Sendo:

ρ_λ refletância planetária no topo da atmosfera ($Wm^{-2}srad^{-1}$);

M_p o fator multiplicativo de reescalonamento, o qual corresponde a um valor de 0,00002 para todas as bandas;

Q_{cal} o número digital do pixel de cada uma das bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 da imagem digital;

A_p o fator aditivo de reescalonamento, que tem um valor constante de -0,1 para todas as bandas;

θ o ângulo de elevação solar das imagens ($^\circ$) no momento de ser obtidas pelo satélite, que é disponível especificamente para cada imagem digital no cabeçalho.

4.3.1.3. Radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$)

Aiguns constituintes da atmosfera, ao interagir com a radiação proveniente do sol passam a emitir radiação de onda longa que atinge a superfície da Terra, a qual foi determinada conforme a Lei de Stefan-Boltzmann, que estabelece, para todo corpo com temperatura superior a zero Kelvin (0 K), a energia emitida diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta superficial por seu poder emissivo e pela constante de Stefan-Boltzmann, como se apresenta na seguinte equação (9):

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (9)$$

Sendo:

ϵ_a a emissividade da atmosfera (Adimensional);
 σ a constante de Stefan-Boltzmann com um valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; e
 T_a a temperatura media horaria do ar (K) no momento da captura da imagem na data estabelecida.

a) Emissividade da atmosfera (ϵ_a):

A capacidade emissiva da atmosfera na superfície da bacia se determinou com a equação empírica (10) conforme Allen et al. (2011):

$$\epsilon_a = 0,85(-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (10)$$

Onde τ_{sw} é a transmitância da radiação na atmosfera do planeta para dias de céu claro (Adimensional).

4.3.1.4. Radiação de onda longa emitida ($R_{L\uparrow}$)

A bacia ao receber radiação incidente de onda curta e longa em sua superfície, parte é absorvida gerando um aumento de sua temperatura, e consequentemente emitância de radiação em forma de onda longa novamente à atmosfera, dependendo, em particular, das características da cobertura presente. Esta radiação emitida foi estimada por meio da lei de Stefan-Boltzmann, com a seguinte equação (11):

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \sigma T_s^4 \quad (11)$$

Sendo:

σ a constante de Stefan-Boltzmann, com um valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$;
 ϵ_0 a emissividade da superfície da bacia (adimensional); e
 T_s a temperatura da superfície (K) da bacia, que se determinou por meio da banda 10 das imagens digitais Landsat 8 definida para cada data.

a) Emissividade da superfície na área (ϵ_0):

A emissividade dos diferentes tipos de coberturas da área de estudo foi estimada mediante a seguinte equação empírica (ALLEN et al., 2011; SILVA et al., 2015):

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ LAI} \quad (12)$$

Sendo:

LAI o índice de área foliar da bacia para cada data definida.

Esta equação somente se utilizou quando o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi maior que zero ($\text{NDVI} > 0$) e índice de área foliar menor que três ($\text{LAI} < 3$), especificamente para cada pixel na imagem na área de estudo. Para índice de área foliar maior ou igual que três ($\text{LAI} \geq 3$) está estabelecido a emissividade com um valor escalar de 0,98 e para o índice de vegetação por diferença normalizada menor que zero ($\text{NDVI} < 0$) de 0,985 (ALLEN et al., 2011).

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é um indicador numérico que permite avaliar as condições da cobertura vegetal, suas alterações com respeito a sua vigor, ausência ou presença em um instante de tempo (QUINTANO et al., 2015; WU, S.; CHEN, Y., 2016; RUDY et al., 2013; KARAN; SAMADDER; MAITI, 2016; CHABI et al., 2016). Define-se num intervalo que vai de -1 a +1, onde os valores próximos de +1 significam presença de cobertura vegetal na superfície e os valores próximo e/ou menores que zero (0) indicam ausência (LANORTE et al., 2014; CHIEN et al., 2016).

Este índice para imagens digitais do satélite Landsat 8 é obtido pela razão entre a diferença das refletâncias planetárias no topo da atmosfera da banda 5 (Infravermelho próximo) com a banda 4 (vermelho) e a soma das mesmas refletâncias conforme à equação (15) de Rouse et al. (1974):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (15)$$

Sendo:

p_4 a refletância planetária no topo da atmosfera da banda 4 da imagens digitais Landsat 8; e

p_5 a refletância planetária no topo da atmosfera da banda 5 da imagens digitais Landsat 8.

O LAI é um índice que define a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, indicando a distribuição da biomassa vegetal na bacia (BORATTO; GOMIDE, 2013). Este índice foi obtido com a seguinte equação empírica (ALLEN et al., 2002):

$$LAI = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (13)$$

Sendo:

SAVI o índice de vegetação ajustado ao solo.

O índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), calculou-se também com as bandas 5 e 4 das imagens digitais Landsat 8, em cada data estabelecida, de acordo com Huete (1988) na equação (14):

$$SAVI = \frac{(1+L)(p_5 - p_4)}{L + p_5 + p_4} \quad (14)$$

Sendo:

L o fator de correção para SAVI que minimiza o efeito do solo, e

p_5 e p_4 as refletâncias planetárias no topo da atmosfera da banda 5 e 4 das imagens digitais Landsat 8.

O fator de correção (L) varia entre zero (0) para coberturas vegetais mais densas e um (1) para vegetação menos densa. Os valores ótimos pode ser 1 para densidades baixas ou ausência de vegetação, 0,5 para densidades médias e 0,25 em densidades altas (HUETE, 1988; MAEDA et al., 2007; PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

b) Temperatura superficial da bacia (T_s):

A partir da banda 10 da imagem Landsat 8, que corresponde ao infravermelho termal, foi obtida a temperatura superficial das diferentes coberturas da bacia aplicando a seguinte equação (16) modificada de Planck (SANTOS et al., 2014; UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2016):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (16)$$

Sendo:

T_s a temperatura da superfície da bacia (K) determinada para cada pixel, em cada uma das datas definidas;

K_1 e K_2 constantes de calibração da banda 10 do infravermelho termal de cada imagem digital, o qual corresponde a um valor específico de 774,88 e 1321,08, respectivamente; e

L_λ a radiância espectral no topo da atmosfera da banda 10 das imagens digital ($Wm^{-2}srad^{-1}$).

A radiância espectral no topo da atmosfera (L_λ) para a banda 10 das imagens digitais Landsat 8, são obtidas no site do United States Geological Survey em números digitais (Q_{cal}), podendo ser redimensionados a radiância com a seguinte equação (17) (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2016):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (17)$$

Sendo:

M_L o fator multiplicativo da radiância para a banda 10 da imagem digital, o qual tem um valor de 0,0003342;

Q_{cal} o número digital para cada pixel da banda 10 da imagem digital; e

A_L o fator aditivo da radiância para a banda 10 da imagem digital, com um valor de 0,1.

4.3.2. Cálculo do fluxo de calor no solo (G)

O fluxo de calor no solo foi determinado pela equação empírica (18), que relaciona a temperatura superficial, albedo, e o Índice de Vegetação Normalizada, com a radiação líquida da superfície (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; SUN et al., 2011; CAMMALLERI et al., 2012; DU et al., 2013; MACHADO et al., 2014):

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98NDVI^4) \right] R_n \quad (18)$$

Sendo:

G o fluxo de calor no solo na bacia (Wm^{-2});

T_s a temperatura da superfície (K) da bacia;

α o albedo da superfície da bacia (Adimensional);

NDVI o Índice de vegetação por diferença normalizada da bacia; e

R_n a radiação líquida na superfície da bacia (Wm^{-2}).

Esta equação (18) somente se utiliza quando o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é maior o igual a zero ($NDVI \geq 0$), especificamente para cada pixel na imagem na área da bacia. Para coberturas na bacia onde o índice de vegetação por diferencia normalizada é menor que zero ($NDVI < 0$), os valores de fluxo de calor no solo foram obtidos considerando só a radiação líquida na superfície com a equação (20), conforme Allen et al. (2011):

$$G = (0,5)R_n \quad (20)$$

Sendo:

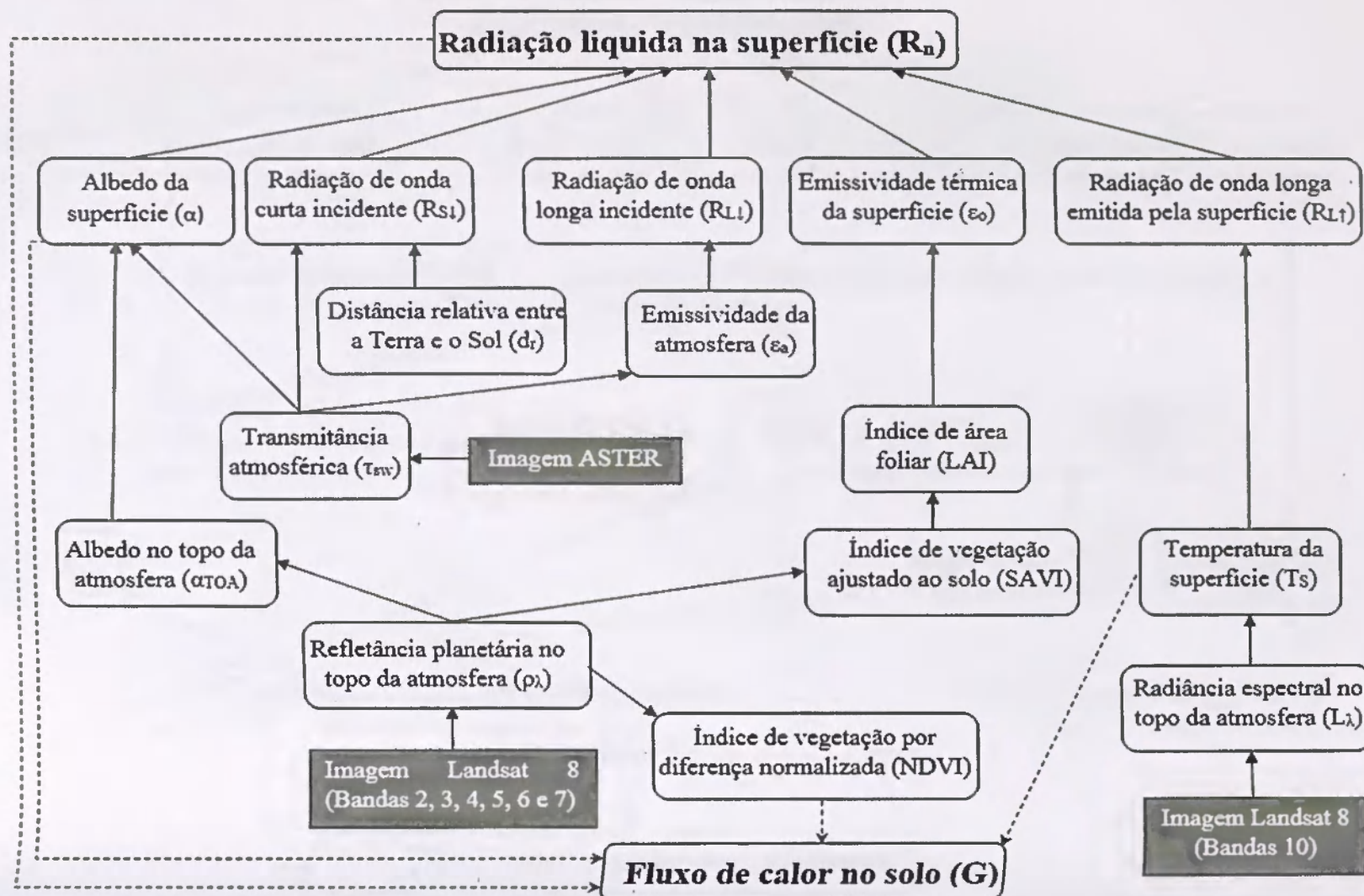
G o fluxo de calor no solo na bacia (Wm^{-2});

R_n a radiação líquida na superfície da bacia (Wm^{-2}).

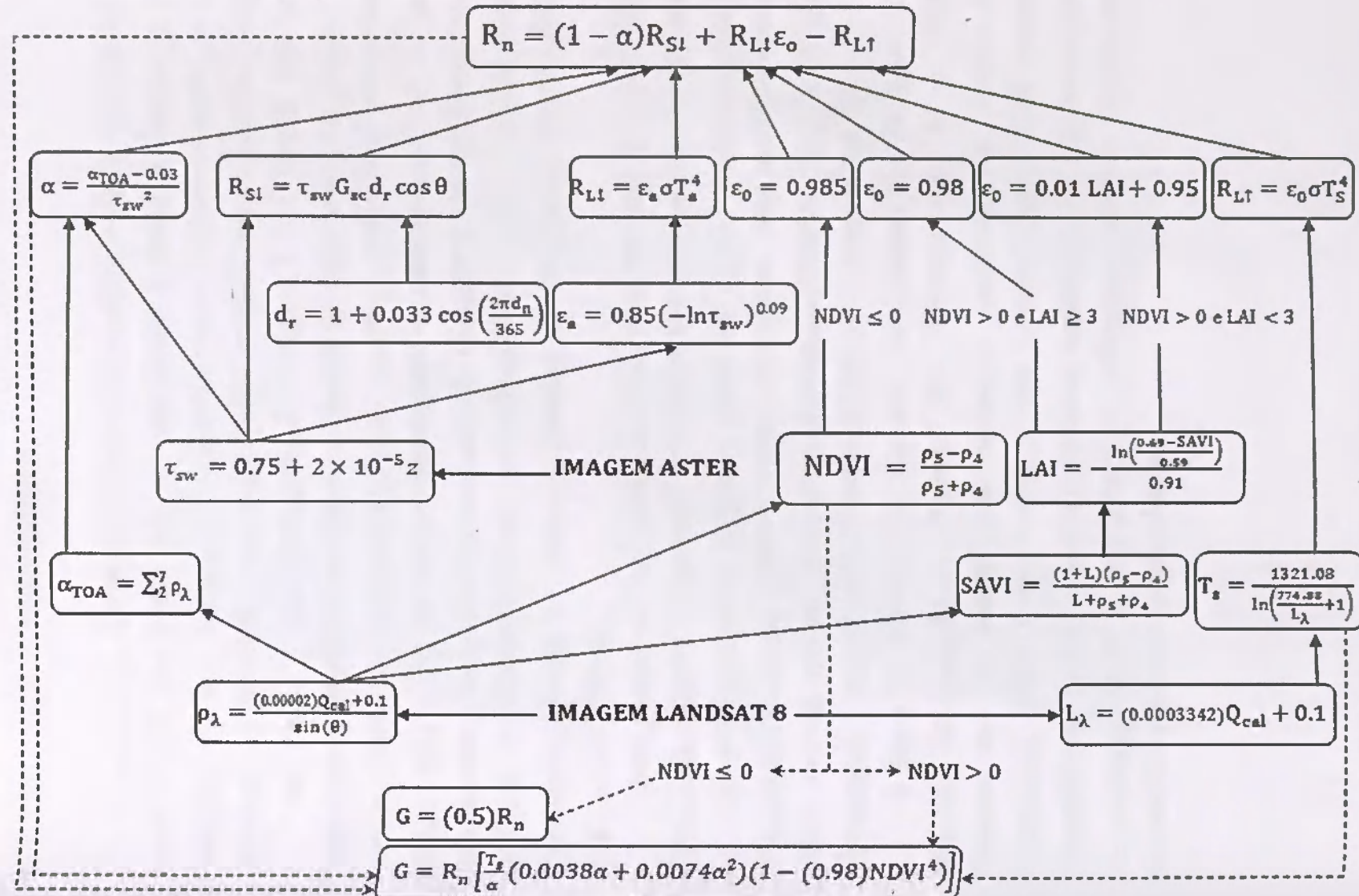
Na seguinte seção 4.4 se pode observar o fluxograma de texto e numérico do método aplicado.

4.4. Fluxograma do método empregado

4.4.1. Fluxograma de texto do método



4.4.1. Fluxograma de equações do método



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

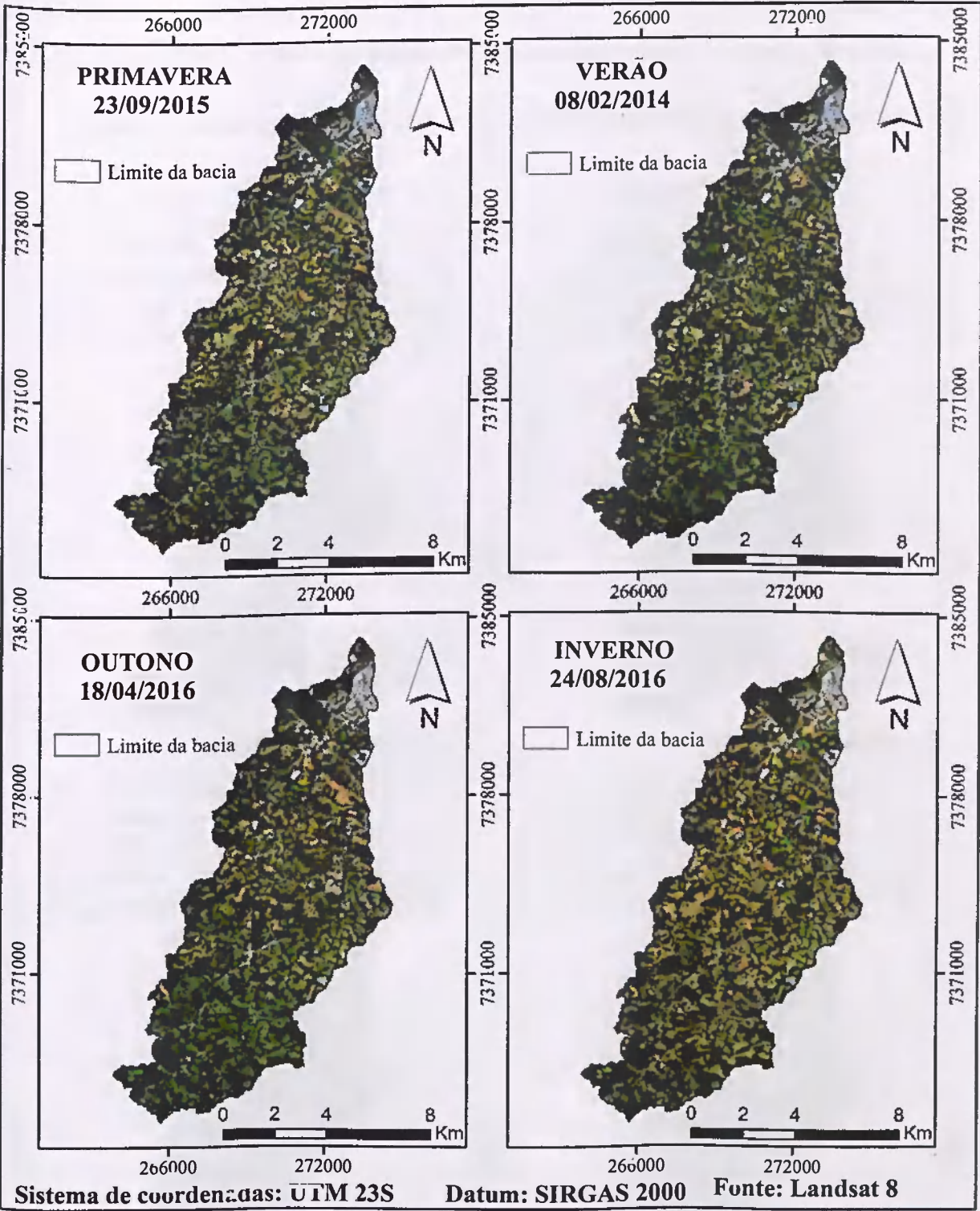
A estimativa da radiação líquida na superfície e o fluxo de calor no solo na Bacia do Rio Una foram feitas no seguimento temporal conforme as estações climáticas, ou seja, quatro datas diferentes para o desenvolvimento do processo metodológico, utilizando uma imagem digital Landsat 8 em cada estação do ano.

Na Figura 3 são mostradas as imagens a cor natural para as datas estabelecidas derivadas das imagens Landsat 8, compostas pelas bandas 4, 3 e 2 correspondente do comprimento de onda vermelho, verde e azul do espectro visível do ser humano. Na Figura 4 se representam as imagens à cor natural, para cada data definida, caracterizada com a ocupação espacial de mata e edificações urbanas na bacia, identificadas por meio de análises visual; aonde se podem observar as construções urbanas ao norte e a presença de fragmentos florestais naturais ao longo de sua extensão.

Estas coberturas nos transcurso das estações, mantem-se constante sua distribuição geográfica e espacial. As outras áreas representam diversas coberturas, que nos transcurso das estações climáticas mudam significativamente pelas atividades das pessoas conforme a ação das chuvas; como acontece nas zonas de cultura de curto período, onde constantemente se modifica o vigor da vegetação, aumentando e diminuindo a exposição do solo de uma época a outra.

A bacia de forma geral apresenta forte intervenção antrópica com uma ocupação desordenada da paisagem pelos distintos usos de solo dados que interfere com as características ambientais presentes nas frações florestais preservadas; sendo a área urbana a zona na bacia com a maior alteração das características naturais, onde foi removida a vegetação com o prévio desmatamento no transcurso dos anos para construir as edificações, alterando completamente as propriedades típicas do ecossistema.

Figura 3 - Imagens Landsat 8 a cor natural da bacia do Rio Una nas estações climáticas.

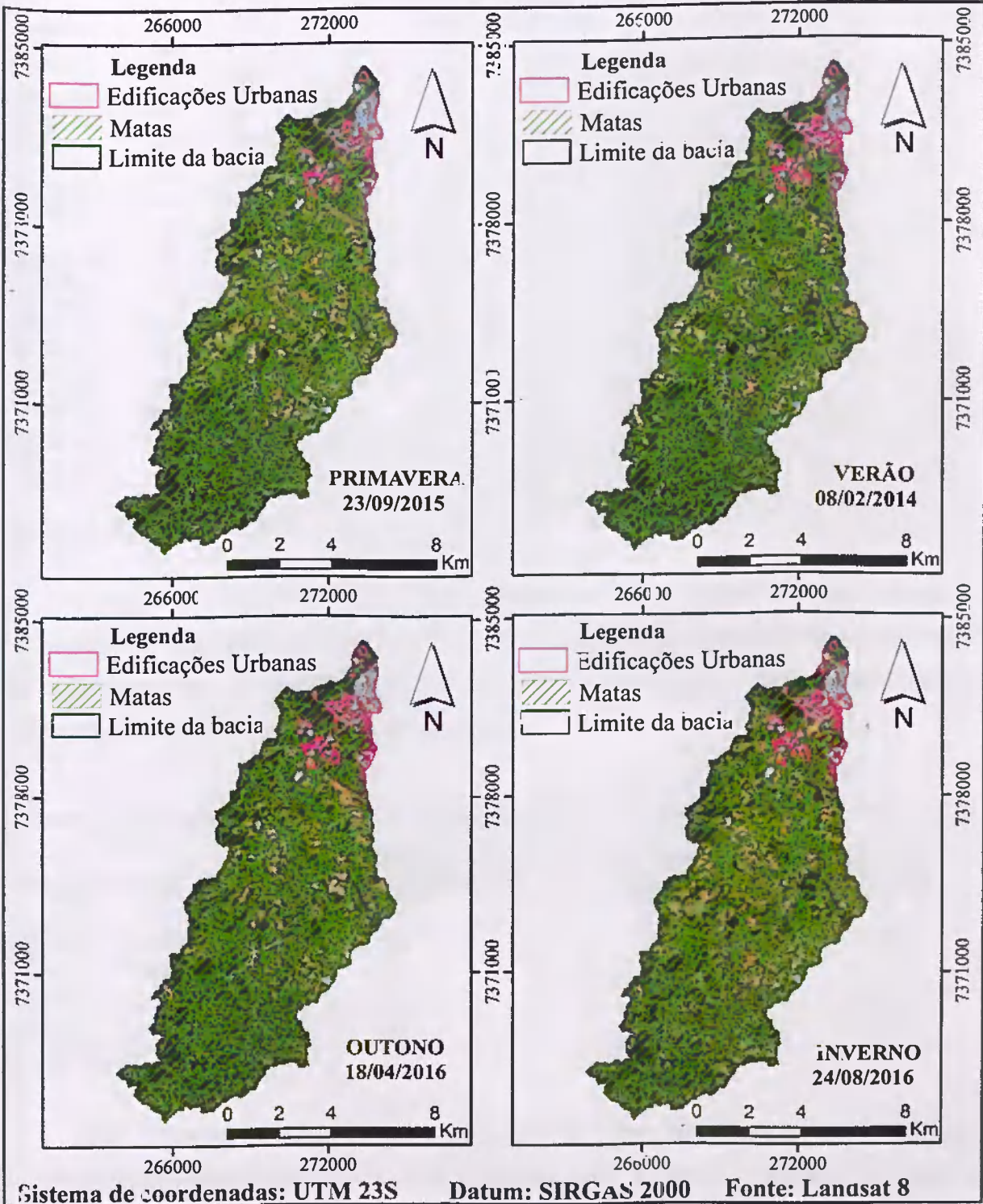


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Para analisar os efeitos causados pela urbanização do entorno ecológico no comportamento do fluxo de radiação na superfície e de calor no solo na bacia, se comparam as áreas de matas e edificações urbanas em cada estação climática; pelo

que na Tabela 1 estão apresentados os valores mínimos, medios e máximos resultados em sua determinação, como também o os parâmetros obtidos em seu cálculo, que após foi analisado detalhadamente com gráficos e mapas temáticos.

Figura 4 - Distribuição espacial das áreas com edificações urbanas e matas na bacia do Rio Una.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Tabela 1 - Valores mínimos (Min.), médios (Med.) e máximos (Max.) da radiação líquida e fluxo de calor, e os parâmetros utilizados para seu cálculo, nas áreas de mata e edificações urbanas nas estações climáticas.

PARÂMETROS		ESTAÇÕES CLIMÁTICAS							
		Primavera		Verão		Outono		Inverno	
		Matas	Edificações urbanas	Matas	Edificações urbanas	Matas	Edificações urbanas	Matas	Edificações urbanas
NDVI	Mín.	0,61	0,03	0,73	-0,04	0,52	-0,06	0,57	-0,06
	Máx.	0,79	0,44	0,84	0,36	0,84	0,46	0,79	0,41
	Méd.	0,73	0,18	0,79	0,19	0,78	0,19	0,72	0,16
Temperatura da superfície (°C)	Mín.	24,8	30,5	25,1	31,1	21,1	25,8	14,8	19,4
	Máx.	28,7	35,9	28,0	35,2	24,0	30,2	17,9	23,1
	Méd.	26,3	33,4	26,2	33,6	22,3	28,0	16,1	21,2
Albedo da superfície (%)	Mín.	8,5%	14,3%	10,1%	13,7%	6,1%	12,6%	5,8%	12,8%
	Máx.	15,2%	26,9%	16,3%	37,2%	16,6%	27,6%	14,5%	28,3%
	Méd.	11,9%	19,3%	13,2%	21,2%	11,4%	18,2%	10,5%	18,3%
Radiação de onda longa emitida (Wm ⁻²)	Mín.	427,1	458,4	431,3	462,3	406,2	430,8	372,3	394,3
	Máx.	450,9	507,0	451,4	502,1	425,7	470,3	391,7	427,9
	Méd.	437,2	476,1	439,0	477,5	415,2	443,1	380,1	404,6
Radiação líquida na superfície (Wm ⁻²)	Mín.	594,1	454,1	652,8	424,6	496,3	367,2	531,3	402,0
	Máx.	665,1	568,8	714,9	629,7	574,2	487,5	601,6	519,3
	Med.	627,7	521,0	682,5	563,8	530,6	447,4	562,3	476,8
Fluxo de calor no solo (Wm ⁻²)	Mín.	46,8	84,4	41,9	91,6	28,5	59,7	14,2	47,6
	Máx.	65,2	239,5	62,6	256,0	42,9	192,8	38,5	229,5
	Méd.	55,8	91,8	52,4	102,2	34,5	65,1	29,9	52,9

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 2 mostra os dados de temperatura média diária, dia sequencial do ano segundo calendário Juliano e o respetivo ângulo de elevação solar no momento da obtenção das imagens digital pelo satélite Landsat 8; dados quantitativos utilizados no modelo para sua implementação.

Tabela 2 - Dado empregado na estimativa da radiação líquida da superfície e fluxo de calor do solo.

Estação climática		Dia sequencial do ano segundo calendário Juliano		Temperatura média diária do ar	Ângulo de elevação solar
		d _n		T _a (°C)	Θ (°)
Primavera	23/09/2015	263		21,5	53,9
Verão	08/02/2014	39		27,0	57,2
Outono	18/04/2016	109		18,5	44,7
Inverno	24/08/2016	237		18,0	44,5

Fonte: Autoria própria.

Nas datas estudadas, o verão apresenta a maior temperatura do ar seguida da primavera, sendo outono e inverno a de menores. O ângulo de elevação solar é específico em cada dia sequencial do ano, dependendo da distancia da Terra e sua

inclinação respeito ao sol, que faz variar a incidência dos raios solares em cada estação.

5.1. Índice vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O NDVI que discriminam a cobertura vegetal na Bacia do Rio Una, nas das datas estabelecidas, podem ser vista na Figura 5.

Em cada uma das estações o vigor da cobertura vegetal na bacia está associada desde vegetação mais densa pela presença de mata com altos valores de NDVI, representada com as cores verdes mais intensos na Figura 5, passando por vegetação agrícola e de pastagem, até estar completamente ausente nos solos expostos, presença de água e zonas com edificações rurais e urbanas com NDVI negativos e/ou próximos ao zero, representadas pelas partes de cor vermelho.

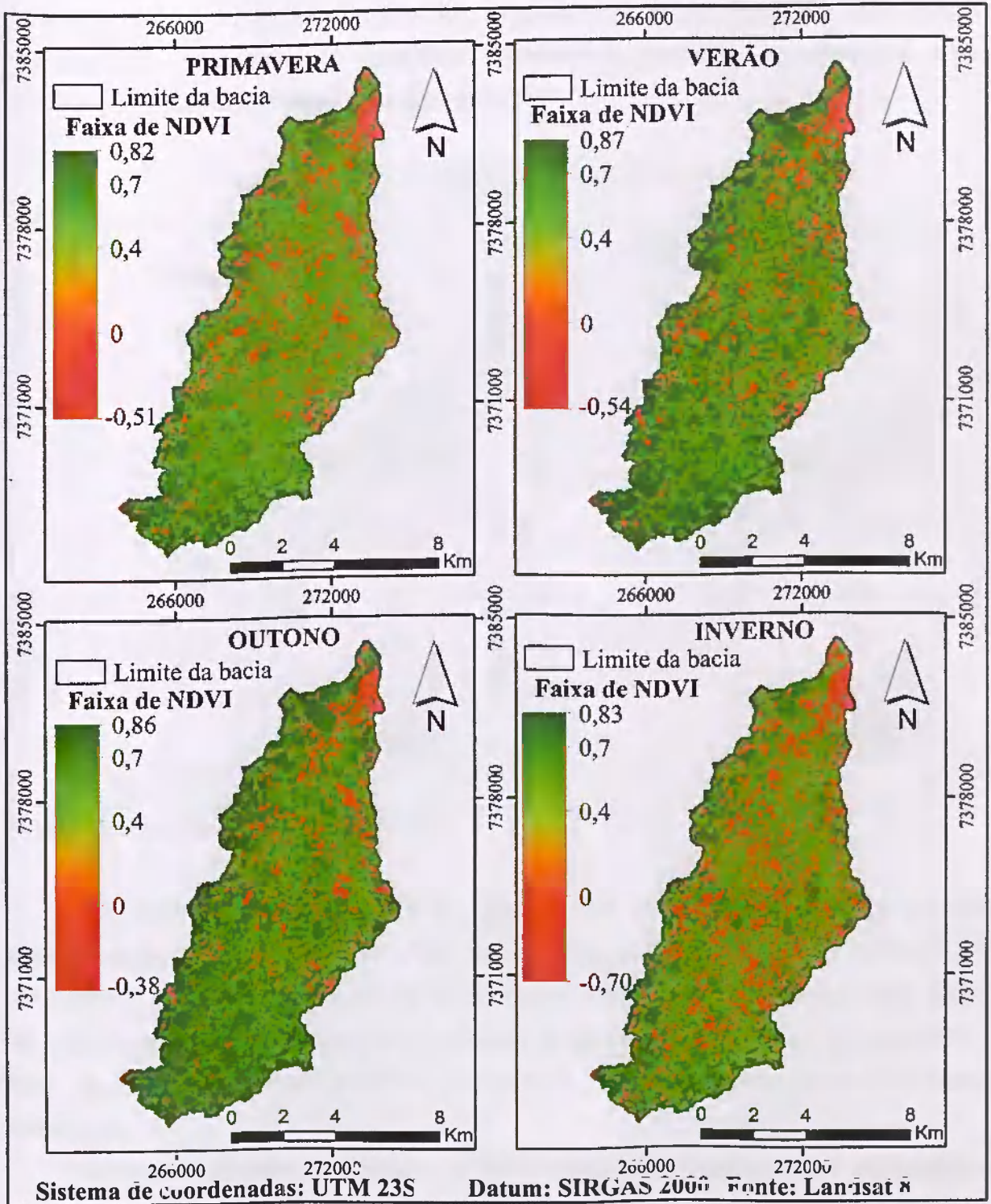
A Figura 6 mostra o histograma de frequência dos números de NDVI para os pixels do mapa em cada uma das estações climáticas, sendo em média de 0,58, 0,64, 0,63 e 0,55; na primavera, verão, outono e inverno, respetivamente.

Em geral, no verão ocorre maior frequência de valores elevados de NDVI e consequentemente superior vigor da vegetação. Enquanto no inverno corresponde ao inferior vigor e presença da cobertura vegetal pelo aumento da exposição do solo. O outono e a primavera, por ser épocas de transição, apresentam valores intermediários.

Estas variações correspondem com o período de estiagem no inverno, época de poucas precipitações onde existe escassez de água para a vegetação, e o período de chuva no verão, com as maiores abundancias da agua.

Na bacia no verão ocorrem pancadas de chuvas de forte intensidade (máximo NDVI), sendo o outono a estação de transição que inicia o período de redução das chuvas até chegar à estação de inverno com as menores precipitações (minimos NDVI), que finaliza na primavera com o início novamente das chuvas pela ocorrência de muitas pancadas de caráter isolado (INSTITUTO METEOROLOGICO DE PESQUITA DE BAURU, 2017).

Figura 5 - Mapa de NDVI na bacia do Rio Una nas estações climáticas.

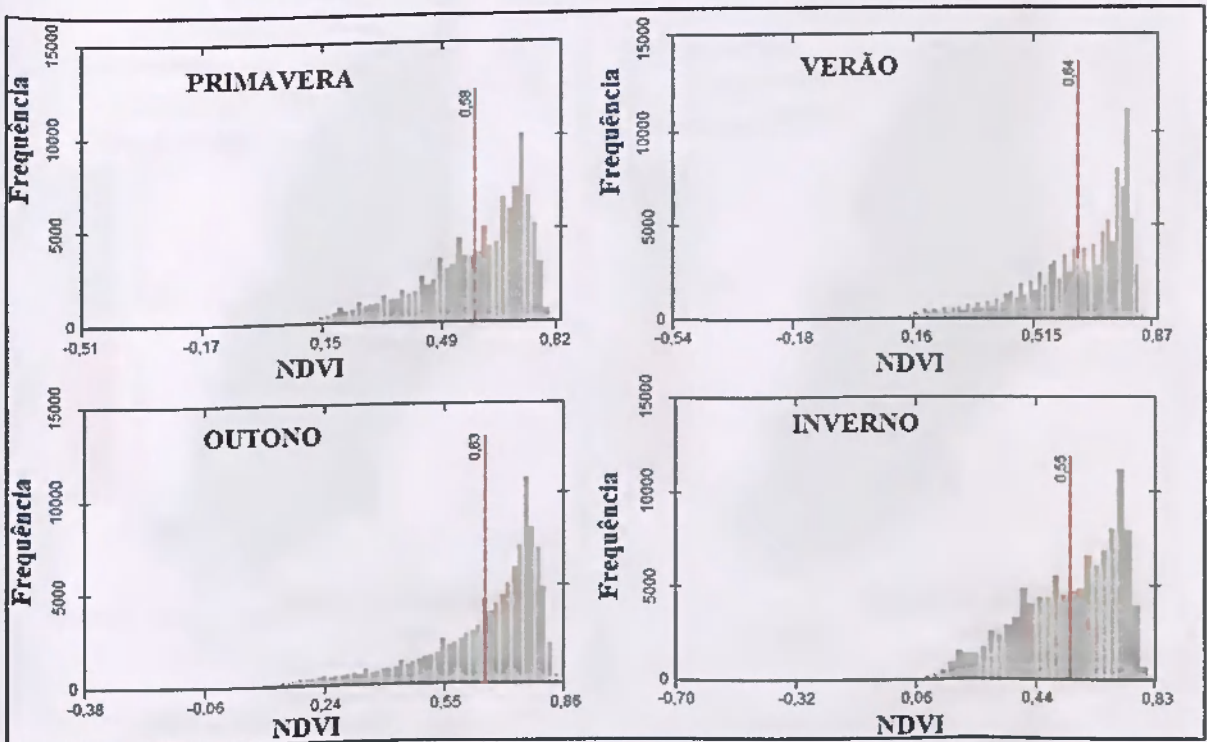


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Pela tendência nos números de NDVI, fica evidente um processo de diminuição de vigor e/ou perda da cobertura vegetal do verão ao inverno; voltando a aumentar de primavera a verão, relacionada diretamente com a ação da chuva pela

disponibilidade da água, que age no processo biológico da vegetação para seu crescimento e sobrevivência, que sofre estresse hídrico na estiagem diminuindo o processo da fotossíntese e, portanto, também a absorção da radiação solar incidente e dióxido de carbono da atmosfera.

Figura 6 - Histograma de frequência dos valores de NDVI.



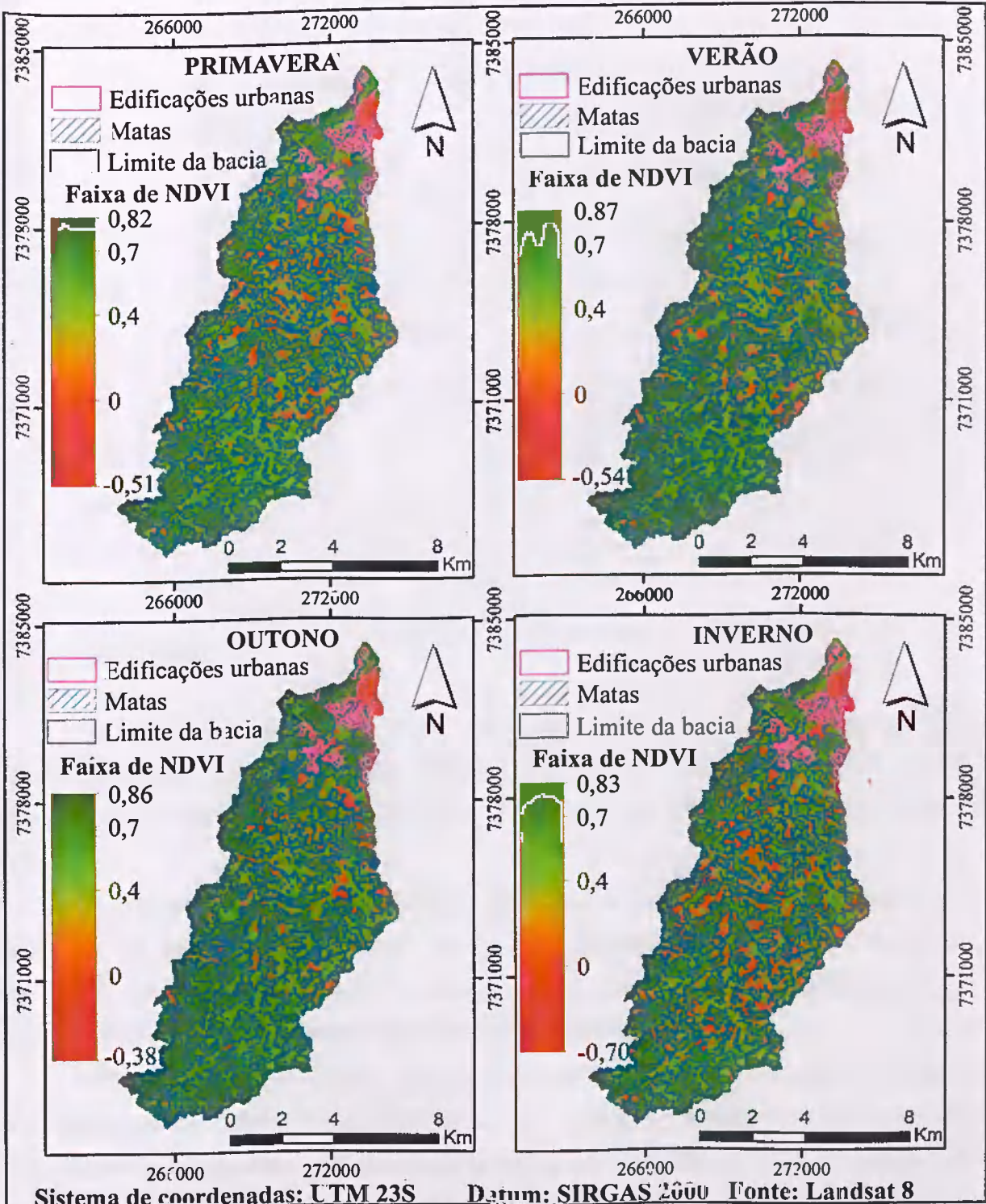
Fonte. Autoria própria com imagens Landsat 8.

Na Figura 7 se pode observar que os altos vigores da vegetação estão concentrados nos fragmentos de mata distribuídos por toda a bacia, em especial no sul onde se concentram as maiores áreas preservadas, e diminui para o norte onde se localiza a área com edificações urbanas; também se observa em sua extensão diversas zonas com solo exposto e baixo vigor vegetal característicos de outras coberturas.

Entre as estações climáticas, os NDVI das áreas com matas e edificações urbanas são relativamente pouco modificados, com baixa alteração da resposta espectral conforme a radiação solar atingida, comparados com o resto de áreas na bacia que apresenta variações; entre os quais estão os sectores pecuários com cobertura vegetal de pastagem e campos sujos, e agrícolas, onde a variabilidade é

propiciada, aiem da açao da chuva, pelas alteraçoes antropicas feita no regime de cada estaçao associado ao uso do solo e sua ocupaçao.

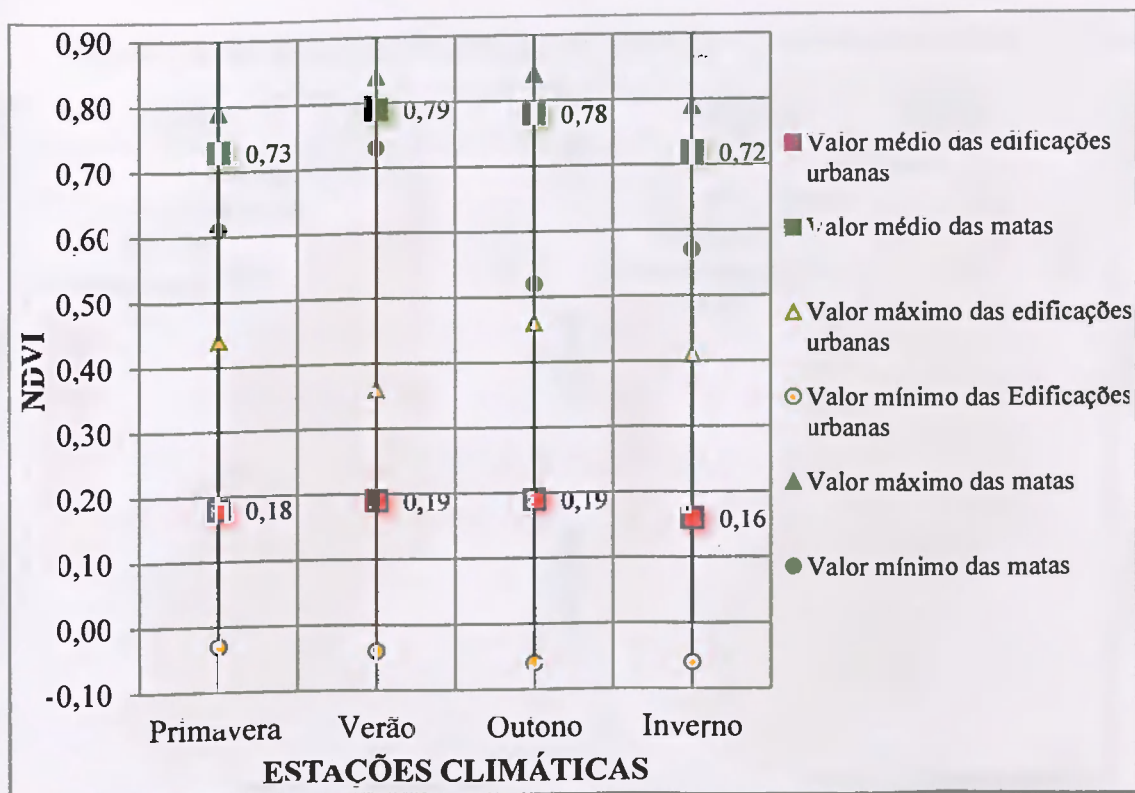
Figura 7 - Mapa de NDVI com as áreas de mata e edificações urbanas na Bacia do Rio Una.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

A Figura 8 mostra o gráfico comparativo das áreas de mata e edificações urbanas a partir dos dados na Tabela 1 apresentados anteriormente.

Figura 8 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de NDVI das áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte. Autoria própria.

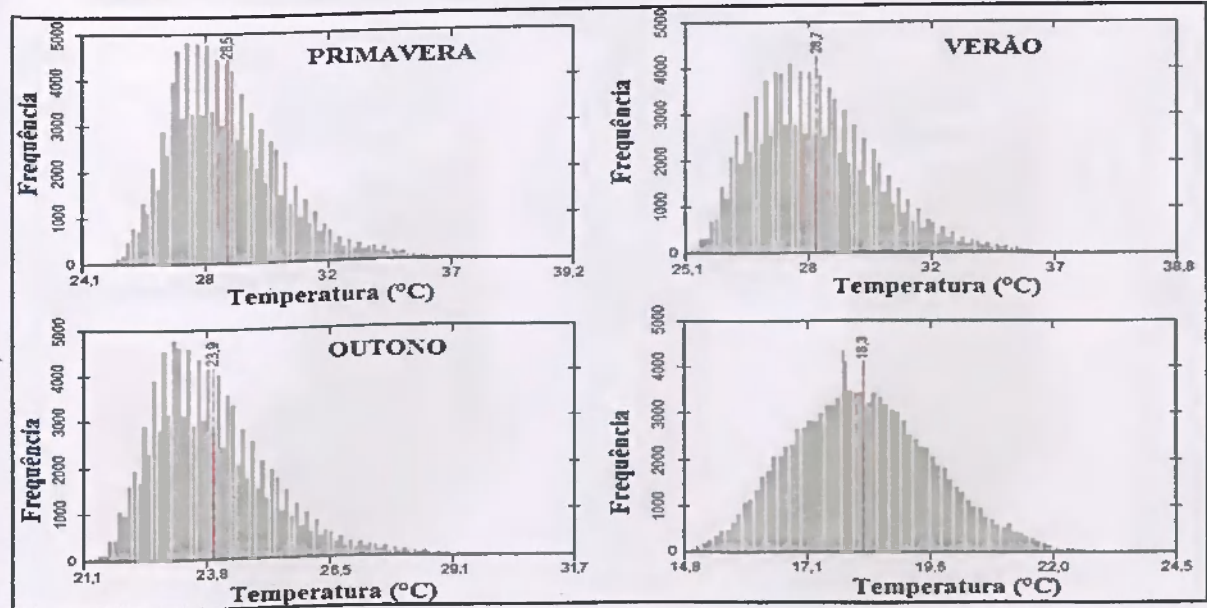
No gráfico se visualiza as áreas de matas apresentando em média um NDVI elevado, superior aos 0,70, o que significa alto vigor da cobertura vegetal, sintoma de vegetação saudável, e as edificações urbanas baixo NDVI, com média inferior a 0,2.

O valor médio de NDVI nas matas tem, conforme a sequencia estacionai, um aumento em verão com respeito à primavera, apresentando sua máxima magnitude no verão, enquanto de outono a inverno diminui; coincidindo esta variação com o período chuvoso como se havia descrito anteriormente.

Nas edificações o NDVI em média apresenta pouca mudança entre as estações, menos flutuante que nas matas, não agindo o estresse hídrico como fator influente nos constituintes de sua cobertura; mas a amplitude entre o máximo e o mínimo valor foi em todas as épocas maior que nas matas, pelas respostas espectrais de suas variadas características físicas.

Os mapas da Figura 9 e os nistogramas de frequência da Figura 10 reveiam o inverno como a época com faixas inferiores e valor médio de temperatura na superfície da bacia, seguida de outono; ficando o verão como a estação com a temperatura média mais alta e após a primavera.

Figura 10 - Histograma de frequência dos valores de temperatura superficial da bacia.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Nota-se que os valores médios de temperatura oa superfície para cada estação contêm similar dinâmica de variação de incremento e/ou diminuição com as temperaturas do ar entre as datas, como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Temperatura superficial em cada estação climática.

Estações climáticas		Temperatura da superfície (°C)		Amplitude térmica (°C)	Temperatura media da superfície (°C)	Temperatura media do ar (°C)
		Mínima	Máxima			
Primavera	10/11/2015	24,1	39,2	15,1	28,5	21,5
Verão	08/02/2014	25,1	38,8	13,7	28,7	27,0
Outono	04/05/2016	21,1	31,7	10,6	23,9	18,5
Inverno	24/08/2016	14,8	24,5	9,70	18,3	18,0

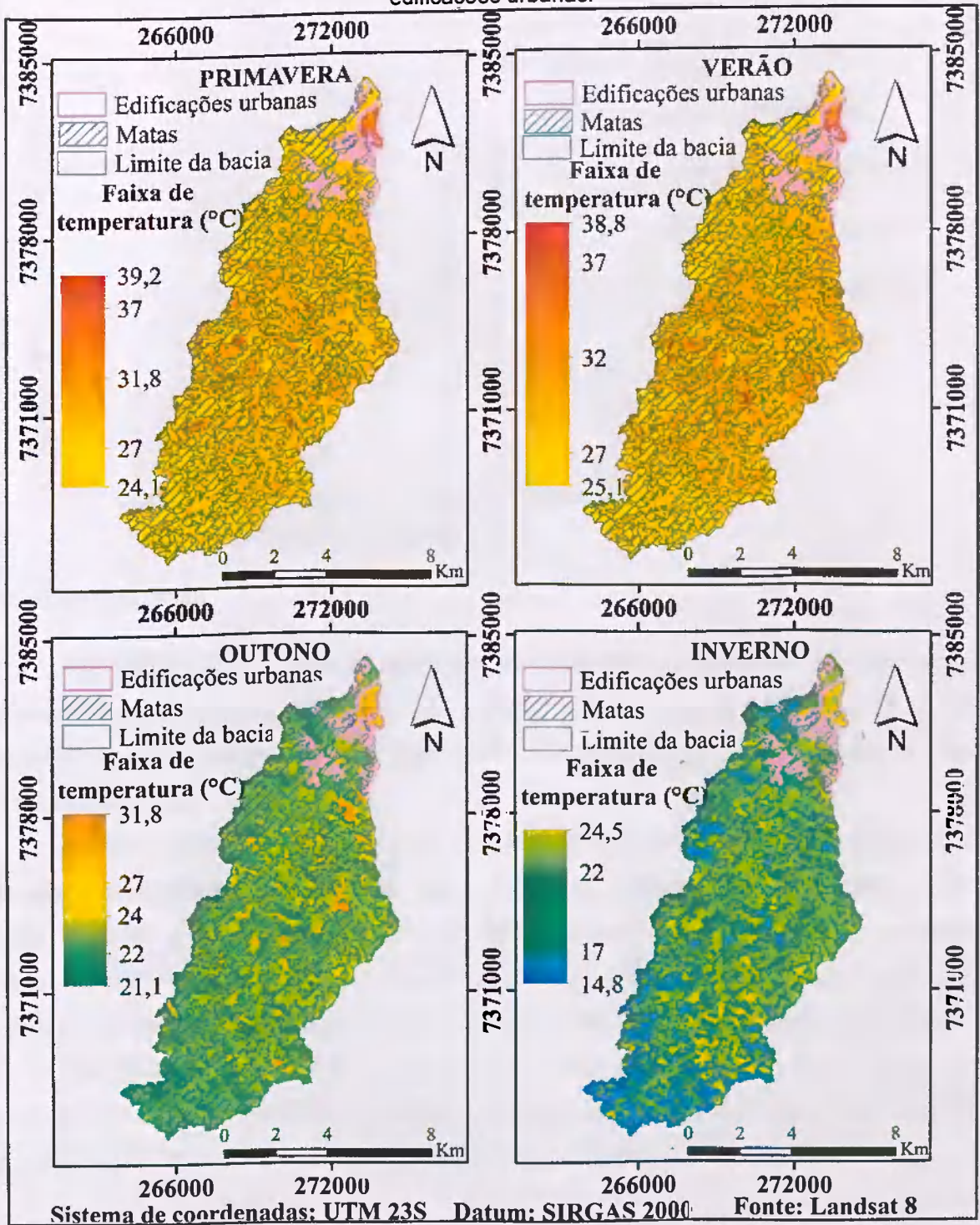
Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 3, também se pode observar as mínimas e máximas temperaturas em cada época, com amplitude térmica que variam desde os 9,7 °C no inverno até os 15,1 °C no verão; amplitudes que derivam das heterogeneidades de coberturas

superficiais presentes na bacia, que adquirem temperaturas particulares conforme a sua composição.

Na bacia as edificações urbanas comparecem as maiores temperaturas, enquanto as áreas com matas as menores (Figura 11).

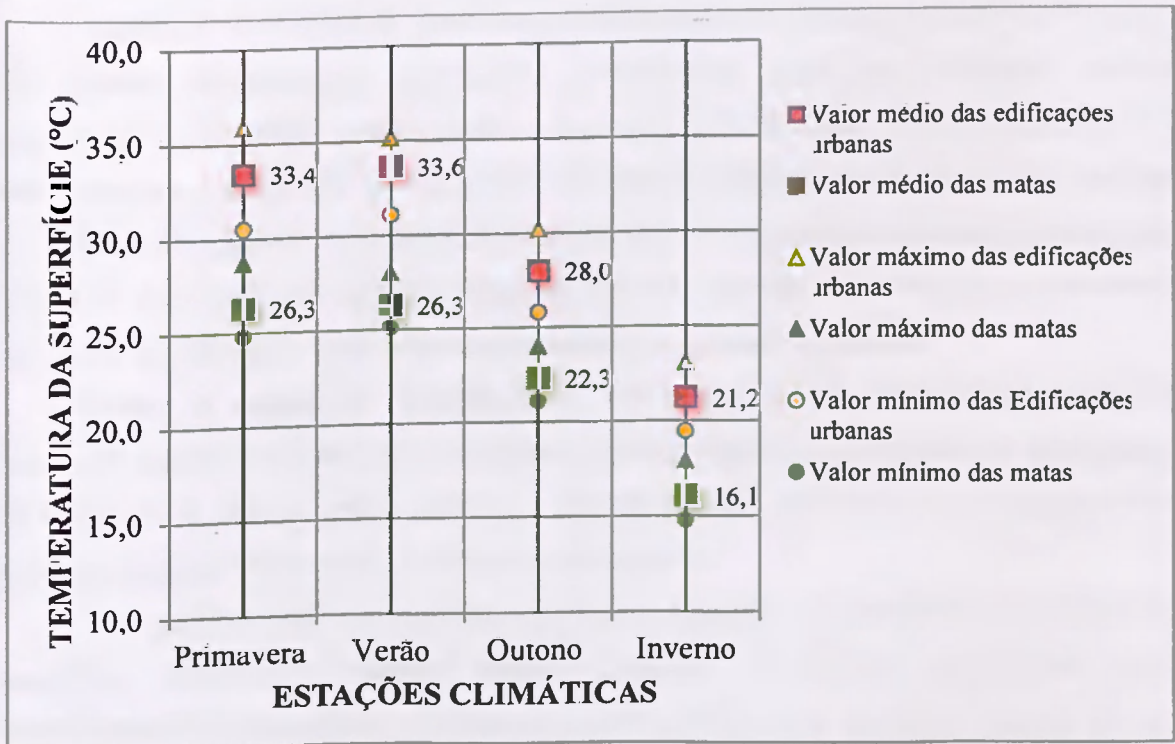
Figura 11 - Mapa de temperatura superficial da Bacia do Rio Una com as áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Os dados de temperatura da Tabela 1 apresentado no gráfico oá Figura 12, mostram as variações das temperaturas na área de matas e a antrópica para as diferentes épocas.

Figura 12 - Gráfico de valores mínimos, médios e máximos de temperatura superficial das áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria.

Observam-se em cada estação as temperaturas superficiais das edificações urbanas são superiores referentes às matas. Esta diferença da temperatura está relacionada diretamente com a interação das coberturas com a radiação solar incidente na bacia.

A área urbana por estarem conformadas com ruas, avenidas, prédios, casas e demais construções, constituídas com matérias como asfalto, concreto, vidro, metais, telhas, entre outros; a falta de áreas cobertas com vegetação apresenta pouco ou nada de processos de evapotranspiração e fotossintéticos que consumam a energia solar, como normalmente acontece nas áreas nos fragmentos de matas.

Nas matas a energia é consumida nos processos naturais para sua sobrevivência, e nas edificações urbanas é absorvida no aquecimento dos materiais constituintes com a consequente elevação da temperatura.

São relevantes as alterações ambientais relacionadas às construções antrópicas na modificação dos padrões espaciais e temporais de temperatura superficial. As mudanças no uso e ocupação do solo na bacia estão provocando variações da temperatura na cobertura, fato evidenciado pelo aumento nas construções urbanas que repercutem com as condições ambientais originais.

Assim, a área urbana interfere na qualidade da mesma superfície terrestre e dos gases atmosféricos contíguos, comparados com as condições naturais adjacentes na floresta, favorecendo o aquecimento climático. A urbanização por ter temperaturas superiores termodinamicamente concentra maior calor que as áreas de mata, podendo por transferência térmica aquecer mais ao ar contíguo comparado com o ar que esta em contato direto nas áreas naturais, elevando sua temperatura acima da temperatura normal proporcionada na cobertura vegetal.

Então a vegetação influencia no regulamento da temperatura superficial, sendo de grande importante no condicionamento térmico apropriado do ecossistema da bacia; pelo visto, é importante sua presença para amenizar a temperatura tanto na superfície terrestre como a do ar na atmosfera.

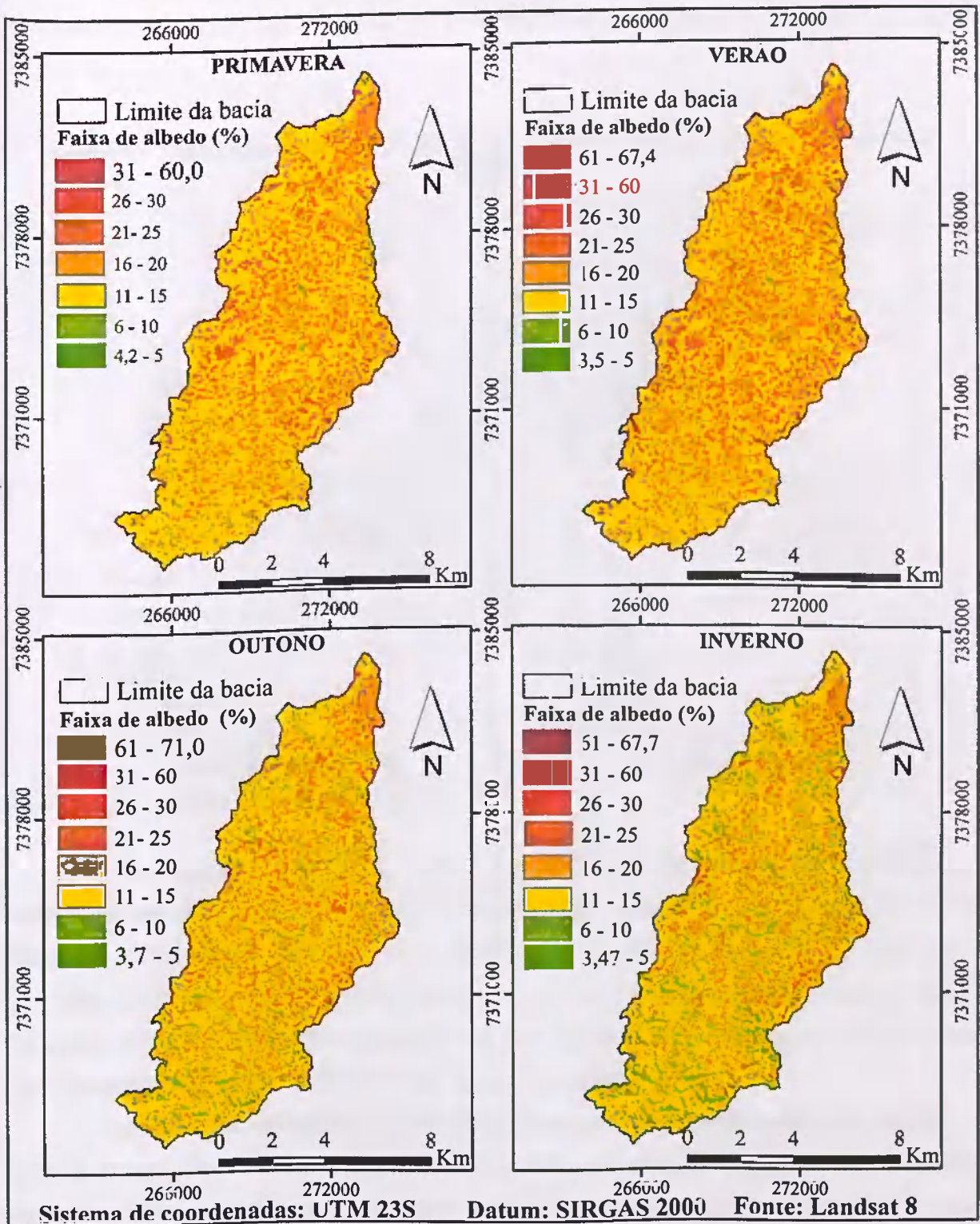
Em relação com outros estudos aonde também se determina a temperatura superficial utilizando imagem digitas Landsat 8, Coelho e Correa (2013), demonstraram no município de vitória no estado de Espirito Santo na Região Sudeste de Brasil, igualmente a área urbana apresentou valores superiores com respeito à de matas. Registraram nas edificações urbanas temperaturas acima de 30,6 °C, sendo predominante entre os 23,1 °C aos 29 °C, enquanto que na área com vegetação na floresta as temperaturas predominantes foram menores aos 25,1°C. Correspondendo com a situação presenciada na bacia do Rio Una.

5.3. Albedo da bacia do Rio Una

A Figura 13 mostra o albedo de superfície da Bacia do Rio Una, isto é, a porcentagem de radiação solar incidente refletido de volta para a atmosfera em cada período de sazonalidade climática.

A bacia exibe em média porcentagem de refletância da radiação de 13,9% e 13,4% em outono e inverno, respetivamente, para primavera e verão de 15,0% e 16,1%; como se consegue ver nos histogramas da Figura 14.

Figura 13 - Mapas de Albedo da Bacia do Rio Una nas estações climáticas.

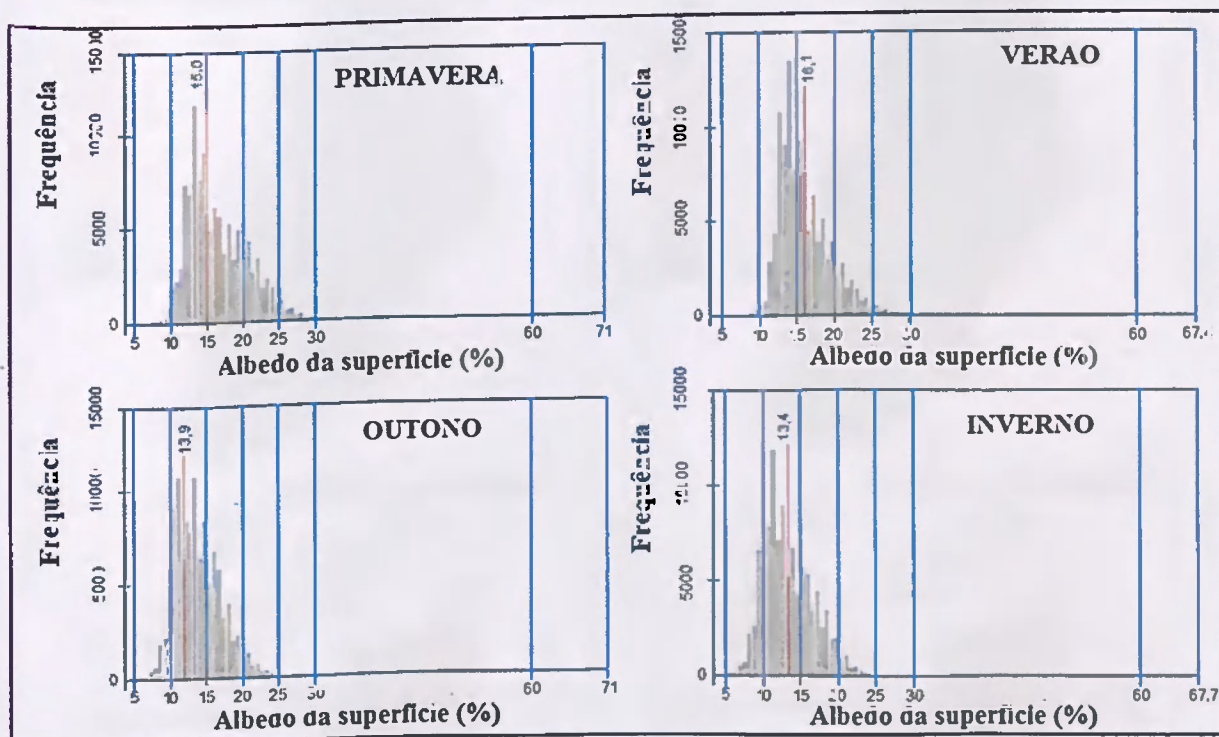


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Em todas as estações a porcentagem de albedo varia significativamente entre 5 a 30%, sendo baixos os valores superiores a este intervalo, entretanto no verão e na primavera há uma maior ocorrência de pixels na porcentagem entre 15 a 20% e

nas outras duas estações tende acrescentar na faixa de 10% a 15%, como pode se analisar e visualizar nos histogramas de frequência da Figura 14 e mapa da Figura 13.

Figura 14 - Histograma de frequência dos valores de albedo superficial da bacia nas estações climáticas.

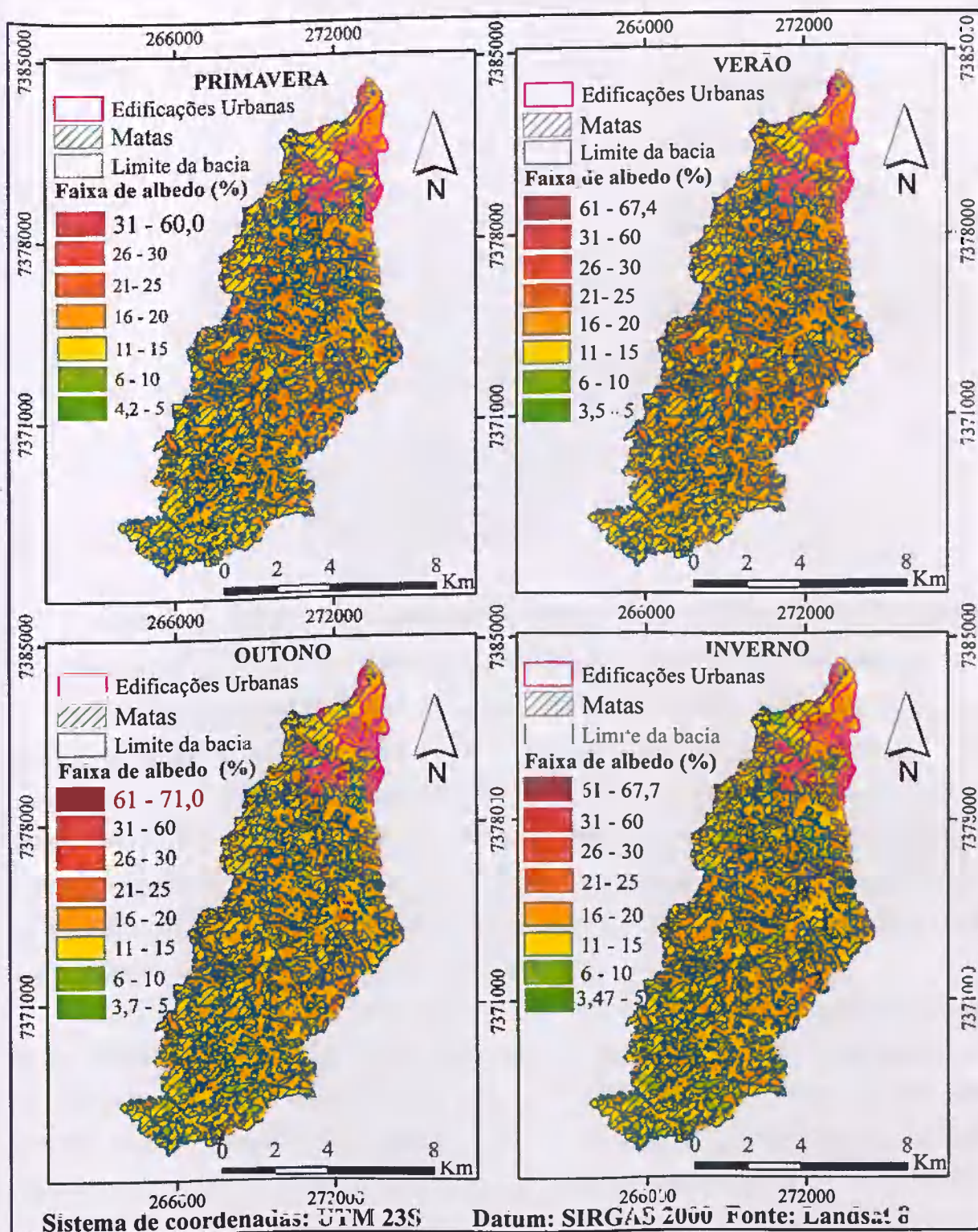


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

A urbanização construída, pelas características dos materiais constituintes, reflete em média quase o dobro da radiação solar que as áreas naturais de mata conservada, como se interpreta dos valores da Tabela 1 no gráfico da Figura 16. Também a amplitude entre o valor máximo e mínimo, em todos os períodos, é maior na área de edificações, correspondente à heterogeneidade de propriedades físicas de refletância dos variados elementos que estão presentes.

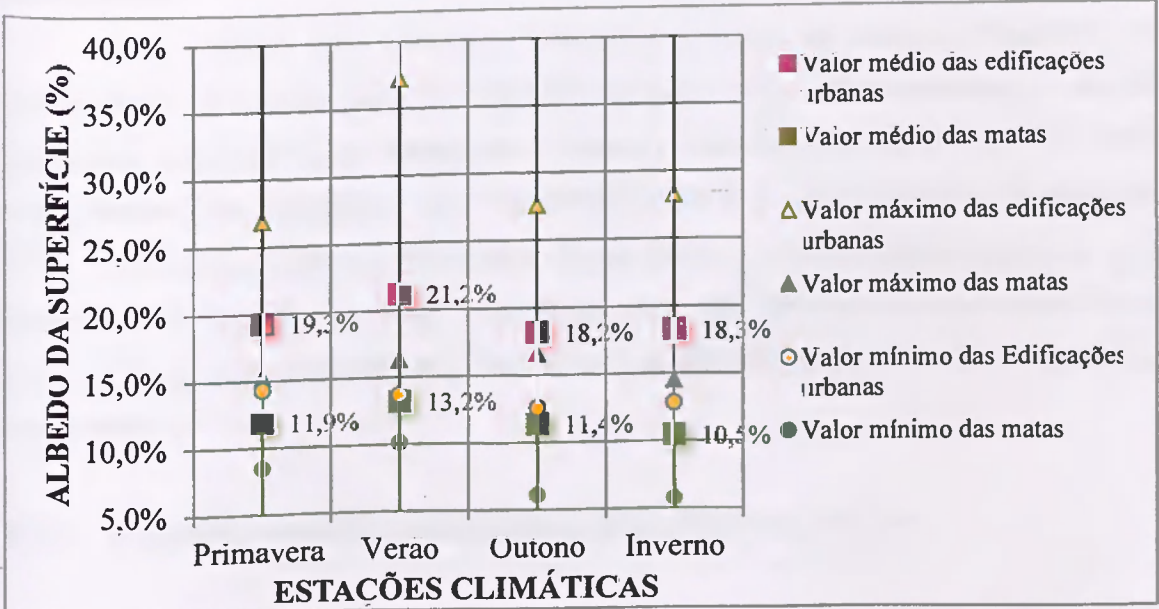
As áreas com edificações urbanas apresentam albedo com alta frequência de valores predominante entre a faixa de 17 a 30% em todas as épocas do ano, além de áreas com porcentagem superiores aos 35%, entretanto, nas áreas com mata todos os valores são inferiores a 18%, estando na faixa dos 5 a 17% (Figura 15 e Figura 16).

Figura 15 - Mapas de albedo da bacia do Rio Una com as áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Figura 16 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de albedo superficial das áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se então que a uroanização altera o aibedo característico da bacia representativo nas condições naturais, aumentando a refletividade da superfície.

Portanto, em comparação, as áreas com intervenção antrópicas e as de matas, a absorção da radiação solar incidente nos processos biológicos da vegetação que influenciam na quantidade refletida de volta para a atmosfera. As superfícies florestadas consomem energia solar para seu sustento e crescimento na superfície terrestre. A ausência de vigor ou pouca cobertura vegetal, como acontece na área urbana, aumenta a refletância da radiação solar incidente que se torna para a atmosfera a agir sobre os gases que a compõem.

Com respeito a estudos similares de albedo de superfície, recentemente Silva et al. (2016) obtiveram na bacia hidrográfica de Piranhas-Açu, localizada no nordeste do Brasil entre os estados de Paraíba e Rio Grande do Norte, valores de albedo concentrados em sua maioria entre o 3% e 35%, como também alguns valores até de 80%, utilizando o mesmo processo metodológico, com imagens digitais do satélite Landasat 8 nas estação de inverno e da primavera. Determinaram especificamente para área urbana porcentagem predominante de 25% a 31,2% e maiores a estas, entretanto, para áreas com vegetação vigorosa plantada acharam albedo predominante entre 13 a 18,7 %, mas também alguns valores que chegam ao 5,3%. Variação de valores que se assemelham nas faixas definidas neste

trabalho para as áreas de vegetação nas matas e a sem cobertura vegetal nas edificações.

Outro estudo feito Gionfo e Vettorazzi (2014), na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí no centro-leste do Estado de São Paulo, determinaram o albedo da superfície para todas as estações climáticas nos anos de 2009 e 2010, definindo porcentagem de refletância com destaque entre 6 a 31%, com média entorno aos 20%, e escassos valores superiores desta faixa. Também registraram os maiores albedos nos períodos de final e início de ano, nas estações de primavera e verão, corroborando com a semelhante variação dos determinados nos diferentes períodos deste estudo.

5.4. Radiação de onda curta incidente na Bacia do Rio Una

Os fluxos de radiação de onda curta incidente na Bacia do Rio Una para cada período se mostram na Figura 17.

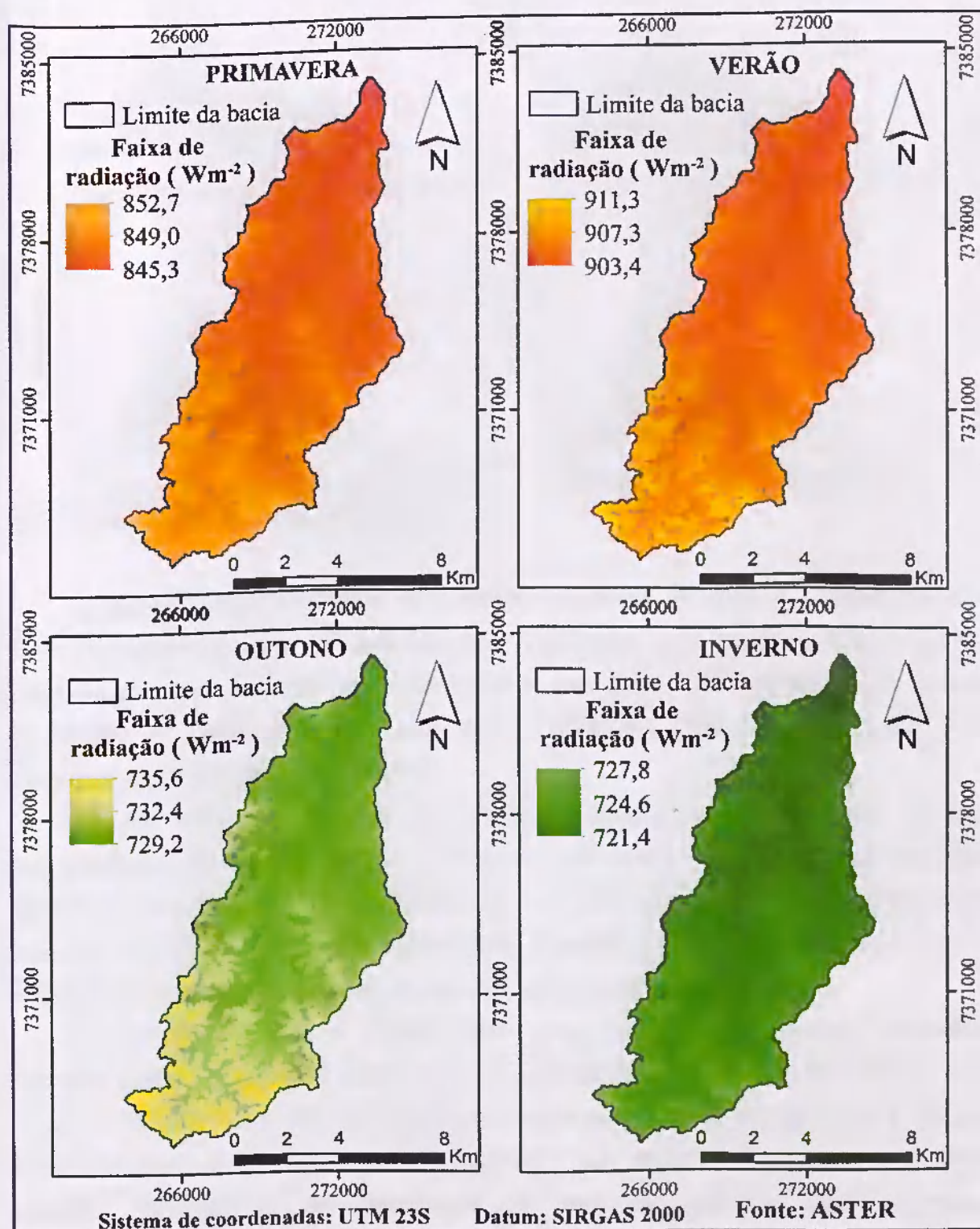
Nas estações, o verão exibe a maior radiação solar incidente com média de $905,70 \text{ Wm}^{-2}$, após a primavera, o outono e o inverno com $847,4 \text{ Wm}^{-2}$, $731,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $723,3 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente. A Figura 18 mostra os histogramas de frequência dos valores de Radiação de onda curta incidente na bacia onde se visualiza isto.

O verão e a primavera expõem as faixas de radiação incidente mais alta, e o inverno com o outono as menores. Isto é explicado pela trajetória elíptica no movimento anual de translação da Terra em torno do Sol e a inclinação de seu eixo de rotação em relação ao plano de sua órbita, que determinam a intensidade de radiação solar incidente atingida na superfície da bacia no transcurso do ano.

Além de mudar no ano, a quantidade de radiação incidente em cada uma das estações na bacia varia ao longo de sua extensão em função de sua geografia. Em todas as épocas a amplitude resultada entre o máximo e o mínimo valor de incidência de radiação é superior a $6,3 \text{ Wm}^{-2}$, como se pode analisar nos histogramas. Esta variação acontece conforme a configuração altimétrica, sendo as áreas de menor pressão atmosférica localizadas nas cotas de maior altura no sul as que recebem maior incidência; e as áreas de menor cota de altura situadas no norte com maior pressão atmosférica, as de valores inferiores de radiação. Pelo que se apresenta a tendência de aumento de fluxo de radiação solar de norte a sul conforme diminui a pressão dos gases na atmosfera pela altura, que melhora sua

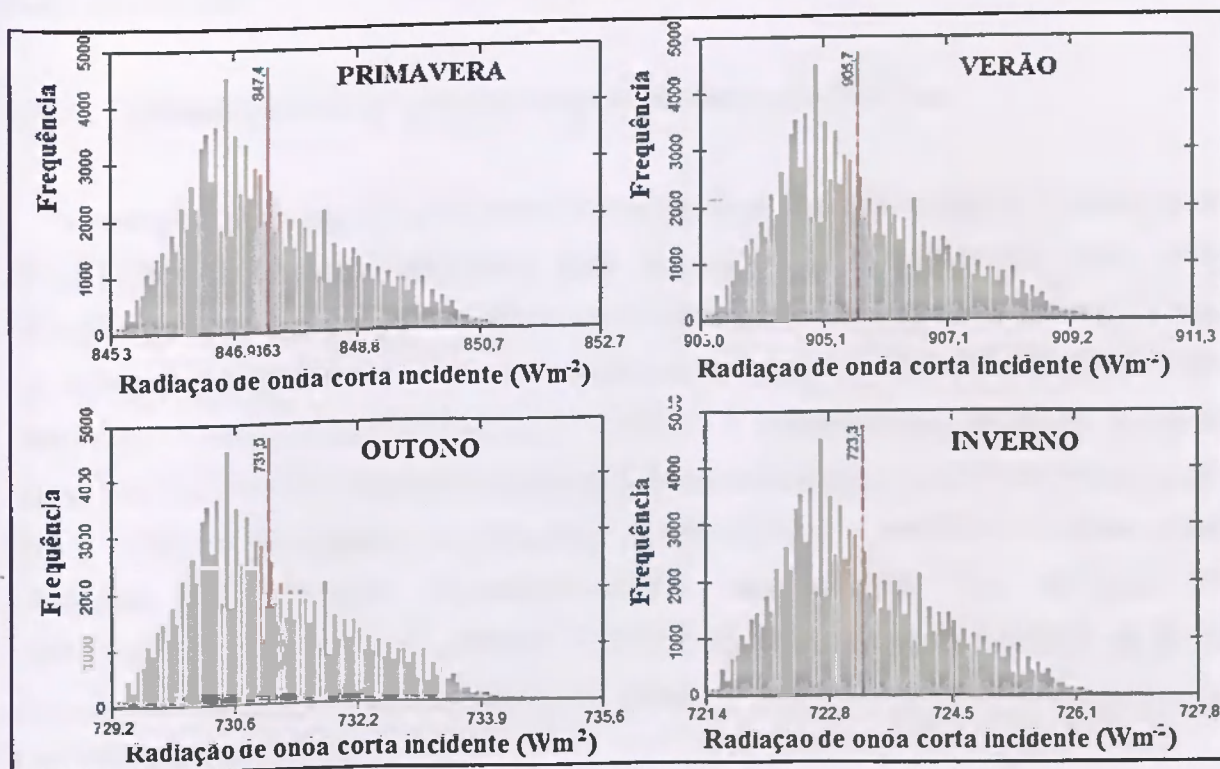
transmitância no espaço, reduzindo os efeitos de espalhamento e absorção, o que permite sua chegada com mais intensidade na cobertura superficial.

Figura 17 - Mapas de radiação solar de onda curta incidente na bacia do Rio Una, nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagem ASTER.

Figura 18 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda curta incidente na bacia nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagem ASTER.

A radiação solar incidente que atinge as áreas de mata é consumida em grande magnitude nos processos da evaporação da água, fotossíntese e transpiração nas plantas. Nas edificações antrópicas a radiação, em ampla proporção, é absorvida pelos materiais constituintes que sofrem aquecimento elevando sua temperatura superficial.

Quanto mais alto o fluxo de energia incidente na bacia, maior é sua disponibilidade para os processos biológicos dos seres vivos, o aquecimento da superfície e a refletância para a atmosfera. Fato pelo que o verão com a primavera exibem os máximos valores de temperatura superficial e albedo comparado com a estação de outono e inverno, como anteriormente se apresentou.

Conforme a Allen et al. (2002), Silva et al. (2015) e a Comissão da União Europeia (2004), a radiação solar de onda curta atingida no topo da atmosfera varia entre 1.325 Wm⁻² e 1.412 Wm⁻² no ano conforme distância do Sol com a Terra, porém somente a quantidade dentre 200 Wm⁻² até 1000 Wm⁻² chega à superfície terrestre, dependendo da localização da área no planeta, data e hora. Correspondendo neste intervalo o valor mínimo de 721,2 Wm⁻² e máximo de 911,3

Wm^{-2} de radiação incidente estimado para a bacia no inverno e no verão, respectivamente.

5.5. Radiação de onda longa incidente na Bacia do Rio Una

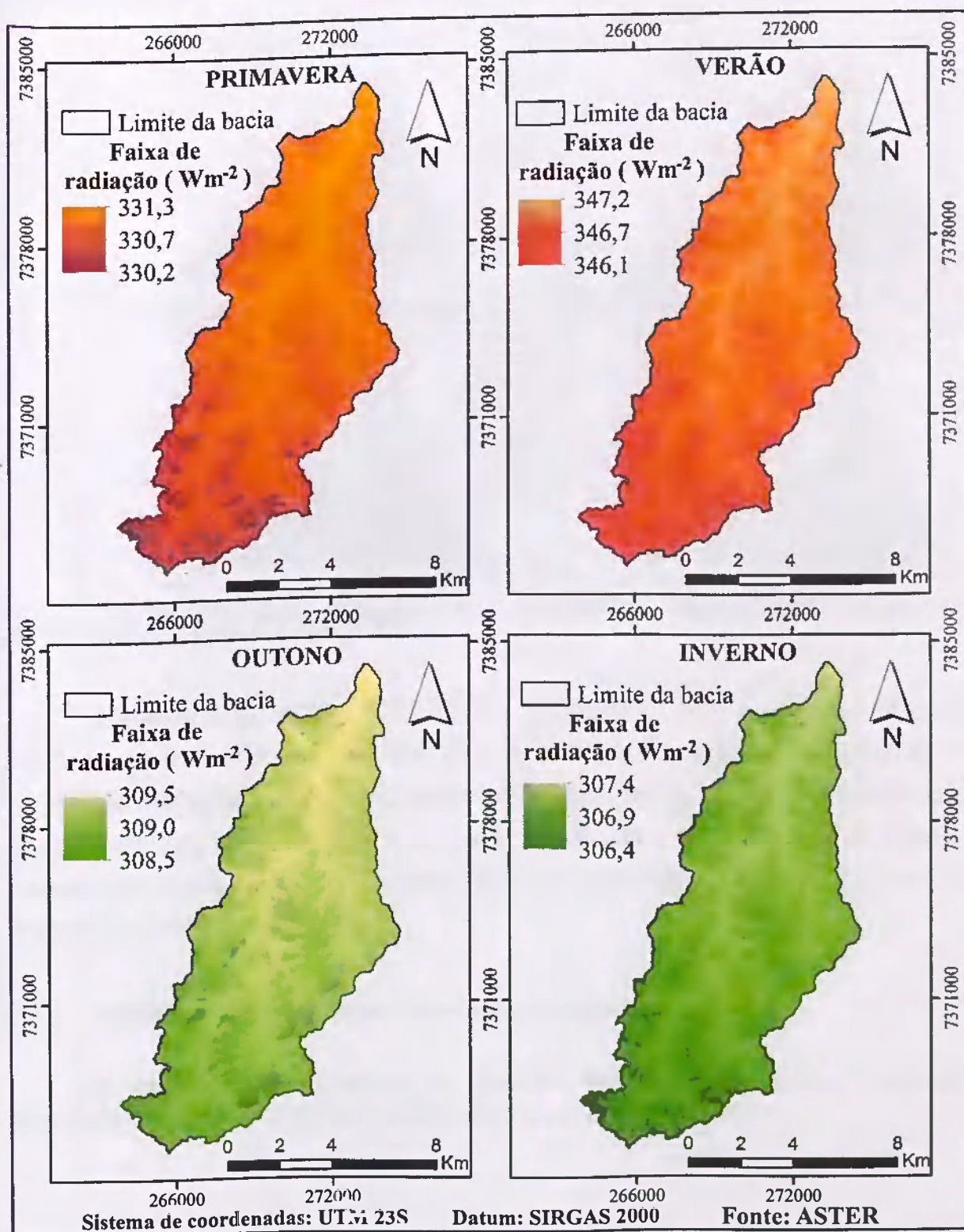
A radiação de onda longa incidente na superfície terrestre é gerada pelos gases atmosféricos ao serem aquecidos pela absorção da radiação de onda curta proveniente do Sol; pelo que a variação das faixas de incidência de onda longa entre as estações apresentam a mesma tendência em que variam as de onda curta incidente. À medida que incrementa ou diminui a incidência de radiação de onda curta, também o faz na mesma tendência a de onda longa na superfície. Razão pela que o verão acompanhado da primavera, apresentando as radiações de onda curta incidentes mais elevadas, consequentemente tem os mais altos intervalos de incidência de onda longa, e o inverno após do outono os mínimos, como se pode visualizar na Figura 19 que representa os fluxos de radiação de onda longa na bacia em cada estação climática.

As estimativas médias de incidência de onda longa no verão, primavera, outono e inverno foram de $346,8 \text{ Wm}^{-2}$, $330,9 \text{ Wm}^{-2}$, $309,2 \text{ Wm}^{-2}$ e $307,0 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente (Figura 20).

Em cada estação a energia incidente é aproximadamente igual em cada ponto da bacia, tendo não mais de $2,0 \text{ Wm}^{-2}$ de diferença entre o máximo e o mínimo fluxo de radiação. Esta amplitude se define também devido a configuração altimétrica da bacia, sendo as áreas situadas no norte com menores cotas de alturas e, por conseguinte, as maiores pressões atmosféricas, as que atingem maiores incidências; e as cotas de maiores alturas no sul, as que recebem menores.

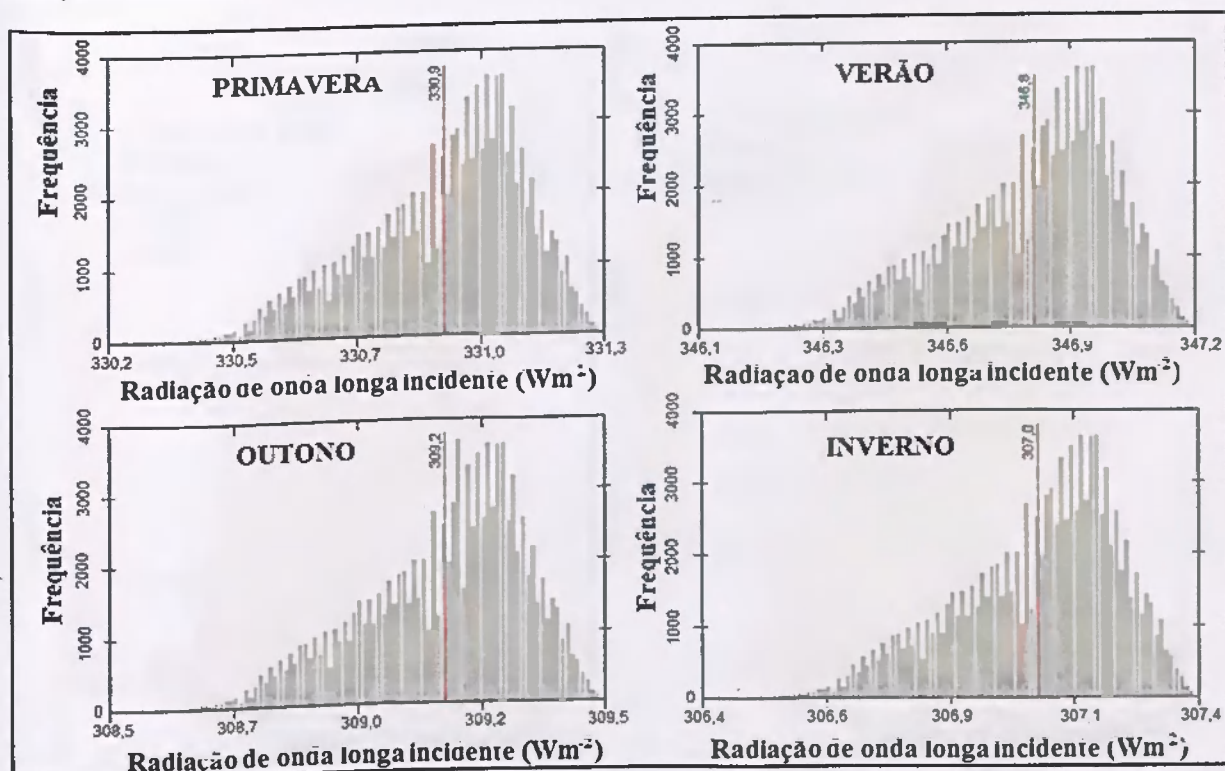
Esta tendência de aumento do fluxo de radiação de norte a sul, acontece segundo aumenta a pressão atmosférica conforme diminui a altura, isto devido ao fato de serem ondas longas emitidas pelas moléculas de gases e partículas em suspensão contidos na atmosfera (Vapor de água, gás carbônico, metano, ozônio, etc.) e quanto maior sua presença mais emitância se proporciona, como acontece à medida que aumenta a pressão.

Figura 19 - Mapas de radiação de onda longa incidente na bacia do Rio Uma, nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagem ASTER.

Figura 20 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda longa incidente na bacia, nas estações climáticas.



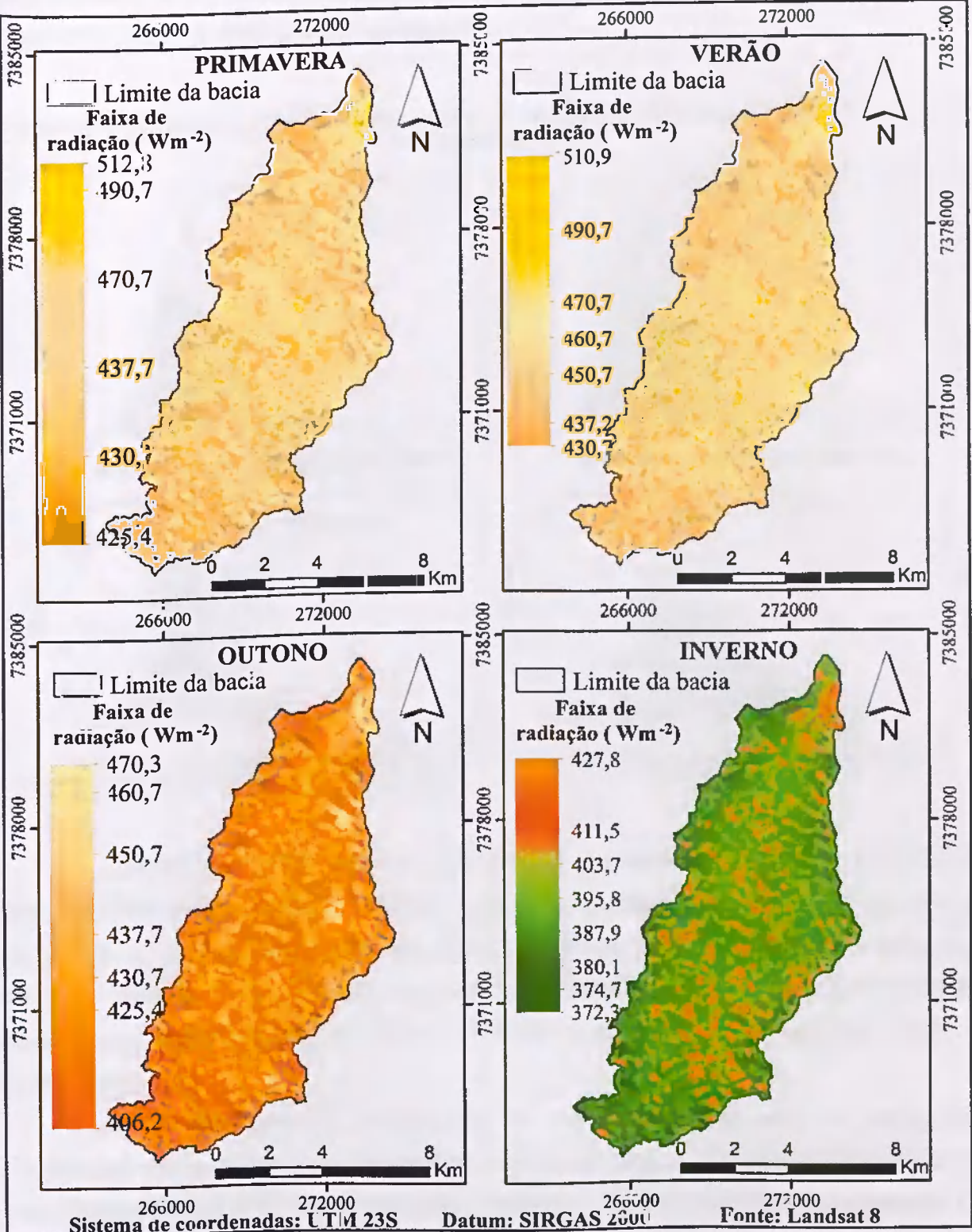
Fonte. Autoria própria com imagem ASTER.

Conforme Allen et al. (2002) para o algoritmo SEBAL a radiação de onda longa incidente pode variar de 200 Wm⁻² a 500 Wm⁻²; variação que depende da localização no planeta da área de estudo. Verifica-se que os dados determinados de radiação de onda longa encaixam adequadamente dentro deste intervalo estipulado, estando os valores calculados na bacia entre o mínimo 306,4 Wm⁻², em inverno, até máximo em verão de 347,2 Wm⁻².

5.6. Radiação de onda longa emitida pela superfície da bacia

As variabilidades espaciais da radiação térmica emitida pelas coberturas superficiais da bacia em direção à atmosfera se exibem na Figura 21.

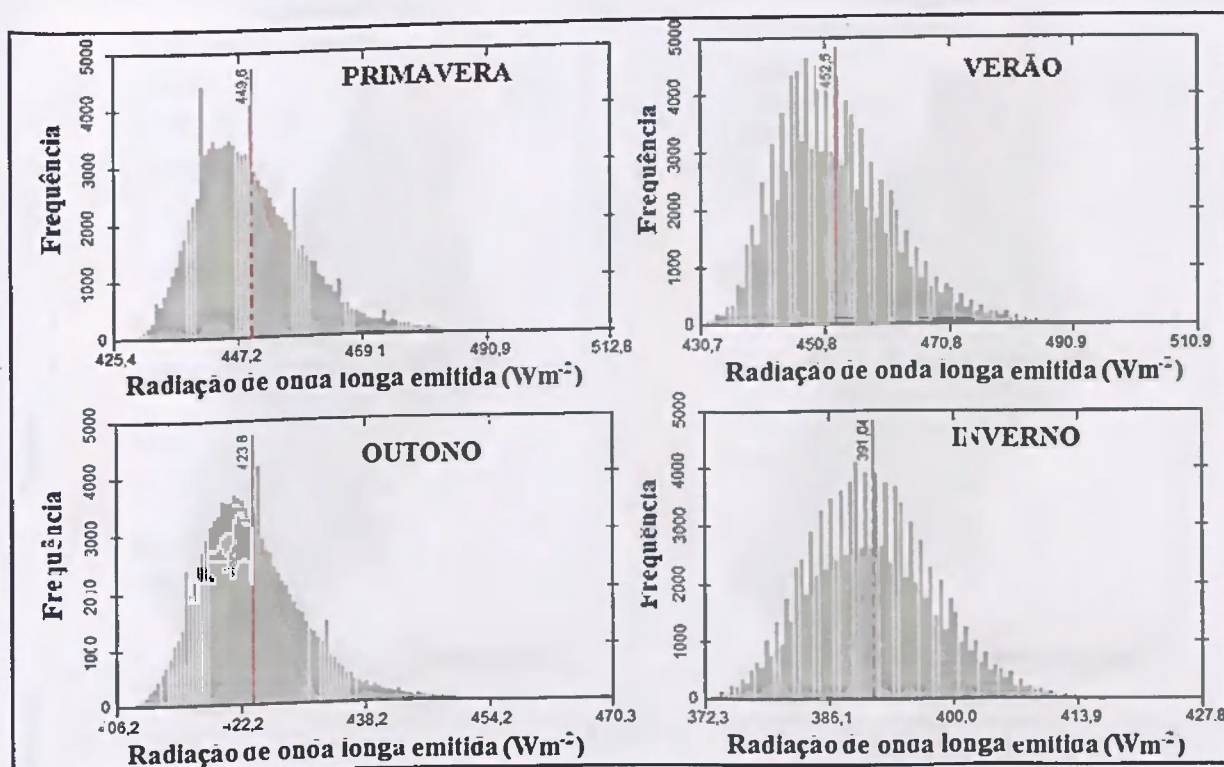
Figura 21 - Mapas de Radiação de onda longa emitida pela superfície da bacia, nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

Os maiores emitância se apresentam na primavera e no verão, com média de $449,60 \text{ Wm}^{-2}$ e $452,5 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente, e as menores no outono e no inverno com $423,8 \text{ Wm}^{-2}$ e $391,04 \text{ Wm}^{-2}$ (Figura 22).

Figura 22 - Histograma de frequência dos valores de Radiação de onda longa emitida na bacia nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8.

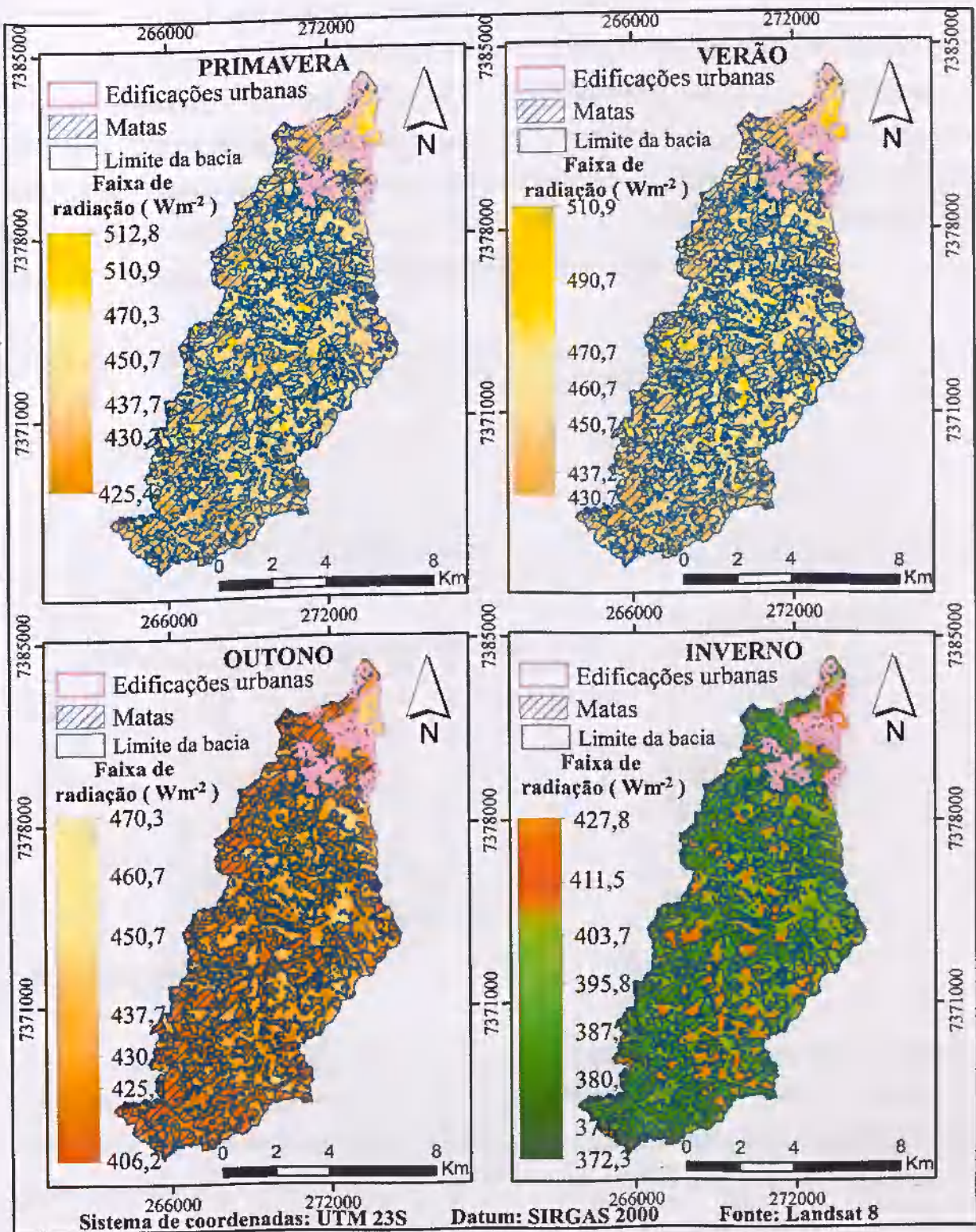
A emitância é mais alta no verão e na primavera a razão de serem as estações com maior fluxo de radiação incidente de onda curta e longa que aquece a superfície e, portanto, gera os máximos valores de temperatura nestas épocas; sendo o incremento de radiação de onda longa emitida diretamente proporcional à temperatura superficial de um corpo, conforme estabelece a lei física de Stefan-Boltzmann.

Então a diferença na quantidade de energia emitida entre as estações depende da radiação incidente de onda curta e onda longa, responsável da variação da temperatura, isto é, a maior radiação incidente, maior temperatura da superfície e por consequente mais emitância de radiação.

A Figura 23 mostra as áreas de edificações urbanas na bacia onde se concentram as máximas quantidades de fluxo de energia emitida entre as estações,

e por outro lado as superfícies cobertas com matas que sao os iocais de menor emitância.

Figura 23 - Mapas de radiação de onda longa emitida pela superfície da bacia nas áreas de mata e edificações urbanas.

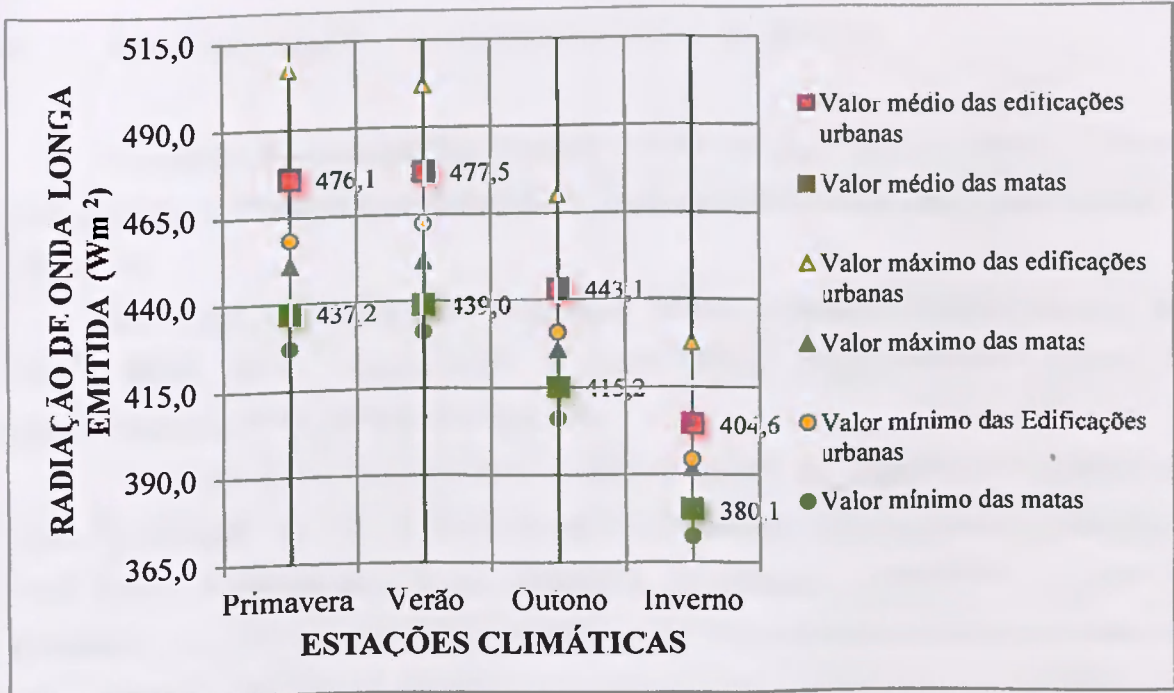


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 3.

Ao comparar as emitâncias da superfície, os dados da Tabela 1 no gráfico da Figura 24, as matas apresentam claramente inferiores emissões de radiação nas diferentes épocas com respeito às edificações construídas, a consequência destas ultimas serem as áreas que adquirem maior temperatura da superfície em todas as estações, como anteriormente se visualizo na Figura 11.

No gráfico também se pode observar que a amplitude entre a mínima e a máxima emitância nas matas é menor se comparada com a de edificações; a urbanização apresenta alta heterogeneidade de emissão em todo seu entorno pelos diversos componentes matérias constituintes com características físicas distintas, pelo contrario, as áreas de floresta contem atributos homogêneos característico do mesmo ecossistema predominante que define sua emissividade típica.

Figura 24 - Gráfica comparativa de valores mínimos, médios e máximos da radiação emitida pelas áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria propria.

Evidentemente as áreas ocupadas com construções urbanas estão causando aumento na quantidade de radiação de onda longa emitida na bacia. As áreas com edificações, pela não existência de processos fotossintéticos e de transpiração que absorvam as radicações de ondas curtas e longas incidente, acabam aquecendo

sua superfície, com temperatura maior com respeito às áreas de floresta, o que gera mais emitância de radiação para a atmosfera em forma de onda longa.

Considerando todas as estações, a radiações de onda longa emitida na bacia oscilam entre o intervalo de $512,8 \text{ Wm}^{-2}$ e $372,3 \text{ Wm}^{-2}$ (a máxima na primavera e a mínima no inverno, respetivamente), faixa dentro dos limites estabelecidos por Allen *et al.* (2002) de 200 Wm^{-2} a 700 Wm^{-2} , o qual considerou a variação da emitância dependendo do tipo de superfície e de sua localização no planeta.

Referente a outros estudo no estado de São Paulo, Santos *et al.* (2013), aplicando metodologia SEBAL no município de Santa Rita do Passa Quatro no estado de São Paulo, mas utilizando imagens digitais MODIS do satélite TERRA, estimaram de maneira pontual numa área de cana-de-açúcar a radiação de onda longa em $453,8 \text{ Wm}^{-2}$ na primavera e de $464,0 \text{ Wm}^{-2}$ no verão. Valores que esta entre os valores médios determinados na área de mata e urbana neste trabalho.

5.7. Radiação líquida na superfície da bacia do Rio Una

A distribuição espacial da radiação líquida na superfície da Bacia do Rio Una, nas estações climáticas no momento da passagem do satélite, esta representada na Figura 25.

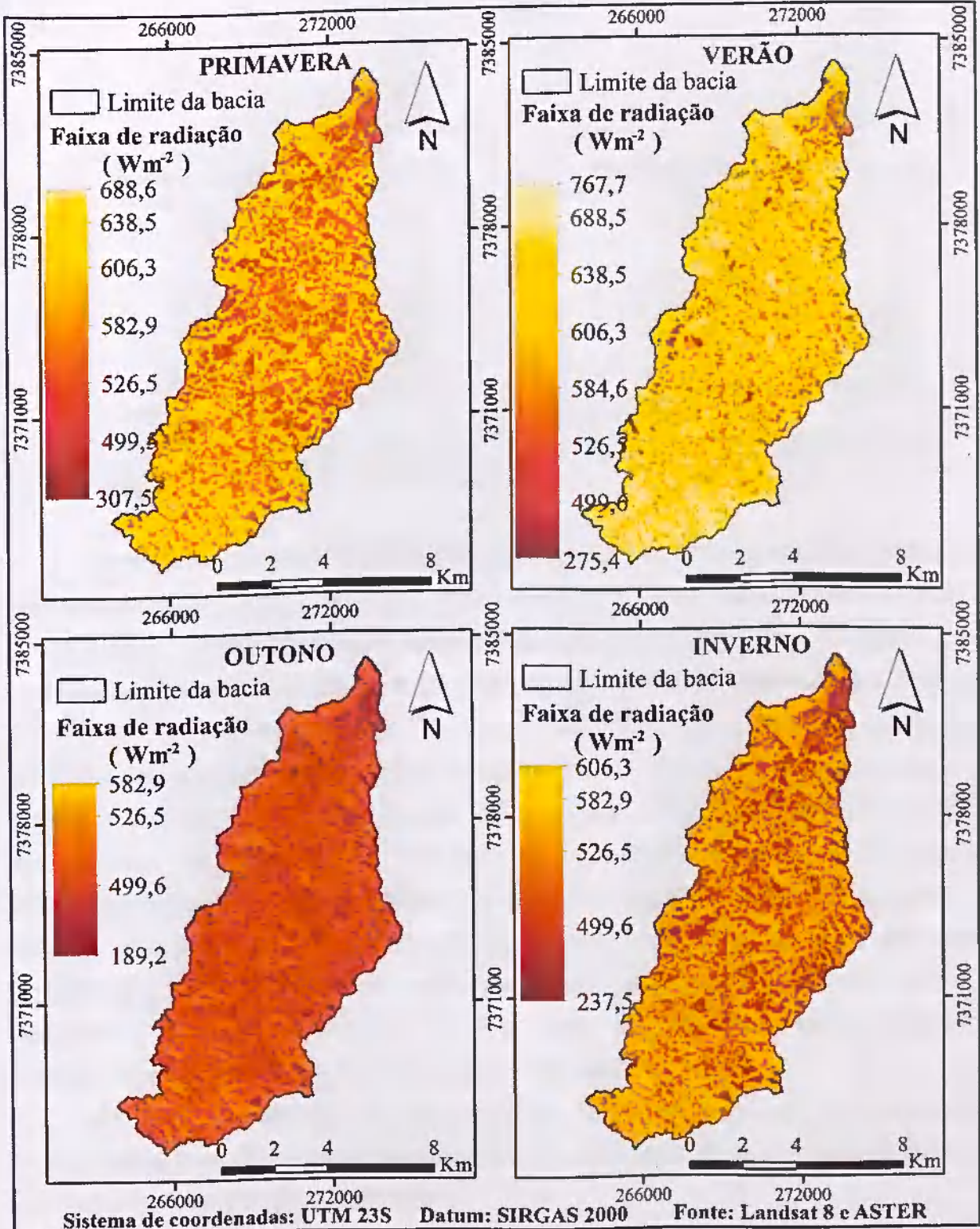
Em média os valores de primavera, verão, outono e inverno, são de $584,8 \text{ Wm}^{-2}$, $638,5 \text{ Wm}^{-2}$, $498,9 \text{ Wm}^{-2}$ e $526,9 \text{ Wm}^{-2}$, respetivamente, como está visualizado nos histogramas da Figura 26.

Tendo em consideração que a radiação líquida na superfície é originada pelo fluxo de radiação de ondas curta incidente proveniente do Sol mais a radiação de onda longa incidente gerada na atmosfera do planeta; logicamente, o verão e a primavera, em comparação com outono e o inverno, sendo as épocas do ano com as maiores incidência de radiação de ondas curtas e longas na superfície, como anteriormente se evidenciou, comparecem superiores faixas de valores de radiação líquida.

No verão em média a radiação líquida supera a primavera, como similarmente acontece com respeito à incidência e emitância de radiações; entretanto nas outras duas épocas, embora a incidência e emitância de radiação da cobertura superficial sejam mais altas no outono que no inverno, a radiação líquida é menor no outono. Isto acontece pela proporção emitida de radiação de onda longa na cobertura da

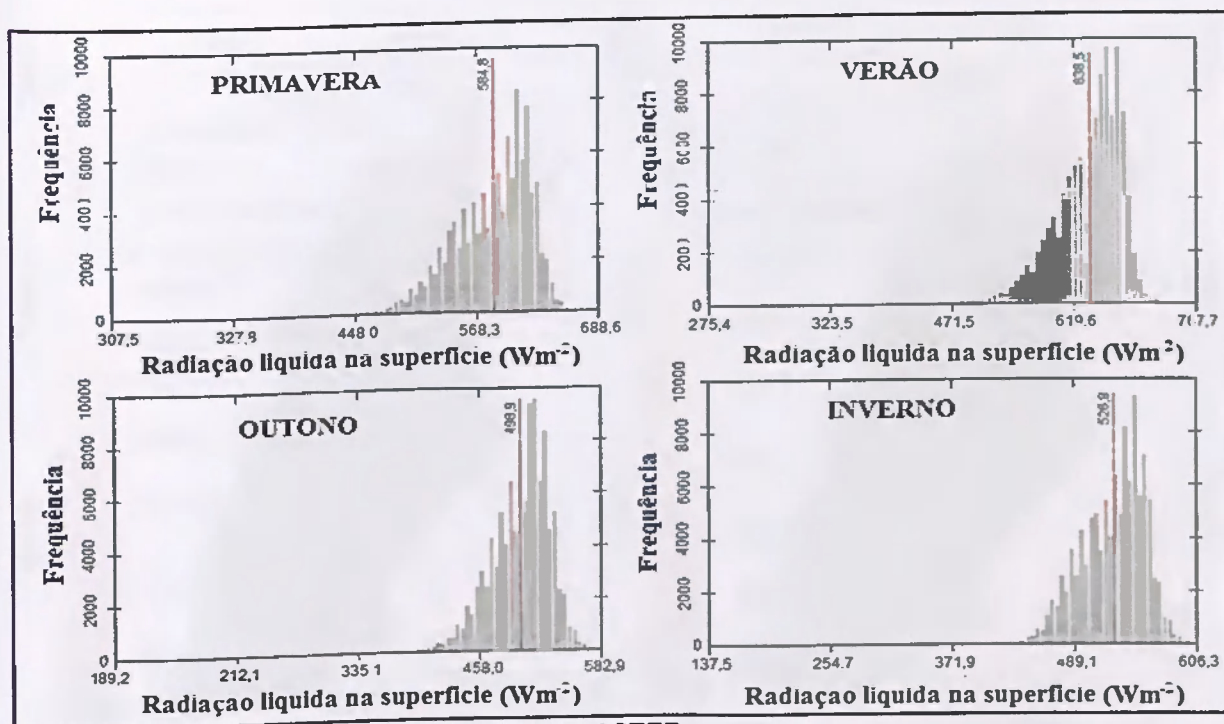
bacia, considerando também que o fluxo de radiação emitido faz diminuir a radiação líquida na superfície.

Figura 25 - Mapas de radiação líquida na superfície da bacia do Rio Una, nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e ASTER.

Figura 26 - Histograma de frequência dos valores de Radiação líquida na superfície da bacia, nas estações climáticas.

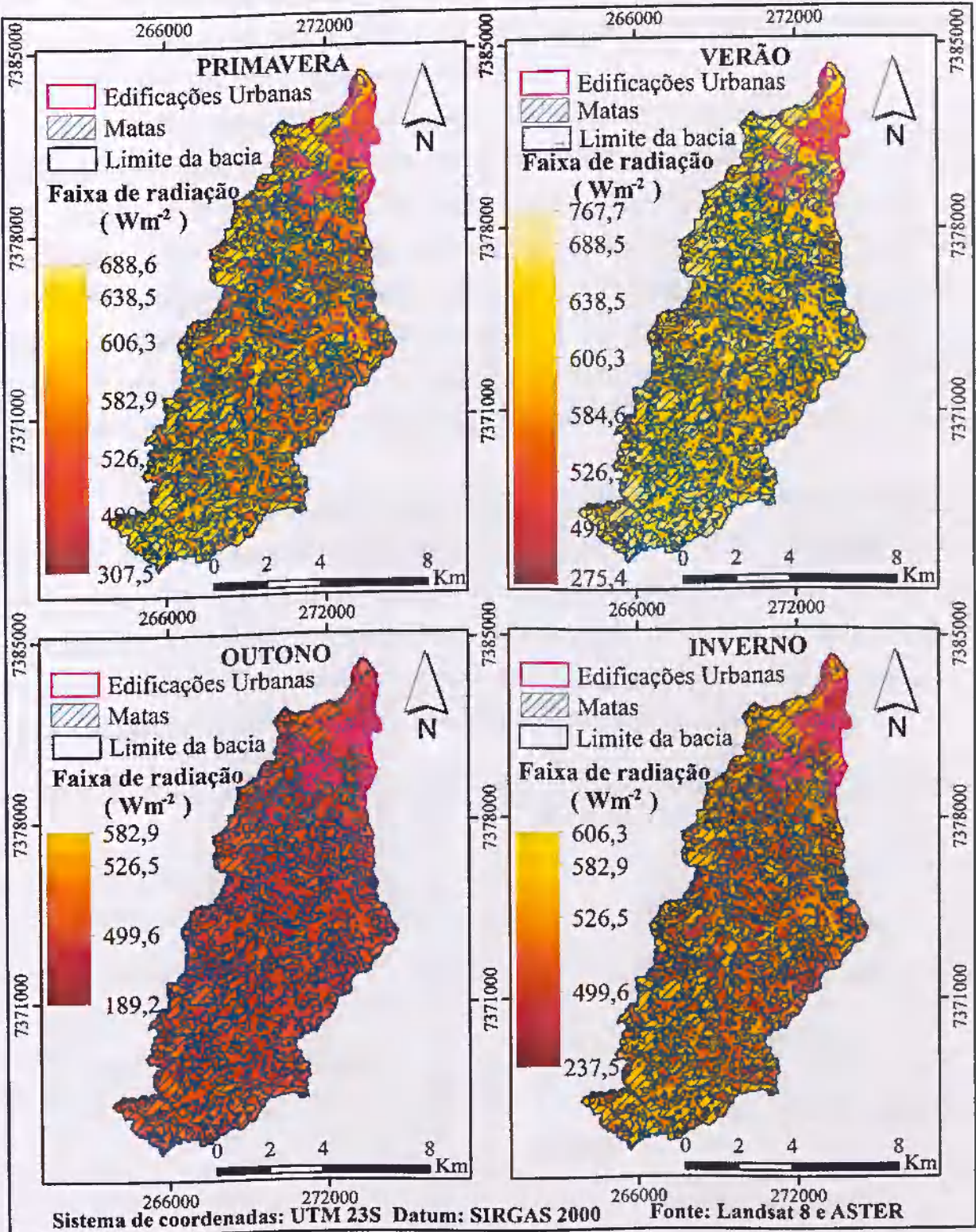


Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e ASTER.

Apreciando os valores médios de radiação de onda curta e longa incidente atingida na superfície da bacia no outono e inverno (Histograma da Figura 18 e 20), a diferença em suas quantidades mantém relativa proximidade, sendo a radiação de onda curta incidente em média nestas duas estações diferenciada em não mais de $7,7 \text{ Wm}^{-2}$, e a de onda longa em tão só $2,2 \text{ Wm}^{-2}$. Mas comparando as radiações emitidas pela superfície (Histograma da Figura 22), em média o outono é superior a o inverno em $32,80 \text{ Wm}^{-2}$, decorrendo então outono em uma liberação de energia em forma de radiação para a atmosfera em proporção muito maior da que é recebida, diminuindo sua quantidade na superfície drasticamente com respeito a inverno, resultando, portanto numa radiação líquida menor. Fato que não acontece no verão e a primavera, onde em média a diferença entre a quantidade de radiação incidente é notavelmente superior para o verão, e a radiação emitida mantém valores próximos, diferenciados por somente $2,9 \text{ Wm}^{-2}$.

A bacia nas estações tem alta radiação líquida na superfície nas áreas de mata e mínima na área urbana, como se aprecia na Figura 27 e se indica na gráfica da Figura 28 dos números da Tabela 1.

Figura 27 - Mapas de radiação líquida na superfície da bacia nas áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e Aster.

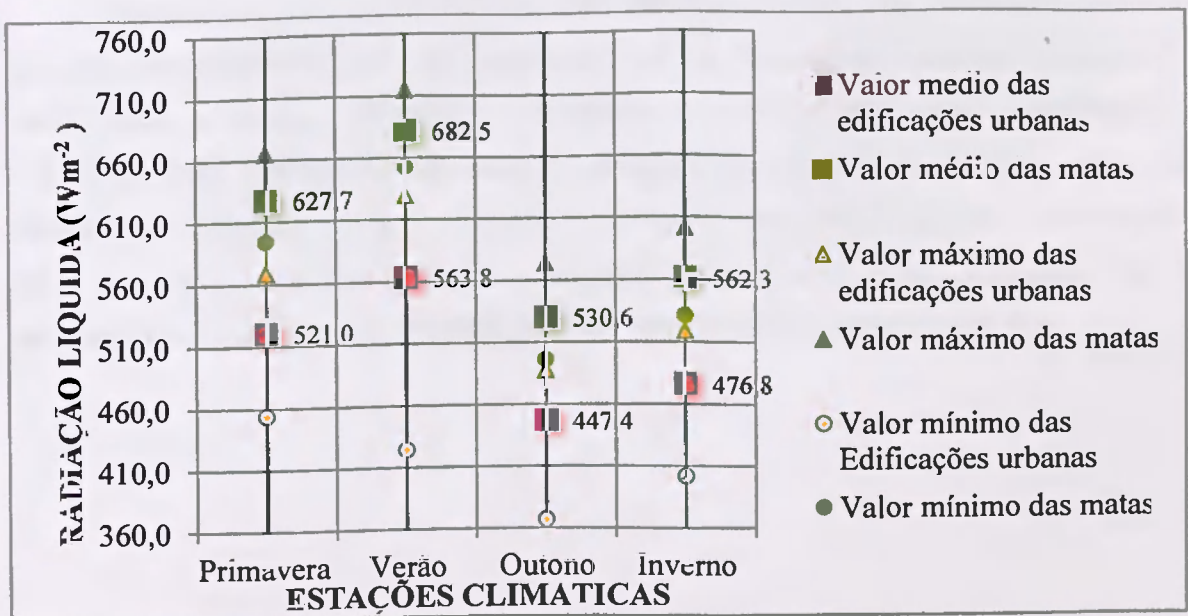
Na gráfica, a amplitude da radiação líquida nas edificações, a diferença entre o mínimo valor e o máximo, é maior em cada época com relação às matas. Nestas

áreas a retenção de energia depende das respostas espectrais que em particular tem os diversos tipos de materiais constituintes conforme a radiação incidente, diferentemente, que as mata onde o consumo de energia é mais homogêneo pelos processos físicos e biológicos da vegetação.

Individualmente para cada estação as áreas com menor vigor da cobertura vegetal, maior albedo, maiores valores de temperatura e radiação térmica emitida em direção para a atmosfera; tal como nas edificações urbanas; são as que apresentaram os menores valores de radiação líquida superficial. Por outro lado às áreas florestadas que apresentam alto vigor da vegetação, baixa temperatura, albedo e emitância de onda longa, comparecem os máximos valores de radiação líquida. Então a radiação líquida na superfície é influenciada pelo tipo de superfície, e se destaca que a supressão da vegetação faz diminuir a radiação líquida independente do período climático do ano.

A cobertura com vegetação intercepta a radiação solar antes de ela atingir o solo no consumo de dióxido de carbono (CO_2) no processo de fotossíntese e na transpiração, pelo que parte da radiação líquida na superfície é utilizada na remoção de carbono da atmosfera e no ciclo hidrológico da água. Assim, a cobertura vegetal retém em maior quantidade a radiação incidente que na área urbana, armazenando mais energia na cobertura terrestre e transferindo menos para a atmosfera.

Figura 28 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de radiação líquida nas áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria.

A radiação líquida na superfície terrestre pode variar de 100 a 800 Wm^{-2} , dependendo da localização da área no planeta e do tipo de superfície (ALLEN et al., 2002; SILVA et al., 2015); sendo os valores determinado entre 189,2 Wm^{-2} (mínima no outono) a 767,7 Wm^{-2} (máxima no verão).

Comparando com um estudo feito por da Silva et al. (2015), aplicando o método SEBAL utilizando imagens digital do satélite Landsat 5 para o ano 2005, numa área de reserva florestal na bacia hidrográfica de Mogi-Guaçu no estado de São Paulo, na época de outono e verão estimaram a radiação líquida pontual de 563,0 Wm^{-2} e 618,1 Wm^{-2} , respectivamente. Além disso, observaram com uma estação meteorológica o valor da radiação líquida de 546,5 Wm^{-2} e 649,8 Wm^{-2} correspondente para cada período. Presentando-se correspondência com os valores médios determinados de 530,6 Wm^{-2} e 682,5 Wm^{-2} na área de mata, para outono e verão neste estudo.

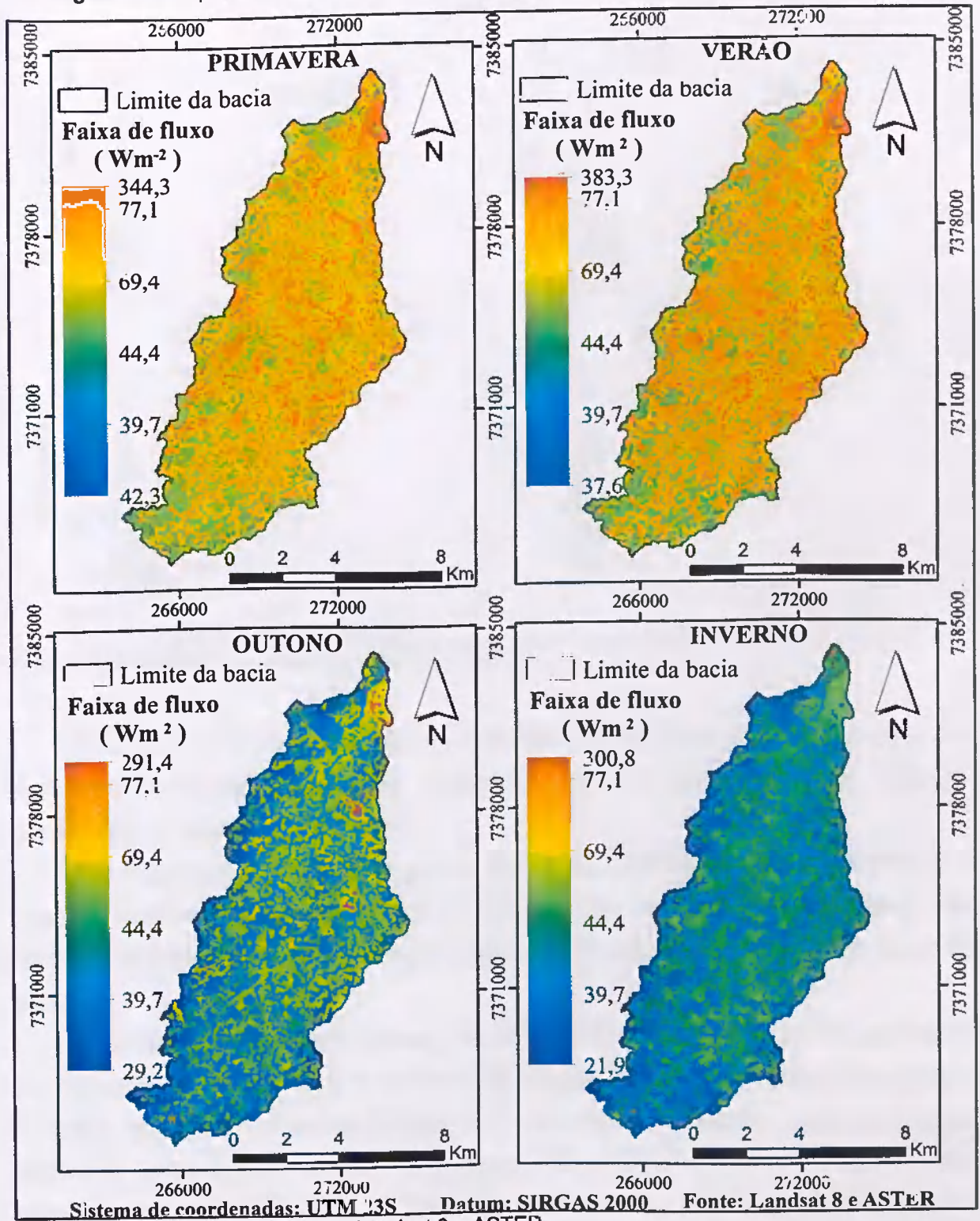
5.8. Fluxo de calor no solo na bacia do Rio Una

A representação do fluxo de calor no solo calculado na bacia do Rio Una está disposta nos mapas da Figura 29.

Em média, o fluxo no verão com a primavera é de 69,3 Wm^{-2} e 71,08 Wm^{-2} , encerrando as faixas mais elevadas, sendo menores no outono e inverno com 44,4 Wm^{-2} e 39,7 Wm^{-2} , respectivamente (Figura 30).

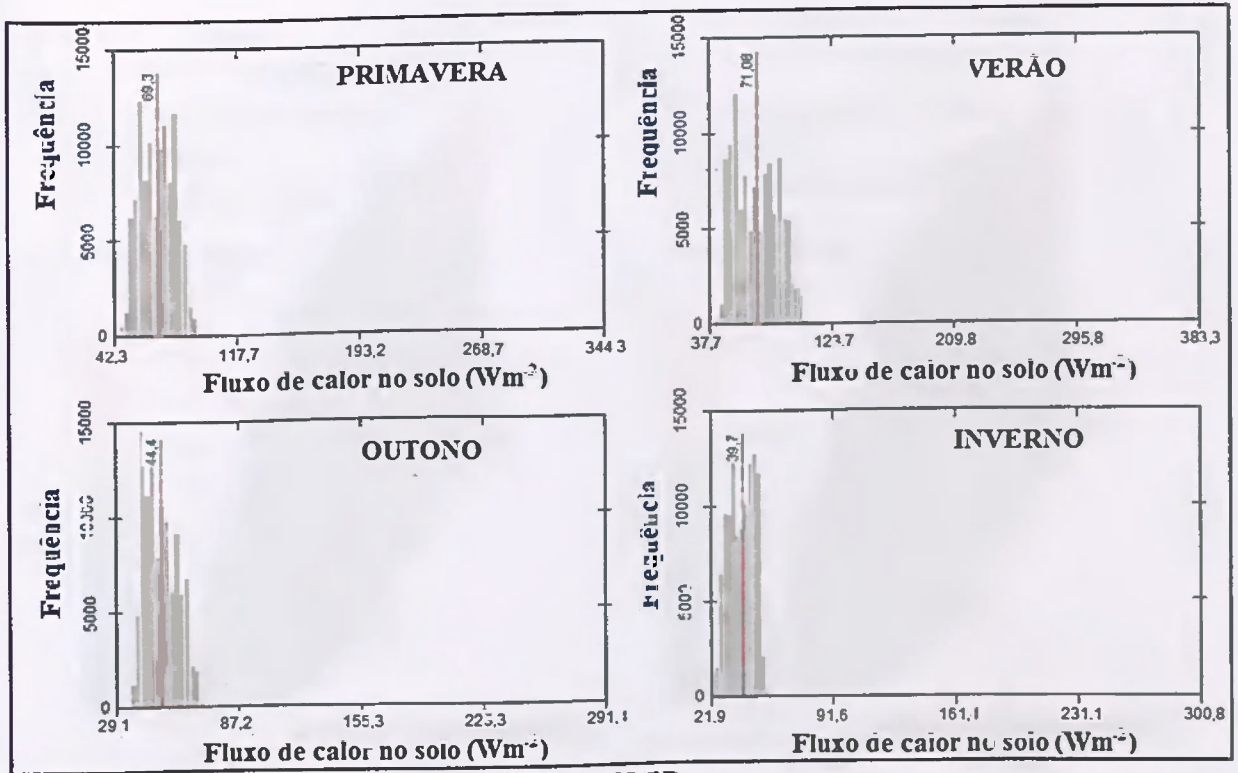
Nota-se que as faixas de calor no solo em quanto sua magnitude, entre as épocas, corresponde a similar variação que os valores de radiação incidente de onda curta e longa, causantes em maior ou menor grau do aquecimento da superfície pela quantidade de energia atingida. O verão foi à estação com maior radiação incidente e após a primavera, como também foram as de maior fluxo de calor no solo na mesma ordem; entretanto o outono com o inverno as que apresentaram as mínimas incidências, resultando com os menores fluxos.

Figura 29 - Mapas de fluxos de calor no solo da bacia do Rio Una, nas estações climáticas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e ASTER.

Figura 30 - Histograma de frequência dos valores de fluxo de calor no solo na bacia, nas estações climáticas.



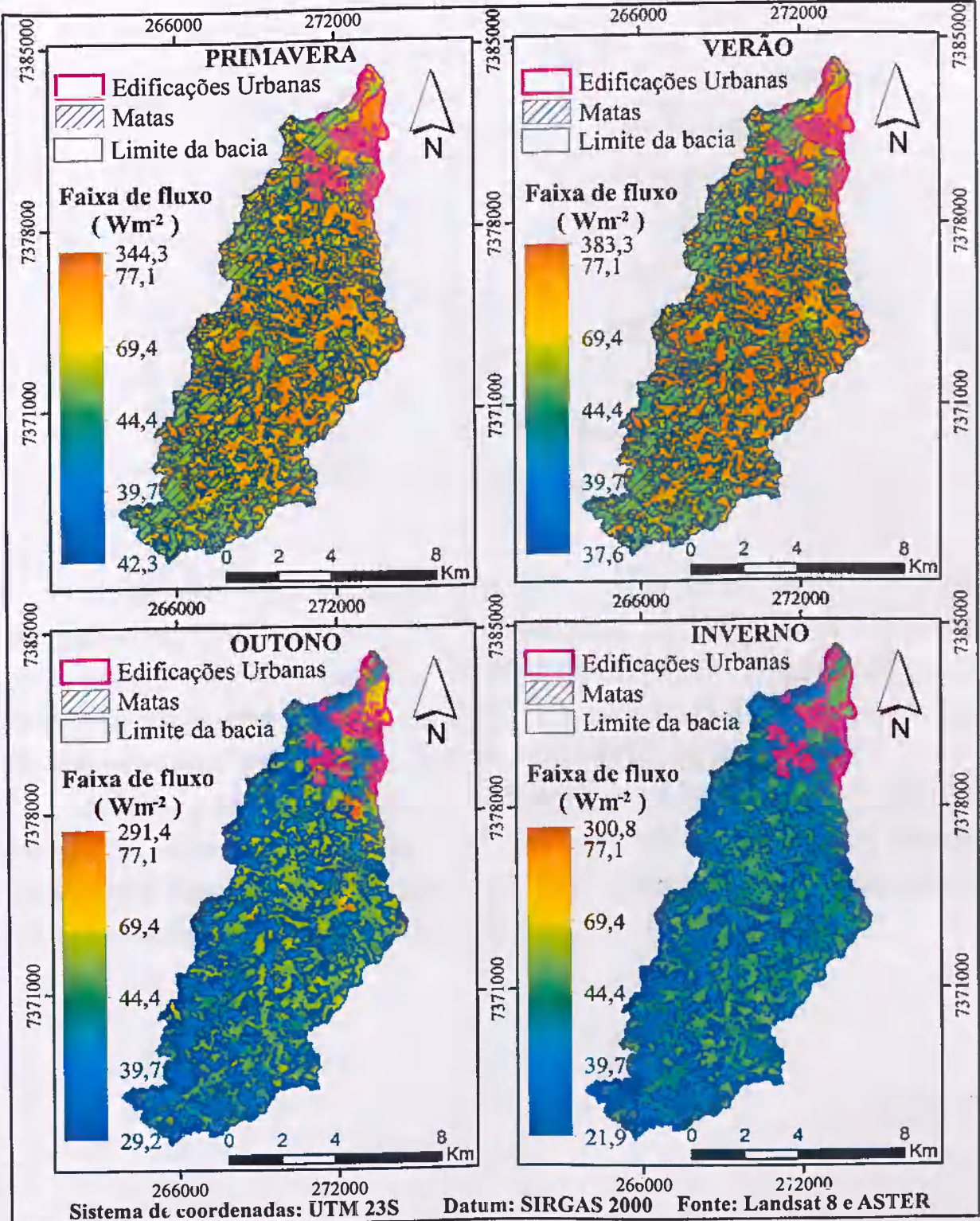
Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e ASTER.

Em cada uma das estações foi superior à quantidade do fluxo de calor nas áreas com edificações urbanas, enquanto que nos fragmentos de mata se registraram os menores (Figura 31).

Na Figura 32, comparece o gráfico dos dados de fluxo de calor da Tabela 1, é possível verificar que nas edificações o valor chega a ser superior com respeito às áreas de floresta, estando em média quase o dobro de sua magnitude, em todas as estações.

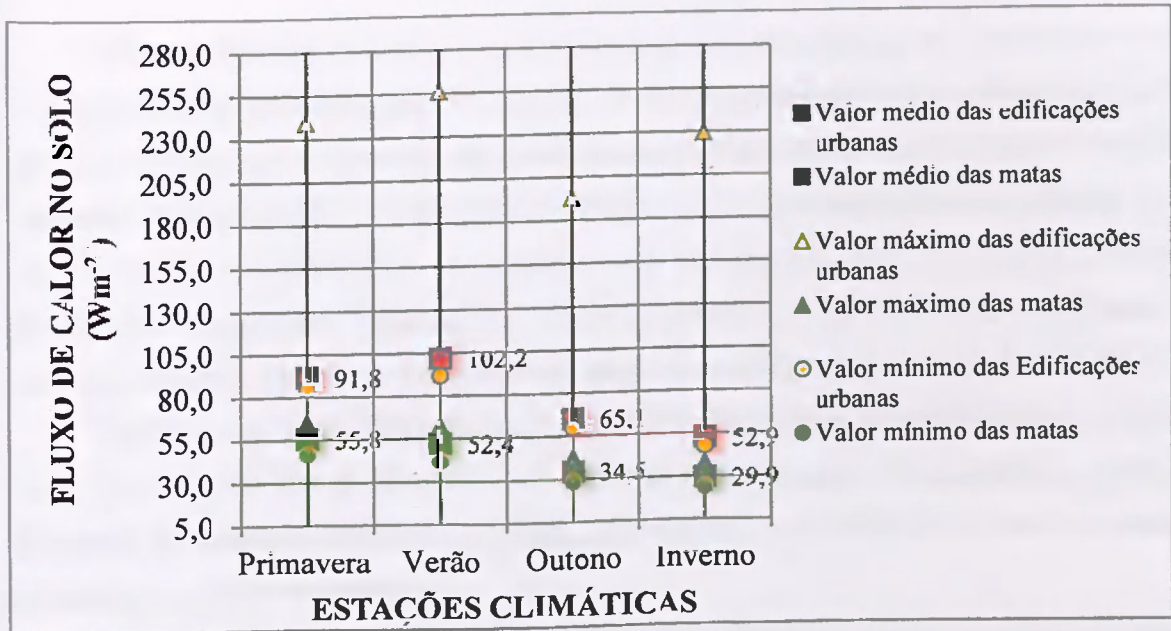
As matas nas distintas épocas, como se pode interpretar no gráfico da Figura 32, revelam valores máximos e mínimos de fluxo de calor com amplitude menor que 25 Wm^{-2} , distinguindo homogeneidade em suas áreas, ao contrario da zona urbana, onde se apresentou grande amplitude, superiores aos 175 Wm^{-2} , pela heterogeneidade dos múltiplos materiais componentes de sua superfície com capacidade diferenciada de transporta energia térmica entre seus átomos.

Figura 31 - Mapas de fluxo de calor no solo da bacia do Rio Una nas áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria com imagens Landsat 8 e ASTER.

Figura 32 - Gráfico comparativo dos valores mínimos, médios e máximos de fluxo de calor no solo nas áreas de mata e edificações urbanas.



Fonte: Autoria própria.

Isto fortalece a questão de que à medida que se diminui a atividade biológica da vegetação e os solos ficam expostos diretamente à incidência da radiação de onda curta e longa, como acontece nas edificações, maior é a energia absorvida e conduzida em seu interior e, por conseguinte, o aumento de sua temperatura que decorre no acréscimo da radiação de onda longa emitida para a atmosfera.

Então na área urbana a radiação líquida na superfície em grande proporção é utilizada no aquecimento do solo pela condução térmica de calor, e ficando insignificante a quantidade de radiação para os processos naturais de fotossíntese e evapotranspiração pela ausência de vegetação.

6. CONCLUSÃO

Nas estações climáticas, as distintas faixas de valores de radiação de onda longa emitida pela superfície, a radiação de onda curta incidente, a radiação de onda longa incidente e radiação líquida resultante, correspondem dentro dos intervalos de variação referenciados na literatura. Também, ao ser comparada a radiação líquida na superfície, temperatura e albedo com outros estudos no Brasil apresenta apropriada correlação. Quanto os valores fluxo de calor no solo, por derivar da radiação líquida, temperatura e albedo, estimasse adequada representatividade.

Então a representação espacial de radiação líquida na superfície e o fluxo de calor do solo na bacia do Rio Una, com a metodologia implementada utilizando imagens de satélite Landsat 8, mostrou adequado funcionalidade, mas sem saber a precisão nos valores obtidos.

Corroborasse que o emprego de imagens digitais Landsat 8 pode subministrar informação eficiente e fático de desenvolver.

Evidenciou-se que a vegetação traz um importante papel na transferência de energia entre a superfície da Terra e sua atmosfera. Ao confrontar as áreas de matas com a de edificações urbanas, os valores de fluxo de calor no solo e radiação líquida na superfície apresentaram significativas diferenças que evidenciam alterações ambientais na bacia.

As áreas desprovidas de cobertura vegetal, ao serem substituídas pelas edificações antrópicas, na ausência de processos físico-químicos vegetais e de transpiração, faz que a radiação solar incida em sua maioria diretamente na superfície, aumentando a refletância desta como também sua absorção no aquecimento do solo, provocando alto fluxo de calor para seu interior e, conseqüentemente, a elevação de sua temperatura. Isso gera aumento da energia térmica emitida em forma de radiação de onda longa; ficando então a radiação líquida na superfície em mínima quantidade, pelo deslocamento de energia para a atmosfera, com relação às áreas de mata.

Sendo assim, as florestas em uma bacia hidrográfica mediante o consumo de radiação incidente cumprem importantes funções, tais como, de regular o ciclo hidrológico participando no transporte de água para a atmosfera, influenciam na temperatura do ar e absorve gás carbônico mediante a fotossíntese, além de se tornar protetor dos solos pelos processos erosivos. As edificações urbanas se

materializam na alteração da transferência de água, gás carbônico e energia entre a superfície da terra e sua atmosfera, como também em ser um causante da degradação dos solos.

Este comportamento induzido pela intervenção humana intervém desfavoravelmente no equilíbrio climático, seja forte o fracamente, a nível local ou regional, considerando que a radiação de onda longa emitida para atmosfera por uma superfície é absorvida por gases de efeito estufa como gás carbônico, metano e ozônio, que contribuem com o aquecimento global, que implica o aumento da temperatura média do ar.

Então o desmatamento pela mudança do uso e ocupação do solo está intensificando os processos descritos acima; assim estudos com essa abordagem devem colaborar com segmentos de gestão, públicos e/ou privados, no sentido de promover diretrizes em que esses impactos sejam mitigados por meios de ações de manejo eficiente do uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- ACCUWEATHER. Ibiúna, Brasil Meteorologia. Disponível em: <
<http://www.accuweather.com/pt/br/ibiuna/36607/decemberweather/36607?monyr=12/1/2016&view=table>>. Acesso em: 12 dec. 2016.
- ALLEN, R. G., et al. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual–Idaho Implementation**, v.1. 2002. 97 p. Disponível em: <
<http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>>. Acesso em: 27 Jul. 2017.
- ALLEN, R. G. A.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)— Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 10–12, 2007.
- ALLEN, R.; IRMAK, A.; TREZZA, R.; HENDRICKX, J. M. H.; BASTIAANSEN, WIM.; KJAERGAARD, J. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 4011–4027, 2011.
- BALOGH, T. S.; VELASCO, M.V. R.; PEDRIALI, C. A.; KANEKO, T. M.; BABY, A. R. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **An. Bras. Dermatol**, v. 86, n.4, p. 732-742, 2011.
- BASTIAANSEN, W. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal Hydrology**., p.87–100, 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M. et al. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL):1.Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p. 198–212, 1998.
- BRAGA, A. P. et al. Balanço de radiação em áreas do cerrado brasileiro por sensoriamento remoto. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.29, n.2, p.119-126, 2014.
- BORATTO, P. I. M.; GOMIDE, R. L. Espacialização dos componentes do balanço de energia e de evapotranspiração na região Norte de Minas Gerais, utilizando o modelo SEBAL e imagens orbitais Landsat 5 TM. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 7345 – 7352, 2013.
- CAMMALLERI, C.; CIRAOLO, G.; LOGGIA, G. L.; MALTESE, A. Daily evapotranspiration assessment by means of residual surface energy balance modeling: A critical analysis under a wide range of water availability. **Journal of Hydrology**, v.

452, p.119–129, 2012.

CHABI, A. et al. Allometric models and aboveground biomass stocks of a West African Sudan Savannah watershed in Benin. **Carbon Balance Manage**, p. 11-16, 2016.

CHIEN, W. et al. Study of NDVI Application on Turbidity in Reservoirs. **J Indian Soc Remote Sens**, v. 44, n. 5, p. 829–836, 2016.

COELHO, A.L.N.; CORREA, W.S.C. Temperatura de superfície célsius do sensor TIRS/landsat-8: Metodologia e aplicações. **Rev. Geogr. Acadêmica**, Espirito Santo, v. 7, n.1, p. 31 - 45. 2013.

DONOHUE, A. et al. Shortwave and longwave radiative contributions to global warming under increasing CO₂. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 47, p. 16700–16705, 2014.

DU, J. et al. Evapotranspiration Estimation Based on MODIS Products and Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL) Model in Sanjiang Plain, Northeast China. **Chinese Geographical Science**, v. 23 n.1, p. 73–91, 2013. DOI: 10.1007/s11769-013-0587-8

FARIA, R.; SCHVARSBERG, B. **Políticas urbanas e regionais no brasil**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU-UnB), 2011. 229 p.

GARBRECHT, O.; AL-SIBAI, F.; KNEER, R.; WIEGHARDT, K. CFD-simulation of a new receiver design for a molten salt solar power tower. **Solar Energy**, v. 90, p. 94–106, 2013.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM – Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 8, p. 833-838. 2014.

GOMES, H. B. **Balanço de radiação e energia em Áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Unidade acadêmica de ciências atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

GUSMÃO, A. C. V. L. et al. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.

10, p. 1107 – 1114, 2012.

HANSEN, J. et al. Earth's energy imbalance and implications. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 24, p. 13421–13449, 2011.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório brasileiro para o Habitat III**. 3. ed. ConCidades: Brasília DF, 2016. 139 p.

IQBAL, M. An Introduction to Solar Radiation. Toronto, **Academic Press**, 1983.

JIM, C. Y. Solar–terrestrial radiant-energy regimes and temperature anomalies of natural and artificial turfs. **Applied Energy**, v. 173, p.520–534, 2016.

KARAN, S. K.; SAMADDER, S. R.; MAITI, S. K. Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 272-283, 2016.

KING, D. A. et al. Estimation of potential evapotranspiration from extraterrestrial radiation, air temperature and humidity to assess future climate change effects on the vegetation of the Northern Great Plains, USA. **Ecological Modelling**, v. 297, p. 86–97, 2015.

LANORTE, A. et al. Fisher–Shannon information plane analysis of SPOT/VEGETATION Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series to characterize vegetation recovery after fire disturbance. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 441- 446, 2014.

LI, Z.; LIU, X.; MA, T.; KEJIA, D.; ZHOU, Q.; YAO, B.; NIU, T. Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland–wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. **Ecological Modelling**, v. 270, p.64–75, 2013.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÊNCIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM –Landsat 5 e o algoritmo sebal no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, p.55 - 67, 2014.

MAEDA, E. E. et al. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do

ETM+/LANDSAT 7. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Florianópolis, Brasil, p.5995-6002, 2007.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade**
Caracterização: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações
Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. 2. ed. Brasília:
 MMA, 2006. 212 p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. DE. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto**. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 1997. 206 f.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Agência de
Informação Embrapa. Instrumentos Eletrônicos. Disponível em: <
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_195_288200612379.html>. Acesso em: 07 nov. 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **LCE 306 Meteorologia Agrícola: (Edição Revista e Ampliada)**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 2007. 202 p.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p.4–20, 2015.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Grupo de trabalho de energia solar, 2014. 69 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). **Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission): Productos LDCM - Landsat 8**. 1 ed. Bogotá: IGAC, 2013. Disponível em: <<http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José Dos Campos: Ed Parêntese, 2010.

POÇAS, I.; CUNHA, M.; PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p.159–172, 2013.

- QUINTANO, C. et al. Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 36, p. 1–12, 2015.
- ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC Type III Final Report, p. 371, 1974.
- RUDY, A. C. A. et al. Identifying permafrost slope disturbance using multi-temporal optical satellite images and change detection techniques. **Cold Regions Science and Technology**, v. 88, p. 37–4988, 2013.
- RUHOFF, L. A.; SILVA, B. B.; ROCHA, R. H. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, Abr. de 2015.
- RWASOKA, D. T.; GUMINDOGA, W.; GWENZI, J. Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 36, p.736–746, 2011.
- SÃO PAULO (ESTADO). **Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhsmt/apresentacao>>. Acesso em: 23 fev. 2017.
- SANTOS, F. A. C. **Alterações no balanço radiativo e impactos climáticos decorrentes do uso da terra no estado de São Paulo**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Unidade acadêmica de ciências atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.
- SANTOS, A. R. D. et al. **Sensoriamento Remoto no Arcgis 10.2.2: Passo a passo**. 1. ed. CAUFES: Alegre, ES, 2014. 107 p.
- SANTOS, F. A. C. et al. Desempenho de metodologias para estimativa do saldo de radiação a partir de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 295 – 306, 2015.
- SANTOS, F. A. C. et al. Diferentes modelos de estimativa da radiação de onda longa a partir de dados MODIS/TERRA. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, p. 8698-8705, abr. 2013.

- SALES, J, C, A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do Rio Una, Ibiuna/SP.** Sorocaba. 2015. 112f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Ambientais) Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista, 2015.
- SCHMID, M.; HUNZIKER, S.; WÜEST, A. Lake surface temperatures in a changing climate: A global sensitivity analysis. **Climatic Change**, v. 124, n. 1–2, p. 301–315, 2014.
- SILVA, B. B. D. et al. Determination of instantaneous and daily net radiation from TM – Landsat 5 data in a subtropical watershed. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 135, p. 42–49. 2015.
- SILVA B. B. D. et al. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 3-8. 2016.
- SUN, Z. et al. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n. 3–4, p. 1086–1092, 2011. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.11.039
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.13, n.2, p.51-63, 2008.
- TANG, R. et al. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 174–175, p. 28–42, 2013.
- INSTITUTO METEOROLOGICO DE PESQUITA DE BAURU (IPMet – Bauru). **Estações do ano**. Bauru, 2017. Disponível em: < https://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esql=&abre=ipmet_html/estacao/index.php#>. Acesso em: 23 fev. 2017.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**, 2004. 1 ed. Disponível em: < <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2016.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 8 (L8) Data Users**

Handbook. 2. ed. LDS: Sioux Falls, South Dakota, 2016. 98 p.

VELOSO, G. A. Análise espaço temporal dos componentes do balanço de radiação, energia e evapotranspiração, usando técnicas de sensoriamento remoto em áreas irrigadas do projeto Jaíba/MG. 2014. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Área de concentração em geografia e gestão do território, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2014.

WU, S.-T.; CHEN, Y.-S. Examining eco-environmental changes at major recreational sites in Kenting National Park in Taiwan by integrating SPOT satellite images and NDVI. *Tourism Management*, v. 57, p. 23–36, 2016.

ZHOU, Y.; SAVIJÄRVI, H. The effect of aerosols on long wave radiation and global warming. *Atmospheric Research*, v. 135–136, p. 102–111, 2014.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba
Av. Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista
Sorocaba, SP - Brasil
CEP 18087-180