UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ARTUR VITALI MICHELS

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SISTEMA ORBITAL LANDSAT PARA AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DA AMREC, SC.

CRICIÚMA

2018

ARTUR VITALI MICHELS

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SISTEMA ORBITAL LANDSAT PARA AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DA AMREC, SC.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. MSc. Gustavo José Deibler Zambrano

CRICIÚMA

2018

ARTUR VITALI MICHELS

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DO SISTEMA ORBITAL LANDSAT PARA AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE TERRESTRE: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DA AMREC, SC.

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Gerenciamento e Planejamento Ambiental

Criciúma, 13 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Gustavo José Deibler Zambrano - (UNESC) – Orientador

Prof. MSc. Jóri Ramos Pereira - (UNESC)

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig - (UNESC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a toda minha família pelo apoio e incentivo desde o início da graduação até aqui.

Agradeço a minha namorada, Mariluci, por estar presente nesta importante etapa da minha vida, por ter ficado ao meu lado em todos os momentos por ter sido compreensiva quando não pude estar presente.

Agradeço ao professor e orientador Msc. Gustavo José Deibler Zambrano por ter confiado em mim como seu orientando, por sempre ser responsável em seus compromissos, por todo apoio neste trabalho e por ser um exemplo de profissional a ser seguido, dentro e fora da sala de aula.

Agradeço ao professor Dr. Álvaro José Back pela pronta colaboração na elaboração das estatísticas do trabalho.

Agradeço aos meus amigos de graduação, principalmente Bruno, Nicolas e Rahisa por toda dificuldade que passamos juntos, parcerias, conversas, trabalhos e risadas.

Agradeço aos professores Carlyle Menezes e Mário Guadagnin por ter tido a honra de participar como bolsista e voluntário em seus projetos, pois com certeza contribuíram muito para minha formação.

Agradeço aos meus antigos supervisores de estágio no Ministério Público Federal, Tiago e Sidnei, por terem contribuído, e muito, em meu desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico.

RESUMO

O conhecimento da dinâmica da temperatura de superfície terrestre é importante em vários aspectos, como a identificação de ilhas de calor, planejamento de áreas verdes, subsídio para unidades de conservação, entre outros. O objetivo desta pesquisa foi avaliar numa dimensão espaço-temporal a temperatura da superfície terrestre por meio da análise de imagens orbitais. Para estabelecer fatores preponderantes ao seu comportamento, foram elaborados mapas temáticos de uso e ocupação da terra para os anos: 2000, 2002, 2003, 2006, 2008, 2009, 2012 e 2013. A área de estudo utilizada neste trabalho foi a AMREC – SC (Associação dos Municípios da Região Carbonífera), pois ela possui, em sua extensão, variadas classes de uso do solo, com locais de cobertura vegetal arbórea, áreas descobertas, áreas de lavouras temporárias, silvicultura, pastagens, centros urbanos e áreas degradadas pela mineração de carvão mineral. Os sistemas orbitais escolhidos para a aquisição de imagens foram o Landsat 7 e Landsat 8, os quais satisfazem a cobertura de toda a área de estudo nas imagens da órbita 220 e ponto 80. A escolha das imagens levou em consideração as médias mensais das estações meteorológicas de Urussanga e de Orleans, optando-se pelo mês mais quente com maior resolução espacial de imagens disponíveis a uma cobertura de nuvens menor que 10%. Os algoritmos utilizados na obtenção da temperatura da superfície terrestre foram implementados no software ArcGis 10.3, obedecendo a seguinte ordem: conversão do número digital para radiância, conversão da radiância para temperatura de brilho, cálculo do NDVI, cálculo da proporção de vegetação, determinação da emissividade e, por fim, a determinação da temperatura de superfície. As classes de uso do solo utilizadas no presente estudo foram divididas em área urbana, mineração, agricultura, vegetação arbórea, duna, área descoberta e corpo d'água continental, sendo que para esta última classe foram adotadas bases vetoriais secundárias de massas de água e trechos de drenagem. Os resultados de temperatura da superfície terrestre obtidos para a área de estudo permitiram observar certas relações espaciais entre temperatura e uso do solo, com a predominância de temperaturas médias e picos mais altos em municípios onde as classes de uso do solo são aquelas mais antropizadas (áreas urbanas, descobertas ou mesmo de agricultura). Ao longo do tempo as temperaturas médias encontradas para toda a região da AMREC variaram de 22,55 °C a 26,97 °C. Ocorreram várias

mudanças no uso e ocupação da terra, com aumento da área urbana e área descoberta em 104% e 529%, respectivamente, e a diminuição da área de mineração em 89%. As correlações estabelecidas não foram significativas para as temperaturas com as classes de uso do solo, mas foram significantes e com correlação alta entre alguns usos do solo, tais como agricultura e área descoberta (-0,94) e área urbana e agricultura (-0,82). A obtenção de mais imagens, bem como a utilização de outras variáveis como ventos, umidade do solo, altitude, população, Produto Interno Bruto, entre outras, se faz necessária para extrair análises mais precisas do comportamento da temperatura da superfície terrestre.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Sistema de informação geográfica. Uso do solo. Médias mensais. Climatologia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema dos principais componentes presentes no sensoriamento remoto 12
Figura 2 - Espectro eletromagnético 14
Figura 3 - Classificação do índice NDVI em relação a saúde da vegetação 19
Figura 4 - Linha do tempo das missões Landsat, que começaram em 1972 20
Figura 5 - Demonstração da falha no mecanismo SLC 22
Figura 6 - Demonstração de uma imagem com SLC-OFF (a) e uma imagem com um algoritmo de correção aplicado (b) 23
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo (AMREC) 27
Figura 8 - Fluxograma do procedimento realizado para conversão das imagens de satélite em temperatura.....31
Figura 9 - Modelo construído em ArcGis para obtenção da temperatura da superfície terrestre (Landsat 7).....36
Figura 10 - Modelo construído em ArcGis para obtenção da temperatura da superfície terrestre (Landsat 8) 37
Figura 11 - Posicionamento de perfis de temperatura.....41
Figura 12 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 20 de março de 2000.44
Figura 13 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2000 45
Figura 14 - Perfil de temperatura B (Leste - Oeste) do ano de 2000.....45
Figura 15 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 10 de março de 2002. 49
Figura 16 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2002 50
Figura 17 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2002.....50
Figura 18 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 29 de março de 2003. .53
Figura 19 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2003 54
Figura 20 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2003.....54
Figura 21 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 05 de março de 2006. .57
Figura 22 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2006 58
Figura 23 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 26 de março de 2008 ..61
Figura 24 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2008 62
Figura 26 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2008.....62
Figura 26 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 29 de março de 2009 ..65
Figura 27 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2009 66

Figura 28 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 05 de março de 2012 ..69
Figura 29 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2012 70
Figura 30 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2012..... 70
Figura 31 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 31 de março de 2013 ..73
Figura 32 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2013 74
Figura 33 - Gráficos em pizza da variação do uso do solo..... 81
Figura 34 - Mapas de uso do solo para as imagens analisadas em cada ano 82
Figura 35 - Localização do pixel escolhido para análise e seu valor digital de 136... 95
Figura 36 - Valor de radiância encontrado pelo software 96
Figura 37 - Temperatura de brilho calculada por *software* 97
Figura 38 - NDVI calculado pelo *software* 98
Figura 39 - Cálculo de percentual de vegetação executado por programa 99
Figura 40 - Resultado de emissividade calculado pelo *software* 100
Figura 41 - Temperatura da Superfície Terrestre (LST) calculada por modelo em ArcGis 10.3..... 101
Figura 42 - Resultado final do cálculo da temperatura da superfície terrestre executado em ArcGis 10.3 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisão do espectro magnético 15
Tabela 2 - Divisões por comprimento de onda do espectro visível 15
Tabela 3 - Valor de emissividade por material 18
Tabela 4 - Bandas do satélite Landsat 7 ETM+ 21
Tabela 5 - Bandas do satélite Landsat 8 OLI e TIRS 24
Tabela 6 - Data e hora de aquisição das imagens dos satélites Landsat 7 e 8, para cada imagem escolhida.....30
Tabela 7 - Valores determinados para as variáveis presentes nas equações 4 e 5..33
Tabela 8 - Valores determinados para as variáveis presentes nas equações 3 e 5..33
Tabela 9 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2000 (°C).....46
Tabela 10 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2002 (°C).....51
Tabela 11 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2003 (°C).....55
Tabela 12 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2006 (°C).....58
Tabela 13 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2008 (°C).....63
Tabela 14 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2009 (°C).....66
Tabela 15 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2012 (°C).....71
Tabela 16 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2013 (°C).....74
Tabela 17 - Temperaturas encontradas para a região da AMREC ao longo do tempo 77
Tabela 18 - Áreas por classe de uso do solo em cada imagem analisada.....80
Tabela 19 - Porcentagem por classe de uso do solo em cada imagem analisada....80
Tabela 20 - Coeficientes de correlação de Pearson para as classes de uso do solo 83
Tabela 21: Interpretações possíveis de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson.....83

Tabela 22 - Temperaturas obtidas por município e por imagem analisada.....104
Tabela 23 – Distribuição em área das classes de uso do solo por município 106
Tabela 24 - Porcentagem por classe de uso do solo em cada município 110
Tabela 25 - Valores de significância e correlação de Pearson.....114

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas médias mensais em Urussanga - SC 28
Gráfico 2 - Temperaturas médias mensais em Orleans - SC 29
Gráfico 3 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2000 46
Gráfico 4 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2002 51
Gráfico 5 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2003 55
Gráfico 6 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2006 59
Gráfico 7 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2008 63
Gráfico 8 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2009 67
Gráfico 9 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2012 71
Gráfico 10 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2013 75
Gráfico 11 - Temperatura média das imagens analisadas 75
Gráfico 12 - Temperaturas mínima, máxima e média ao longo das imagens analisadas 77
Gráfico 13 - Porcentagem de crescimento ou diminuição por classe de uso do solo 79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
ERTS-1	*Earth Resources Technology Satellite*
ETM+	*Enhanced Thematic Mapper Plus*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NDVI	*Normalize Difference Vegetation Index*
OLI	*Operational Land Imager*
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SLC	*Scan Line Corrector*
TIRS	*Thermal Infrared Sensor*
TM	*Thematic Mapper*
USGS	*United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REFERENCIAL TEÓRICO 12
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO 12
2.1.1 Radiação Eletromagnética 13
2.1.2 Espectro Eletromagnético 14
2.1.3 Aplicações do Sensoriamento Remoto 16
2.1.4 Sensoriamento Termal Remoto 16
2.1.5 NDVI 18
2.1.6 Cobertura e uso do solo 20
2.2.1 Landsat 7 21
2.2.2 LANDSAT 8 23
2.3 CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM 24
2.3.1 Resolução Espacial 24
2.3.2 Resolução Espectral 25
2.3.3 Resolução Radiométrica 25
2.3.4 Resolução Temporal 25
2.3.5 Largura da Faixa Imageada 25
3 METODOLOGIA 26
3.1 ÁREA DE ESTUDO 26
3.2 IMAGENS UTILIZADAS 28
3.3 FLUXO DE TRABALHO 30
3.3.1 Correção de imagens 38
3.3.2 Uso e Ocupação da Terra 38
3.3.3 Quantificação das áreas 38
3.4 VERIFICAÇÃO manual DE RESULTADOS 39
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS 40
4.1 VERIFICAÇÃO MANUAL 40
4.2 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE 40
6.2.1 Ano de 2000 42
6.2.2 Ano de 2002 47
6.2.3 Ano de 2003 52
6.2.4 Ano de 2006 56

6.2.5 Ano de 2008 59
6.2.6 Ano de 2009 64
6.2.7 Ano de 2012 67
6.2.8 Ano de 2013 72
6.2.9 Variação espaço-temporal da temperatura 75
6.3 VARIAÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO 78
6.4 ESTATÍSTICAS DE CORRELAÇÃO 83
7 CONCLUSÃO 85
REFERÊNCIAS 87
APÊNDICE(S) 93
APÊNDICE A – VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE 94
APÊNDICE B – RESULTADOS DE TEMPERATURA POR MUNICÍPIO E POR IMAGEM ANALISADA 104
APÊNDICE C – ÁREA POR CLASSE DE USO DO SOLO POR ANO 106
APÊNDICE D – ÁREA POR CLASSE DE USO DO SOLO POR ANO 110
APÊNDICE E – TABELA DE SIGNIFICÂNCIA E CORRELAÇÃO DE PEARSON 114
ANEXO(S) 117
ANEXO A – ARQUIVO DE METADADOS DA IMAGEM DE 20 DE MARÇO DE 2000 (LANDSAT 7) 118
ANEXO B – ARQUIVO DE METADADOS DA IMAGEM DE 31 DE MARÇO DE 2013 (LANDSAT 8) 123

1 INTRODUÇÃO

A temperatura da superfície terrestre é uma importante grandeza para vários modelos ambientais, como troca de energia e matéria da superfície com a atmosfera, previsão do tempo, circulação dos oceanos, mudanças climáticas, além de influenciar na temperatura do ar das camadas mais baixas da atmosfera urbana e no conforto dos moradores das cidades. (VALOR; CASELLES, 1996; VOOGT; OKE, 1998).

Os sensores infravermelhos termais atualmente disponíveis oferecem imagens com diferentes resoluções espaciais e temporais que podem ser utilizados para este fim. Com o uso destes sensores termais a bordo dos satélites é possível obter um recobrimento local, regional e global da temperatura de superfície terrestre (VALOR; CASELLES, 1996; LI et al., 2004).

As mudanças ocorridas na atmosfera e na superfície decorrentes da urbanização geralmente levam à ocorrência de um clima termal alterado, o qual é mais quente comparado às áreas não urbanizadas, ocasionando alguns efeitos, tal como as ilhas de calor urbanas (VOOGT; OKE, 1998).

Esta relação entre a temperatura da superfície terrestre e as variações de uso e ocupação do solo tem sido abordada em diversos estudos científicos como Deng et al. (2018), Fu e Weng (2016), Hereher (2017), Pal e Ziaul (2017), Tayyebi, Shafizadeh-moghadam e Tayyebi (2018), Tran et al. (2017), Wang et al. (2018), entre outros.

O objetivo desta pesquisa é identificar o comportamento espacial e temporal da temperatura da superfície terrestre, por meio da utilização de imagens orbitais que recobrem o território dos municípios da AMREC (Associação dos Municípios da Região Carbonífera), bem como avaliar sua relação com o uso e ocupação da terra da região.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

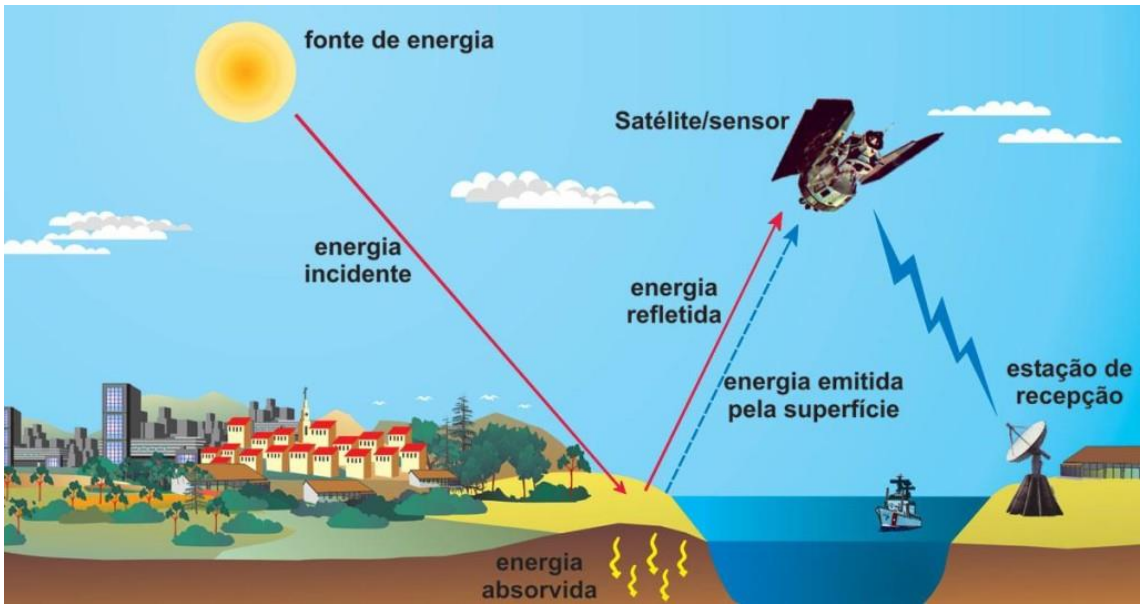
O sensoriamento remoto pode ser definido como uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com a terra (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Mais detalhadamente, (MENESES; ALMEIDA, 2012), apontam que o sensoriamento remoto é regido por três condições, sendo elas: a) ausência de matéria no espaço entre o sensor e o objeto; b) a informação do objeto pode ser transportada pelo espaço vazio, e; c) o objeto e o sensor se comunicam por meio da radiação eletromagnética, a qual é a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço.

Sendo assim, como afirma Garcia (1982, p. 23), “o termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que se utilizam da energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos [...]”.

A aquisição de dados através do sensoriamento remoto é demonstrada, simplificadamente, pela Figura 1.

Figura 1 - Esquema dos principais componentes presentes no sensoriamento remoto



Fonte: https://blogdaengenharia.com

No esquema representado pela figura 1, é possível observar como funciona a técnica de sensoriamento remoto. Nela, o sol é a principal fonte de energia eletromagnética, a qual é refletida pelo alvo ao sensor (LORENZZETTI, 2015).

A radiação eletromagnética emitida pelo sol para a superfície terrestre é, em parte, absorvida e a outra parte refletida para o espaço, onde pode ser captada por um sensor, o qual transmite o sinal para uma estação terrestre. Os sinais recebidos por estas estações são transformados em gráficos, tabelas ou imagens (FLORENZANO, 2002).

2.1.1 Radiação Eletromagnética

Todos os corpos que apresentam temperatura acima do zero absoluto (zero Kelvin ou -273,15 °C) emitem radiação eletromagnética, pois suas moléculas vibram e, ao colidirem, mudam seu estado de energia, emitindo radiação eletromagnética. (BAPTISTA, 2012). Deste modo, qualquer corpo com temperatura absoluta acima de zero é considerado uma fonte de energia eletromagnética (MORAES, 2002).

A energia eletromagnética se move na forma de ondas eletromagnéticas na velocidade da luz (c = 300.000 km/s) e não necessita da existência de um meio material para poder se propagar. As duas principais fontes dessa energia utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre são a Terra e o sol (MORAES, 2002).

2.1.1.1 Fontes de radiação eletromagnética

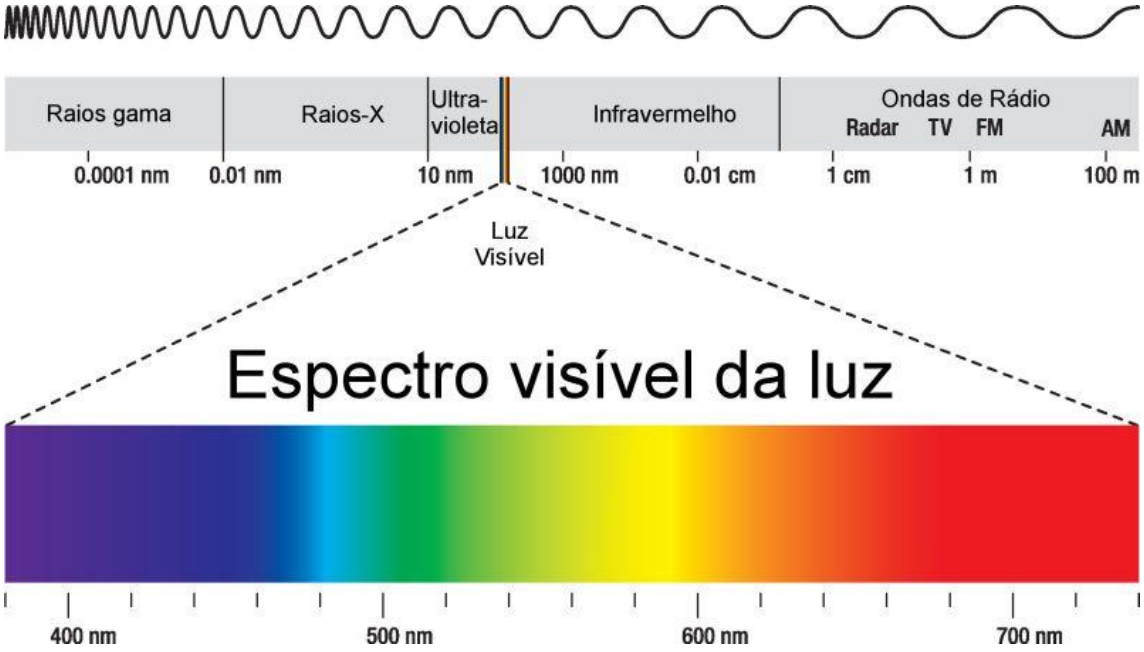
A principal fonte de radiação eletromagnética para o sensoriamento remoto da superfície terrestre é o Sol. A energia irradiada pela fotosfera (superfície aparente do Sol) é também a principal fonte de radiação eletromagnética no sistema solar. Esta energia radiante em direção à Terra é denominada de Fluxo Radiante (NOVO, 1998).

2.1.2 Espectro Eletromagnético

A ordenação da energia eletromagnética em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência é denominada de espectro eletromagnético (MORAES, 2002).

A radiação eletromagnética possui um espectro contínuo, porém foi dividido em intervalos pelo homem de acordo com os mecanismos físicos geradores e nos mecanismos físicos de sua detecção. A nomenclatura é dada a partir da utilidade de cada intervalo, conforme observado na Figura 2 abaixo (MENESES, 2012).

Figura 2 - Espectro eletromagnético



Fonte: https://www.infoescola.com

Nas tabelas 1 e 2 são apresentados em detalhe os comprimentos de onda do espectro eletromagnético e da região do visível.

Tabela 1 - Divisão do espectro magnético

Intervalo Espectral	**Comprimento de Onda**
Raios cósmicos	0,01 x 10^{-10} m
Raios gama	0,01 – 0,1 10^{-10} m
Raios X	0,1 – 10 10^{-10} m
Ultravioleta	100nm – 0,38μm
Visível	0,38 – 0,76 μm
Infravermelho próximo	0,76 – 1,2 μm
Infravermelho de ondas curtas	1,2 – 3,0 μm
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 μm
Infravermelho termal	5,0 μm – 1 mm
Micro-ondas	1 mm – 100 cm
Rádio	1 m – 10 km
Áudio	10 – 100 km
Corrente alternada	> 100 km

Fonte: Meneses, P.R (2012)

Tabela 2 - Divisões por comprimento de onda do espectro visível

Comprimento de onda (μm)	**Cor da luz refletida**
0,380 – 0,455	Violeta
0,455 – 0,482	Azul
0,482 – 0,487	Azul-esverdeado
0,487 – 0,493	Azul-verde
0,493 – 0,498	Verde-azulado
0,498 – 0,530	**Verde**
0,530 – 0,559	verde-amarelado
0,559 – 0,571	amarelo-verde
0,571 – 0,576	amarelo-esverdeado
0,576 – 0,580	**Amarelo**
0,580 – 0,587	laranja-amarelado
0,587 – 0,597	**Laranja**
0,597 – 0,617	laranja-avermelhado
0,617 – 0,760	**Vermelho**

Fonte: Meneses, P.R (2012)

2.1.3 Aplicações do Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto tem variadas aplicações ambientais, como distribuição de nuvens, precipitação, temperatura, geologia, geografia, agronomia, uso e cobertura do solo, florestas, monitoramento dos oceanos e das regiões polares, entre outros (LORENZZETTI, 2015).

2.1.4 Sensoriamento Termal Remoto

A radiação eletromagnética é emitida por todos os corpos terrestres (artificiais ou naturais) que se encontram em temperaturas acima do zero absoluto, sendo possível medir com sensores a radiação termal emitida e ter a imagem destes objetos (BAPTISTA, 2012).

O intervalo de comprimento de onda da radiação termal está entre 5,0 μm a 1,0 mm, entretanto o mais utilizado para sensoriamento remoto terrestre está na faixa de 8,0 a 14 μm, devido a atmosfera estar bastante transparente e o sinal ser pouco atenuado pela absorção atmosférica (TEMPFLI et al., 2009; BAPTISTA, 2012).

A temperatura da superfície é o principal fator que determina a quantidade de energia que é radiada e medida nos comprimentos de onda termais, variando dependendo da hora do dia, estação, local, exposição a radiação solar, entre outros fatores, podendo ser medida também durante a noite, pois não depende da luz solar refletida (TEMPFLI et al., 2009).

Os satélites infravermelhos termais medem a radiância no topo da atmosfera (Weng et al., 2004). Esta grandeza pode ser derivada em temperatura por meio da aplicação da Lei de Planck, a qual relaciona a energia radiativa emitida por um corpo negro com a sua temperatura absoluta. Um corpo negro é definido como um objeto irradiador hipotético que absorve e reemite toda energia incidente sobre ele (KÜNZER; DUCH, 2013). Adaptando tal lei para corpos não negros, a função de Planck é multiplicada por $\varepsilon(\lambda)$, conforme Dash et al. (2002), onde tem-se a equação 1:

$$R(\lambda, \mathrm{T}) = \varepsilon(\lambda) \times B(\lambda, \mathrm{T}) = \varepsilon(\lambda) \times \frac{c_1 \times \lambda^{-5}}{\pi \left[\mathrm{e}\left(\frac{c_2}{\lambda \mathrm{T}}\right) - 1 \right]} \quad (1)$$

Onde:

R(λ,T): Radiância espectral de um corpo não negro ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}.sr^{-1}$)

B(λ,T): Radiância espectral de um corpo negro – Função de Planck ($Wm^{-2}\mu m^{-1}\ sr^{-1}$)

λ: Comprimento de onda (μm)

ε*(λ):* Emissividade de um corpo num determinado λ

T: Temperatura (K)

C_1: 3,74 x 108 $W.m^{-2}.\mu m^{-4}$ (MOREIRA, 2005).

C_2: 1,44 x 108 μm.K (MOREIRA, 2005).

2.1.4.1 Radiância Espectral

A radiância é definida como o fluxo radiante emitido, refletido, transmitido ou recebido por uma superfície, por unidade de ângulo por unidade de área (LORENZETTI, 2012). Já a radiância espectral se refere a radiância de uma superfície em um intervalo de frequência ou comprimento de onda ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$).

2.1.4.2 Temperatura de Brilho

A temperatura de brilho, calculada a partir da radiância espectral de um alvo, é a temperatura efetiva vista pelo satélite com uma emissividade assumida (USGS, 2016).

2.1.4.3 Emissividade

Os corpos negros são apenas modelos para explicar o comportamento das fontes de radiação eletromagnética. No mundo real, encontram-se corpos que radiam seletivamente e que emitem apenas uma parte da energia que seria emitida por um corpo negro. A emissividade representa a fração de energia que é radiada por um corpo do mundo real (M_r) comparada a energia que seria emitida por um corpo negro (M_b), como mostrado na equação 2 (BAPTISTA, 2012).

$$\in = \frac{M_r}{M_b} \quad (2)$$

A emissividade de um corpo do mundo real considera vários fatores, tais como cor, composição química, rugosidade da superfície, umidade, entre outros (BAPTISTA, 2012).

Na tabela 3 são apresentadas as emissividades de alguns materiais terrestres em um comprimento de onda entre 8 a 14 µm.

Tabela 3 - Valor de emissividade por material

Material	**Emissividade (ε)**
Água	0,92 - 0,98
Vegetação verde	0,96 – 0,99
Vegetação seca	0,88 – 0,94
Solo úmido	0,95 – 0,98
Solo seco	0,92 – 0,94
Areia	0,90
Asfalto	0,95

Fonte: Adaptado de Baptista (2012).

2.1.5 NDVI

O índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) envolve a diferença e soma entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho. É uma ferramenta para o monitoramento da vegetação, servindo para construir perfis sazonais e temporais da vegetação, sendo utilizado em trabalhos de medida de índice de área foliar, determinação da porcentagem de cobertura do solo e estimativas da radiação fotossinteticamente ativa (PONZONI, 2007; MENESES, 2012).

É um estudo amplamente utilizado na atualidade, possuindo abordagens em diferentes áreas como estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos (PONZONI, 2007).

Os valores do NDVI variam de 1 a -1, onde os valores negativos representam as nuvens e quando próximos a zero representam o solo nu ou sem vegetação. O valor de NDVI maior que zero representa a vegetação. O valor de NDVI mais alto indica que o grau de verde da vegetação da superfície é mais alto, inferindo em uma vegetação mais densa ou em pleno crescimento vigor de crescimento. Em uma superfície em pleno vigor de crescimento vegetativo, o grau de verde alcança o valor máximo (LIU, 2007).

Na Figura 3 é demonstrado um exemplo da utilidade do índice NDVI e de como a saúde da vegetação pode ser medida por ele.

Figura 3 - Classificação do índice NDVI em relação a saúde da vegetação



Fonte: https://sentera.com

Na figura acima tem-se que, para a vegetação muito saudável, os valores de NDVI variam entre 0,66 a 1 e que para a vegetação moderadamente saudável, tais valores ficam entre 0,33 e 0,66. Para a vegetação morta ou objetos inanimados, este valor vai de -1 a 0, já para a vegetação pouco saudável os valores estão entre 0 e 0,33.

2.1.6 Cobertura e uso do solo

O levantamento do uso e da cobertura da terra indica, segundo IBGE (2013, p. 36) *“a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre.”*.

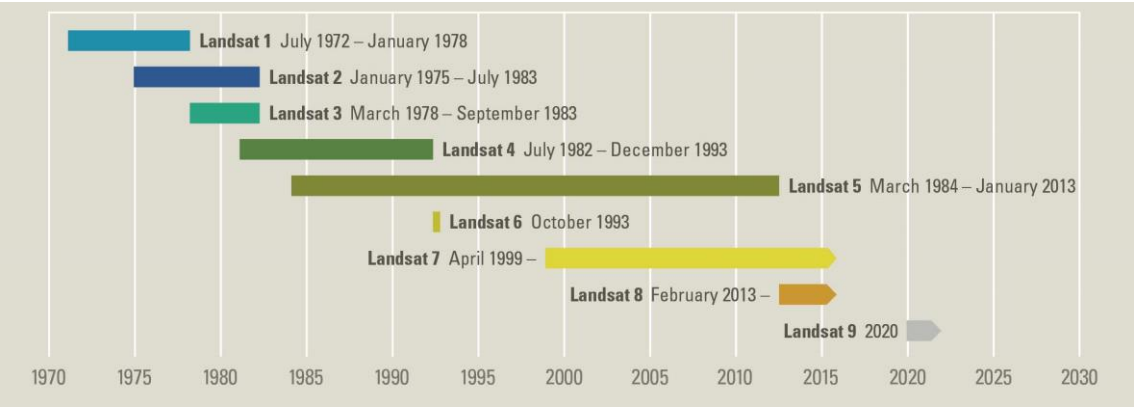
Estes estudos retratam as formas, a dinâmica do uso da terra ao longo do tempo, bem como são de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e ocupação do espaço. Outras importantes utilidades deste levantamento são a construção de indicadores ambientais e para a avaliação de capacidade de suporte ambiental (IBGE, 2013).

São úteis para a avaliação de impactos ambientais provenientes de desmatamento, da perda da biodiversidade, das mudanças climáticas, de doenças ou impactos gerados pela urbanização e transformações rurais (IBGE, 2013).

2.2 SATÉLITES LANDSAT

No dia 23 de julho de 1972 a primeira missão dos satélites Landsat foi executada com sucesso, lançando ao espaço o satélite *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS-1), posteriormente denominado de Landsat 1 (USGS, 2016). Atualmente, duas das 8 missões realizadas estão ainda em operação (Landsat 7 e Landsat 8). Na Figura 4 abaixo é demonstrada a linha do tempo das missões Landsat.

Figura 4 - Linha do tempo das missões Landsat, que começaram em 1972



Fonte: USGS (2016)

As aplicações possíveis com as imagens dos satélites Landsat são variadas, sendo utilizadas em pesquisas sobre mudanças globais, agricultura, silvicultura, geologia, mapeamento da cobertura do solo, recursos hídricos, estudos costeiros e mapeamento de temperatura da superfície (USGS, 2016).

2.2.1 Landsat 7

O satélite Landsat 7, lançado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) no dia 15 de abril de 1999, é dotado do sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e dispõe de 8 bandas nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo, infravermelho, infravermelho médio e infravermelho termal (USGS, 1998). Na tabela 4 são apresentadas as características principais das bandas deste satélite.

O sensor ETM+ é uma derivação do sensor TM (*Thematic Mapper*) utilizado nos satélites Landsat 4 e Landsat 5, mas é mais próximo do ETM que foi perdido durante a falha no lançamento do Landsat 6 (USGS, 1998). As principais melhoras estabelecidas no ETM+ em relação ao TM são a adição de duas faixas, a banda pancromática, a melhor resolução espacial da banda termal e a adição de dois calibradores solares (USGS, 1998).

Tabela 4 - Bandas do satélite Landsat 7 ETM+

Bandas espectrais	**Comprimento de onda (μm)**	**Resolução espacial (m)**
B1 (Azul)	0.45-0.52	30
B2 (Verde)	0.52-0.60	30
B3 (Vermelho)	0.63-0.69	30
B4 (Infravermelho próximo)	0.77-0.90	30
B5 (Infravermelho médio)	1.55-1.75	30
B6 (Infravermelho termal)	10.40-12.50	60 (30)*
B7 (Infravermelho médio)	2.09-2.35	30

B8 (Pancromática)	0.52-.90	15

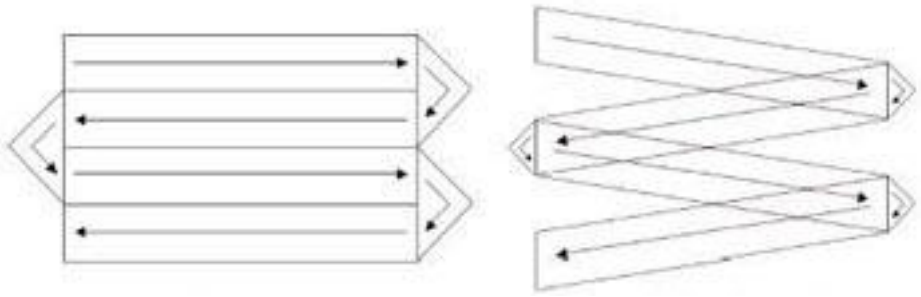
Fonte: Adaptado de USGS (1998)

*A banda 6 é adquirida com resolução de 60 m, mas os produtos são reajustados e disponibilizados em uma resolução espacial de 30 m.

2.2.1.1 Scan Line Corrector-Off

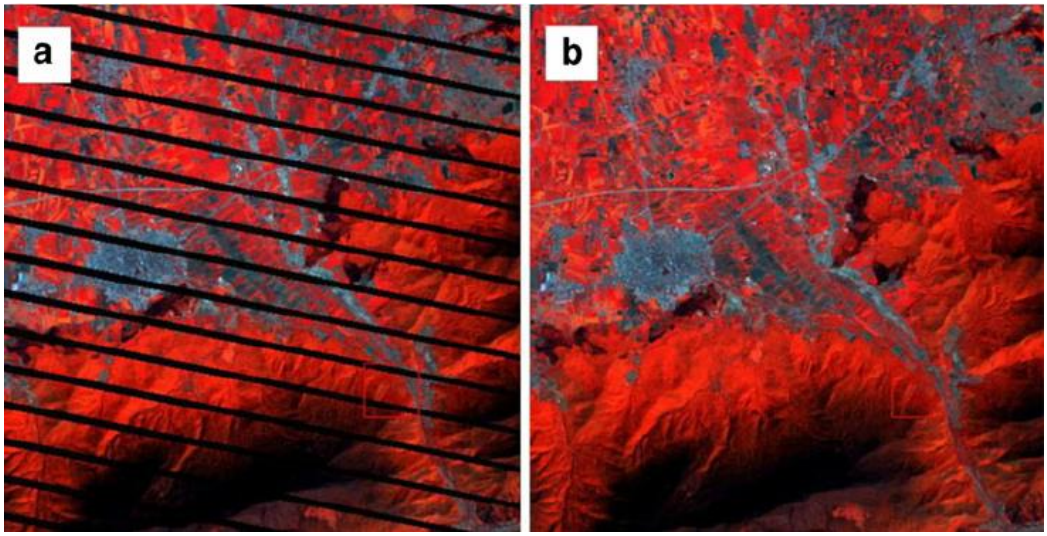
O satélite Landsat 7 (ETM+) possui um mecanismo de compensação do deslocamento do satélite durante a varredura, chamado de *Scan Line Corrector* (SLC). No dia 31 de maio de 2003, este equipamento teve problemas com falhas, se tornando impossível adquirir imagens terrestres completas, o que fez com que elas fossem coletadas num padrão de ziguezague (Figuras Figura 5Figura 6), deixando lacunas na imagem (USGS, 2007). Por este motivo, é necessário aplicar correções nestes produtos antes de utilizá-los.

Figura 5 - Demonstração da falha no mecanismo SLC



Fonte: Adaptado de USGS (2018)

Figura 6 - Demonstração de uma imagem com SLC-OFF (a) e uma imagem com um algoritmo de correção aplicado (b)



Fonte: Mohammdy. M (2013)

2.2.2 LANDSAT 8

O satélite Landsat 8 foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013. Este satélite é equipado com os sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), possuindo 9 bandas espectrais, incluindo uma pancromática (USGS, 2016). Na tabela 5 são apresentadas as características principais deste satélite.

As melhorias implementadas neste satélite são a adição da banda 1 (azul profundo visível), projetado para a análise de recursos hídricos e análises da zona costeira e de uma nova banda de infravermelho (banda 9) para a detecção de nuvens cirros. Cada produto gerado também contém um controle de qualidade, informando a presença de nuvens, água e neve. O sensor TIRS cobre em duas bandas o comprimento de onda antes coberto por apenas uma banda nos sensores EM e ETM+ (USGS, 2016).

Tabela 5 - Bandas do satélite Landsat 8 OLI e TIRS

Bandas espectrais	**Comprimento de onda (μm)**	**Resolução espacial (m)**
B1 (Costeiro/Aerosol)	0.435 - 0.451	30
B2 (Azul)	0.452 - 0.512	30
B3 (Verde)	0.533 - 0.590	30
B4 (Vermelho)	0.636 - 0.673	30
B5 (Infravermelho próximo)	0.851 - 0.879	30
B6 (Infravermelho médio)	1.566 - 1.651	30
B7 (Infravermelho médio)	2.107 - 2.294	30
B8 (Pancromática)	0.503 - 0.676	15
B9 (Cirrus)	1.363 - 1.384	30
B10 (Infravermelho termal)	10.60 - 11.19	100 (30)*
B11 (Infravermelho termal)	11.50 - 12.51	100 (30)*

Fonte: Adaptado de USGS (2016)

*As bandas 6 e 10 são adquiridas com resolução de 100 m, mas os produtos são reajustados e disponibilizados em uma resolução espacial de 30 m.

2.3 CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM

As imagens bidimensionais produzidas pelos sensores podem ser caracterizadas em função de suas resoluções espacial, espectral, radiométrica, temporal e pela largura da faixa imageada (ROCHA, 2002).

2.3.1 Resolução Espacial

A resolução espacial é o parâmetro que determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem, sendo que quanto maior for, menor é o tamanho mínimo dos elementos que podem ser detectados individualmente. (ROCHA, 2002; MENESES, 2012). Por definição, um objeto só pode ser detectado caso a resolução espacial da imagem seja igual ou maior que seu tamanho (MENESES, 2012).

2.3.2 Resolução Espectral

Este termo refere-se à capacidade do sensor em obter imagens em diferentes regiões espectrais ao mesmo tempo, envolvendo três parâmetros diferentes: o número de bandas captadas pelo sensor; a largura em comprimento de onda das bandas, e; as posições que as bandas estão situadas no espectro eletromagnético (MENESES, 2012).

2.3.3 Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica é a medida da intensidade de radiância realizada pelos detectores na área de cada pixel unitário. Ela define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar (MENESES, 2012).

2.3.4 Resolução Temporal

O conceito de resolução temporal é definido, por Meneses (2012, p.31) pela “frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas ao longo de sua vida útil.”

2.3.5 Largura da Faixa Imageada

Outro atributo das imagens capturadas é a largura da faixa imageada, ou faixa de varredura, a qual varia de acordo com o satélite (ROCHA, 2002).

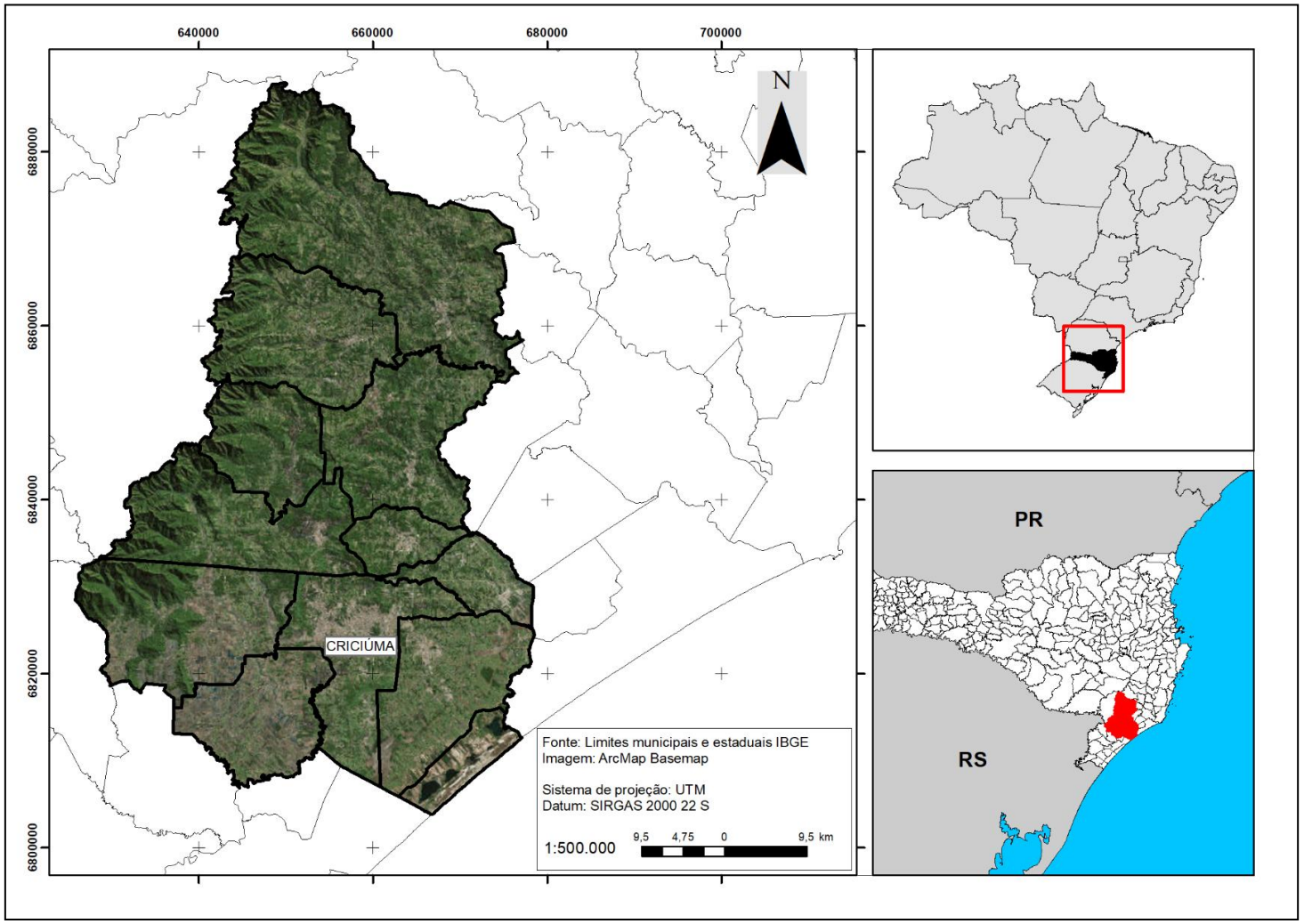
3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo conforme Figura 7 compreende a região dos municípios da AMREC (Associação dos Municípios da Região Carbonífera), localizada no sul do estado de Santa Catarina. Esta Associação é abrangida por doze municípios: Balneário Rincão, Cocal do Sul, Criciúma (município sede), Forquilhinha, Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Treviso e Urussanga tem como extensão territorial 2654Km² (AMREC, 2016).

Fator que influenciou na definição da área de estudo foi a presença de estações meteorológicas que são fontes de dados para o trabalho e também por possuir ambientes com pouca alteração antrópica e ambientes degradados pelas atividades humanas (mineração, urbanização, agricultura, indústrias, pecuária, entre outras).

Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo (AMREC)



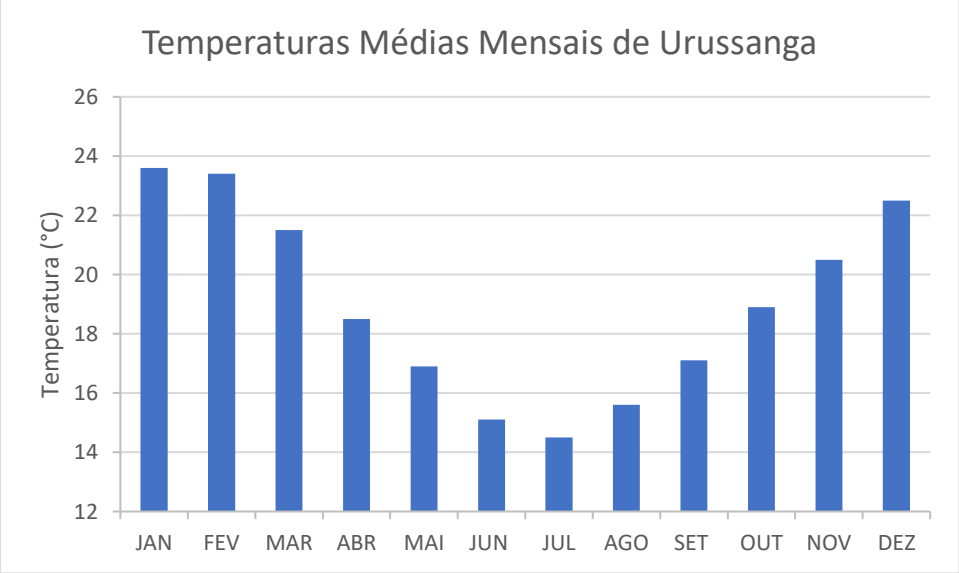
Fonte: Do autor (2018)

3.2 IMAGENS UTILIZADAS

Para a realização deste trabalho foram adquiridas as imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8, fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – *United States Geological Survey*) no endereço eletrônico https://earthexplorer.usgs.gov/.

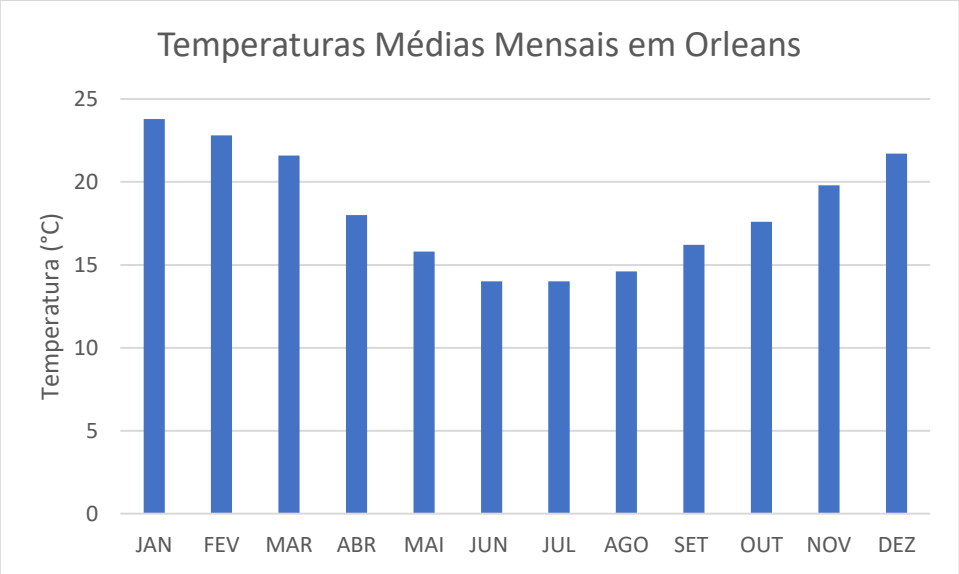
A região de interesse apresenta as temperaturas mais elevadas nos meses de janeiro e fevereiro, mas neste trabalho foram adquiridas imagens do mês de março por este ser o mês mais quente em que havia imagens da região disponíveis, com boa resolução temporal, considerando uma cobertura de nuvens da terra inferior a 10%.

Gráfico 1 - Temperaturas médias mensais em Urussanga - SC



Fonte: Adaptado de Santa Catarina (1986).

Gráfico 2 - Temperaturas médias mensais em Orleans - SC



Fonte: Adaptado de Santa Catarina (1986).

Para as imagens obtidas do satélite Landsat 8, utilizou-se a banda 10, a qual corresponde ao sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Esta banda possui resolução espacial de 100 m, mas foi ajustada e disponibilizada em uma resolução de 30 m. O intervalo de comprimento de ondas para a banda 10 é, 10,6 – 11,19 µm. Não se recomenda utilizar a banda 11 para obter a temperatura da superfície terrestre, uma vez que a incerteza de calibração associada é maior (USGS, 2016).

A banda escolhida para a análise das imagens do Landsat 7 (sensor ETM+) foi a banda 6, correspondente a banda termal, de comprimento de onda no intervalo de 10,40 e 12,50 µm. A resolução espacial, assim como nas imagens do Landsat 8, foi reajustada de 60 m e disponibilizada com resolução de pixel de 30 m.

Ambas as imagens dos dois satélites utilizados cobrem toda a área de estudo em apenas um arquivo (órbita/ponto 220/80) não sendo necessário realizar mosaicagem entre imagens. Na tabela 6 abaixo são listadas as datas de aquisição de cada imagem escolhida por sistema orbital.

Tabela 6 - Data e hora de aquisição das imagens dos satélites Landsat 7 e 8, para cada imagem escolhida.

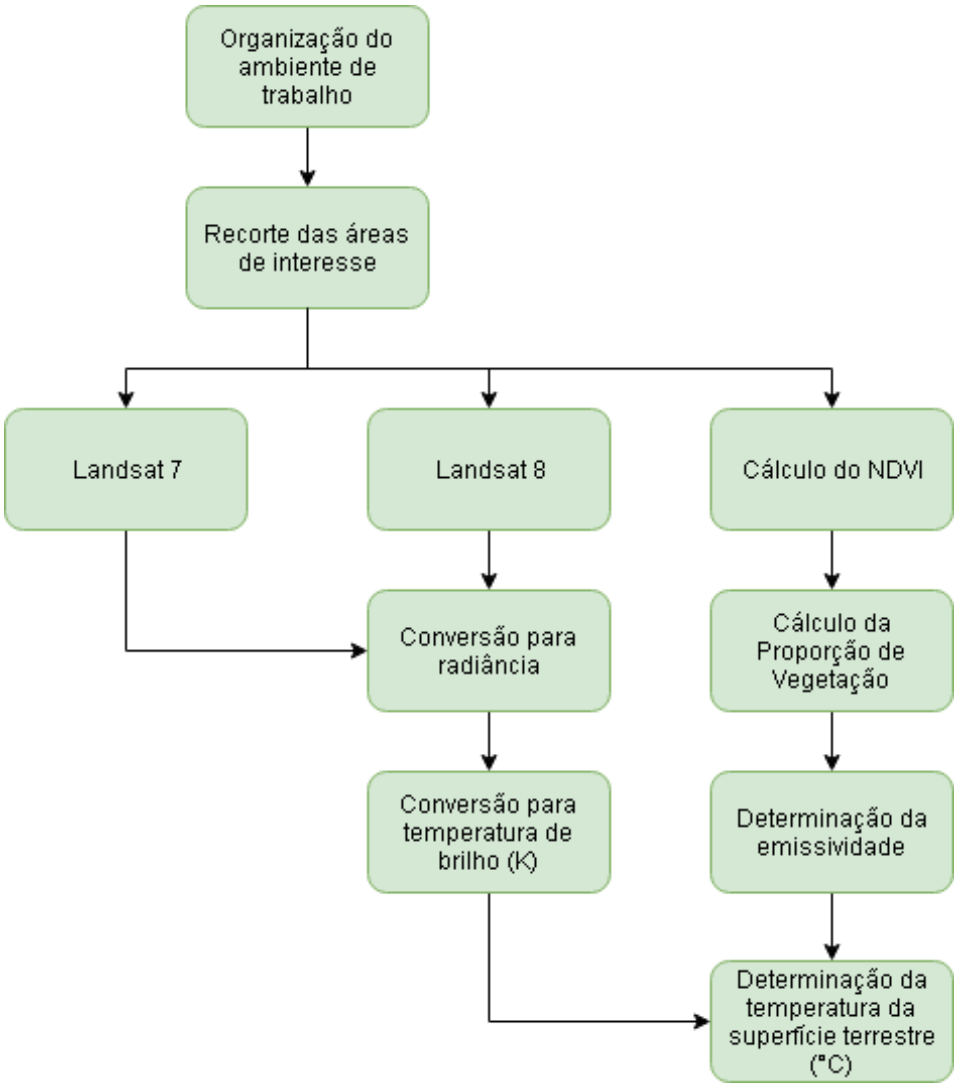
Sistema Orbital	**Data**	**Horário (UTC)**
Landsat 7	20/03/2000	13:04
Landsat 7	10/03/2002	13:01
Landsat 7	29/03/2003	13:00
Landsat 7	05/03/2006	13:06
Landsat 7	26/03/2008	13:02
Landsat 7	29/03/2009	13:02
Landsat 7	05/03/2012	13:06
Landsat 8	31/03/2013	13:12

Fonte: Do autor (2018)

3.3 FLUXO DE TRABALHO

Posteriormente à definição e aquisição das imagens a serem utilizadas, o procedimento seguiu a ordem do fluxograma da Figura 8 abaixo.

Figura 8 - Fluxograma do procedimento realizado para conversão das imagens de satélite em temperatura



Fonte: Do autor (2018)

O software escolhido para o processamento das imagens e elaboração dos mapas temáticos foi o ArcGis 10.3 ®. Como detalhado anteriormente, os dados matriciais (imagens de satélite) foram adquiridos no USGS, enquanto que os arquivos vetoriais (base de dados de malhas digitais de estados, municípios, entre outros) foram obtidos da base do IBGE. Por padronização, todos os arquivos de entrada foram reprojetados para projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 Fuso 22 Sul.

O tratamento das imagens de satélite das bandas termais deve seguir um algoritmo composto por algumas equações, sendo a primeira para a conversão dos

níveis de cinza para radiância e a segunda dos valores de radiância para temperatura de brilho, calculada em Kelvin.

As equações para a conversão da imagem a valores de radiância são diferentes para os satélites Landsat 7 e Landsat 8. Para o primeiro, segue-se a Equação 3 (USGS, 1998).

$$L_\lambda = \left(\frac{(Lmax_\lambda - Lmin_\lambda)}{(Qcalmax - Qcalmin)}\right) \times (Qcal - QCcalmin) + Lmin_\lambda \quad (3)$$

Onde:

L_λ: Radiância espectral (W/m^2·sr·µm);

Qcal: Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (Número Digital – DN);

Qcal min= Valor mínimo do pixel em níveis de cinza;

Qcal max= Valor mínimo do pixel em níveis de cinza;

$Lmin_\lambda$= Radiância espectral mínima;

$Lmax_\lambda$= Radiância espectral máxima.

O tratamento das imagens infravermelhas termais do Landsat 8 envolve, primeiramente, a conversão dos níveis de cinza encontrados em cada pixel para valores de radiância. Tal conversão segue a Equação 4 abaixo (USGS, 2016).

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

Onde:

L_λ: Radiância espectral (W/m2·sr·µm)

M_L: Fator multiplicativo de redimensionamento da banda

Q_{cal}: Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (Número Digital – DN)

A_L: Fator aditivo de redimensionamento da banda

Com os valores de radiância obtidos, é necessário transformá-los em temperatura de brilho no satélite. A Equação 5 (USGS, 2016) traz a conversão necessária para tal operação para ambos os satélites, como segue:

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

Onde:

Tb: Temperatura de brilho no satélite (K)

K1: Constante de calibração 1 (K)

K2: Constante de calibração 2 ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$).

Lλ: Radiância espectral ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$).

Os valores das variáveis foram adotados conforme o arquivo complementar às imagens Landsat. As tabelas 7 e 8 indicam os valores e as denominações das variáveis, segundo os arquivos de metadados que se encontram nos anexos A e B.

Tabela 7 - Valores determinados para as variáveis presentes nas equações 4 e 5

Variável	**Denominação no arquivo de metadados**	**Banda 10**
M_L	RADIANCE_MULT_BAND_10	$3{,}3420 \times 10^{-4}$
A_L	RADIANCE_ADD_BAND_10	0,10000
K1	K1_CONSTANT_BAND_10	774,8853
K2	K2_CONSTANT_BAND_10	1321,0789

Fonte: USGS (2013)[1]

Tabela 8 - Valores determinados para as variáveis presentes nas equações 3 e 5

Variável	**Denominação no arquivo de metadados**	**Banda 6_VCID_1**
Qcal min	QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_1	1
Qcal max	QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_1	255
L_{min_λ}	RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_1	0,00
L_{max_λ}	RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_1	17,04
K1	K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1	666,09
K2	K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1	1282,71

Fonte: USGS (2000)[2]

[1] Dados provenientes do arquivo de metadados obtido na aquisição da imagem de 2013, apresentado em anexo.

Como os valores obtidos na equação 5 referem-se a um corpo negro, é necessário que se apliquem correções em função da emissividade espectral de cada pixel para encontrar a temperatura da superfície terrestre (LST – *Land Surface Temperature*), conforme a equação 6 (ARTIS; CARNAHAN, 1982).

$$LST = \frac{Tb}{\{1 + \left[\left(\lambda \times \frac{\mathrm{Tb}}{\rho}\right) \times \ln \varepsilon\right]\}} - 273{,}15 \qquad (6)$$

Onde:

LST: Temperatura da superfície terrestre (°C);
Tb: Temperatura de brilho no satélite (K);
λ: Comprimento de onda da radiância emitida (μm);
ρ: $h \times c/\sigma$ (14380 μm.K), σ = Constante de Boltzmann (1,38 x 10^{-23} J/K), h = Constante de Planck (6,626 x 10^{-34} J s) e c = Velocidade da luz (2,998 x 10^{8} m/s);
ε: Emissividade (adimensional).

Para encontrar o valor da emissividade da equação 6, utiliza-se a equação 7 descrita abaixo, sendo que são parâmetros desta última os valores encontrados nas equações 8 e 9, proporção de vegetação e NDVI, respectivamente (ADVAN; JOVANOVSKA, 2016; PAL; ZIAUL, 2017; FATHIZAD et al. 2017).

$$\varepsilon = 0{,}004 \times Pv + 0.986 \qquad (7)$$

Onde:

ε: Emissividade;
Pv: Proporção de Vegetação (conforme equação 7);

---

[2] Dados provenientes do arquivo de metadados obtido na aquisição da imagem de 2000, apresentado em anexo. Os valores foram os mesmos para todas as imagens adquiridas.

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}\right)^2 \quad (8)$$

Onde:

Pv: Proporção de vegetação;
NDVI: Valor de NDVI do pixel (equação 9);
NDVImin: Maior valor de NDVI encontrado na imagem;
NDVImax: Menor valor de NDVI encontrado na imagem.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (9)$$

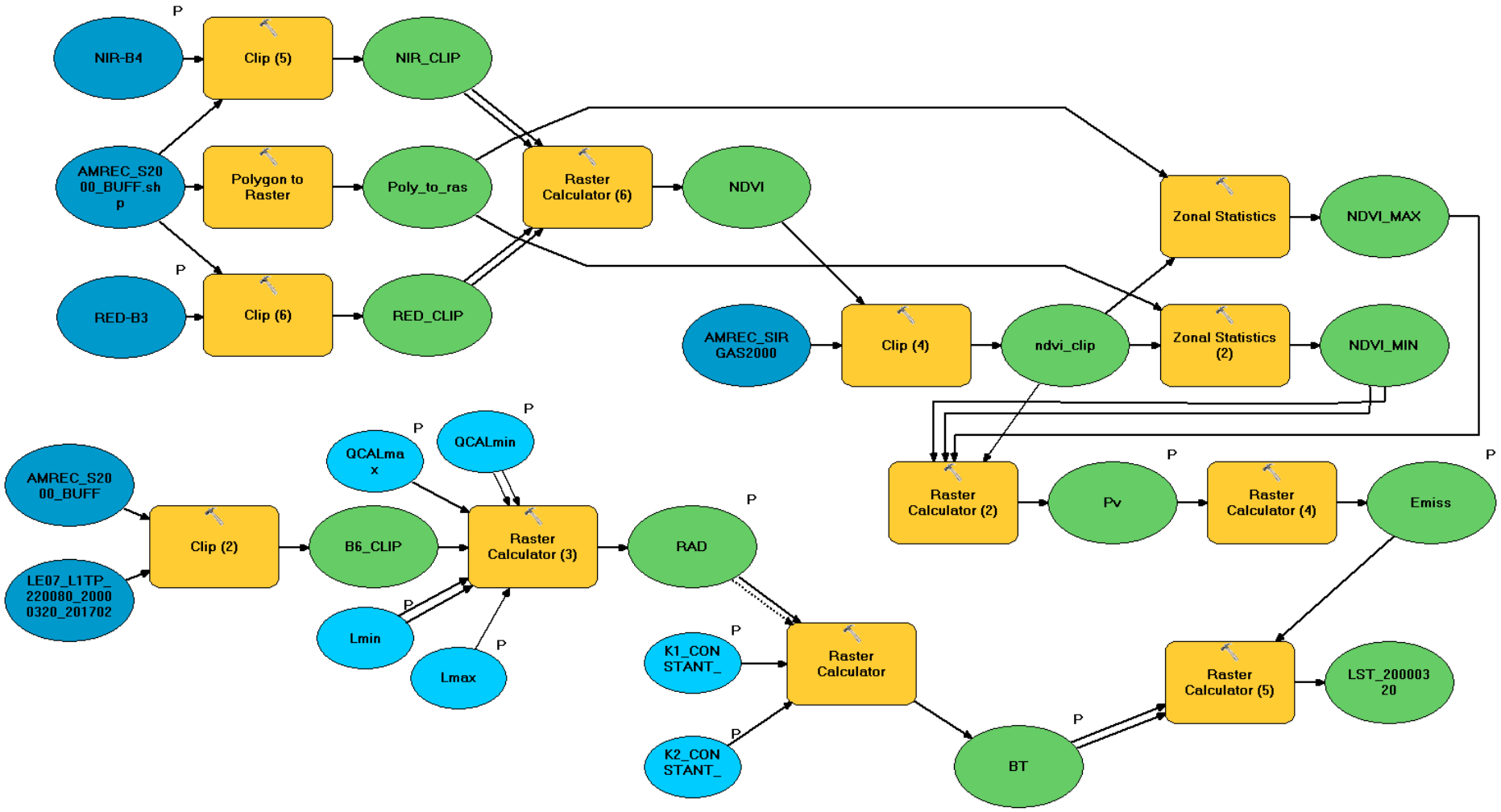
Onde:

NDVI: Valor de NDVI do pixel;
NIR: Banda do infravermelho próximo;
R: Banda do vermelho.

Com o intuito de facilitar o processo de geração das imagens de temperatura da superfície terrestre, foram criados dois modelos dentro do ArcGis 10.3, sendo um para o sistema orbital Landsat 7 e outro para o sistema orbital Landsat 8, representados nas figuras Figura 9 e

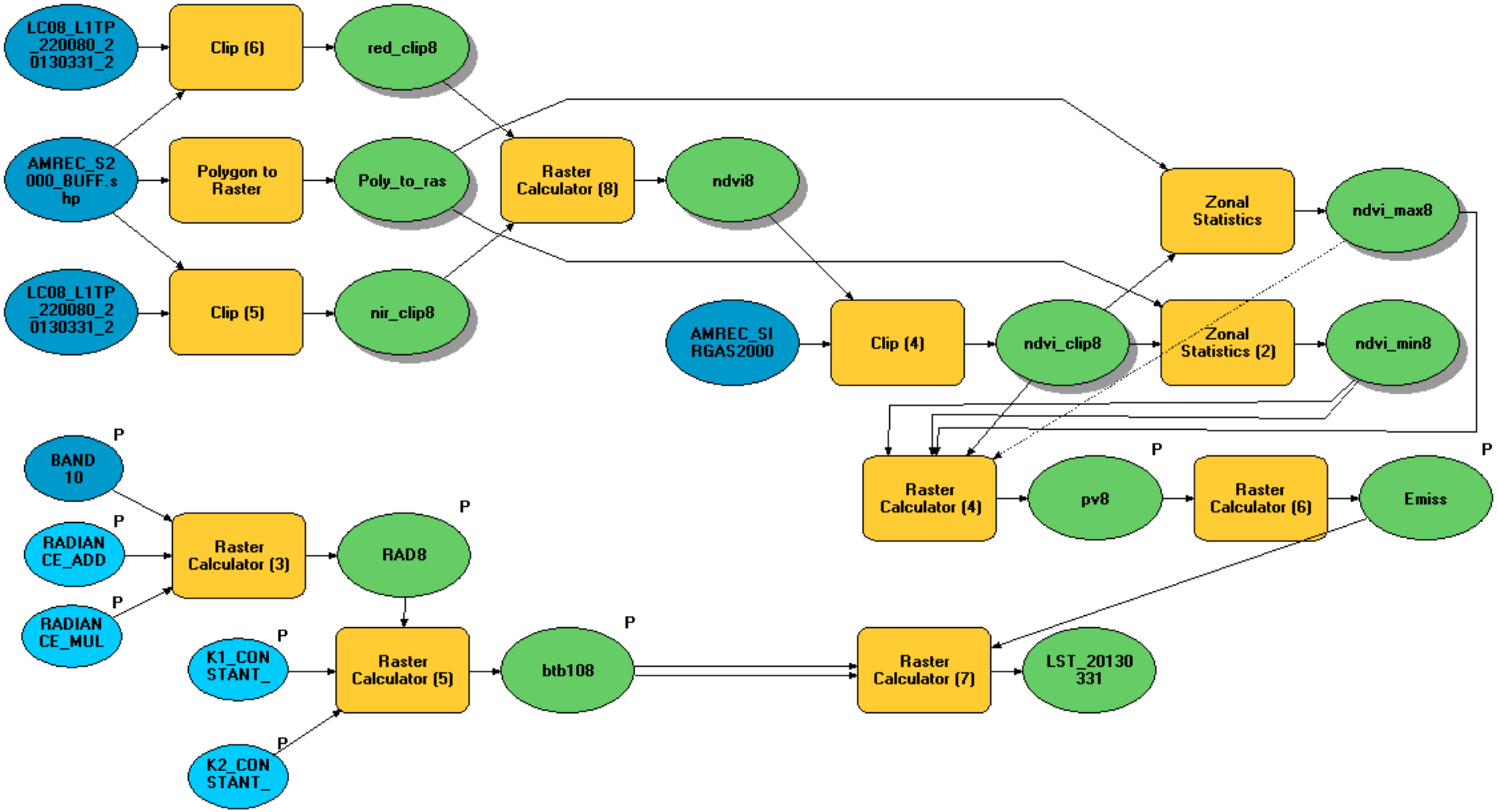
Figura 10, respectivamente.

Figura 9 - Modelo construído em ArcGis para obtenção da temperatura da superfície terrestre (Landsat 7)



Fonte: Do autor (2018)

Figura 10 - Modelo construído em ArcGis para obtenção da temperatura da superfície terrestre (Landsat 8)



Fonte: Do autor (2018)

3.3.1 Correção de imagens

A única correção efetuada neste trabalho foi o preenchimento das lacunas encontradas nas imagens do satélite Landsat 7. Devido a estas lacunas encontradas nas imagens Landsat 7 posteriores a 31 de maio de 2003 (SLC-OFF), foi necessário realizar um procedimento prévio de correção.

Optou-se por não aplicar as correções atmosféricas desenvolvidas por Barsi (2003). Isto porque os resultados obtidos a partir delas não foram satisfatórios segundo Pires (2015), apresentando variações de temperatura de até 8 °C e, inclusive, estando distantes das temperaturas medidas na estação meteorológica do INMET.

3.3.2 Uso e Ocupação da Terra

Na elaboração dos mapas temáticos foi utilizado o método de classificação supervisionada Máxima Verossimilhança.

Ao todo, foram definidas sete classes de cobertura e uso da terra, estabelecidas de acordo com o nível II de IBGE (2013), sendo elas área urbanizada, área de mineração, agricultura (cultura temporária e pastagem), vegetação arbórea (silvicultura e florestal), corpo d'água continental, área descoberta, além da inclusão da classe dunas.

A classe denominada de corpo d'água continental é composta por lagos, lagoas, cursos d'água, barragens, entre outros. Para esta classe, foram consideradas as bases de massas d'água do IBGE e os trechos de massa de água padrão INDE da SDS (2012).

3.3.3 Quantificação das áreas

Os mapas de uso do solo gerados em *raster* devem ser convertidos em dados vetoriais e, a partir disto, recortados conforme os limites dos municípios da área de estudo. O valor das áreas, posteriormente transformados em tabelas, é calculado a partir da função "*Calculate geometry"* da tabela de atributos de cada município.

3.4 VERIFICAÇÃO MANUAL DE RESULTADOS

Os mapas de temperatura da superfície terrestre foram verificados manualmente, através da execução das equações 3 a 9. Com um pixel aleatório escolhido, desenvolveu-se todas elas a fim de comparar com o resultado obtido pelo programa (Apêndice A).

A imagem adotada para o sistema orbital Landsat 7 foi a do ano de 2002 enquanto que para o Landsat 8 utilizou-se a imagem de 2013. O pixel escolhido está localizado nas coordenadas UTM SIRGAS 2000 E 660.688 e N 6.831.910.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados obtidos a partir dos algoritmos para o cálculo da temperatura da superfície terrestre, bem como os resultados das classificações de uso do solo, são apresentados neste capítulo na forma de figuras, tabelas e gráficos.

4.1 VERIFICAÇÃO MANUAL

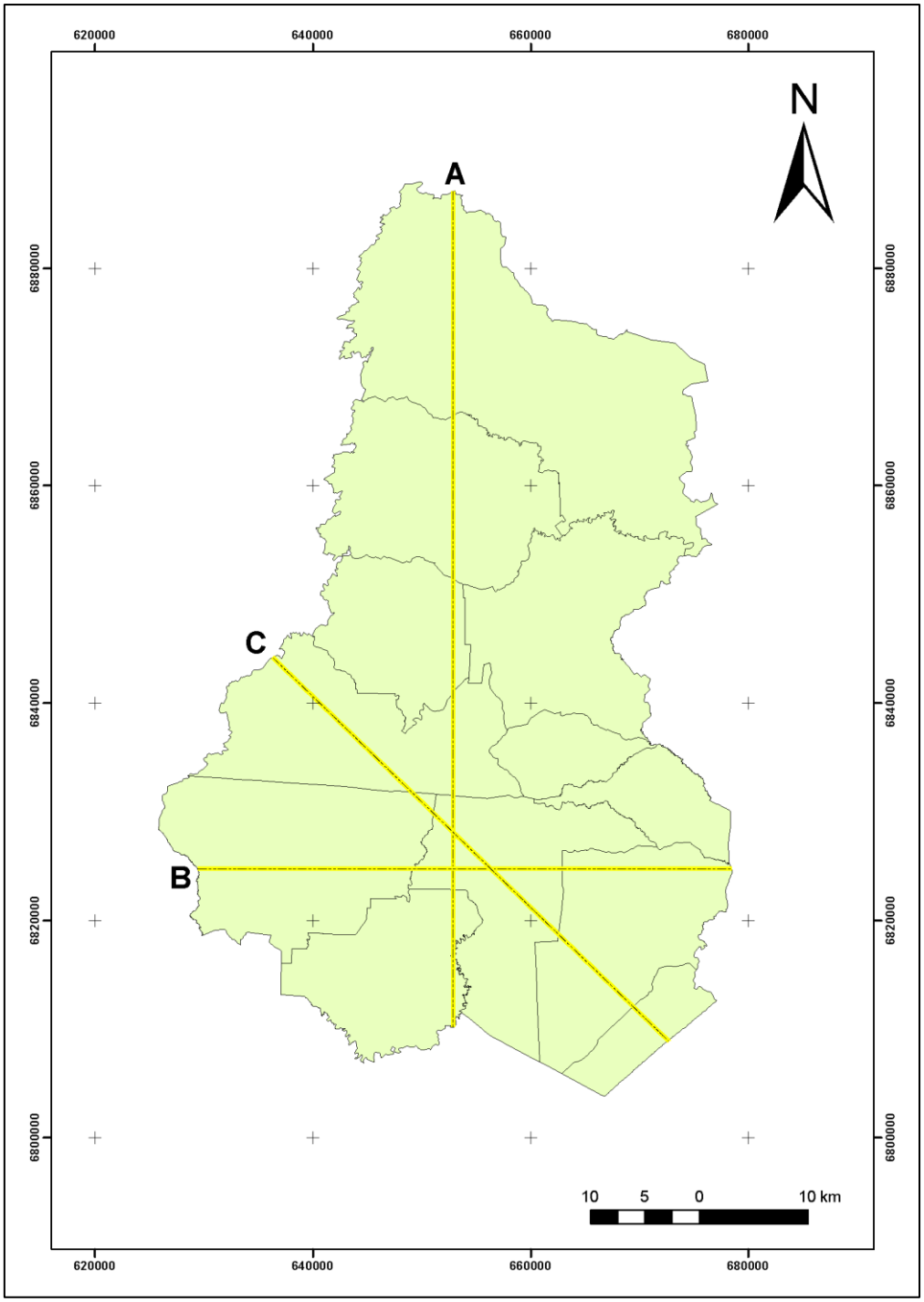
Analisando os resultados obtidos manualmente e comparando-os com aqueles calculados pelos algoritmos inseridos no ArcGis 10.3, percebe-se que ambos apresentaram os mesmos valores. Deste modo, entende-se que os modelos criados para automatizar a geração de mapas de temperatura da superfície terrestre estão condizentes com os resultados esperados.

4.2 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE

Neste item são abordados os resultados obtidos com a geração dos mapas de temperatura da superfície dos anos de 2000, 2002, 2003, 2006, 2008, 2009, 2012 e 2013. Para cada mapa gerado, a temperatura foi dividida em sete categorias diferentes, em intervalos de 2°C, com tons de azul denotando valores mais baixos e tons de vermelho sendo utilizados para temperaturas mais quentes.

Como outra forma de análise, foram traçados perfis sobre os mapas gerados para aprofundar a discussão dos resultados, como indica a Figura 11 - Posicionamento de perfis de temperatura. A discussão destes resultados não abordou variáveis naturais como ventos, umidade do solo, altitude ou temperatura de estações meteorológicas, buscando relacionar as distribuições encontradas através dos diferentes usos do solo.

Figura 11 - Posicionamento de perfis de temperatura



Fonte: Do autor (2018).

6.2.1 Ano de 2000

Na figura 12 é apresentado o mapa de temperatura gerado para a data de 20 de março de 2000, a partir da banda 6 do sistema orbital Landsat 7. A temperatura variou de 9,04 °C a 34,64 °C, com média de 22,64 °C e desvio padrão de 2,42 °C.

É notável no mapa gerado que as áreas mais ao norte da área de estudo possuem as menores temperaturas, principalmente nos municípios de Lauro Müller, Orleans, Treviso e Urussanga. Enquanto isso, ao sul a ocorrência de temperaturas maiores é mais frequente, como é visível nos municípios de Criciúma, Forquilhinha, Içara e Morro da Fumaça. A distribuição das temperaturas (gráfico 3), bem como o mapa da Figura 11, indicam a predominância de temperaturas mais frias nesta data.

Estas considerações são mais visíveis ainda quando demonstrado os perfis A e B (figuras 13 e 14), que se estendem de Norte a Sul e de Leste a Oeste, respectivamente, representados em linhas amarelas na figura 11.

No perfil A se observa este aumento da temperatura em direção ao sul, sendo destacados na figura alguns picos de temperatura, os quais ocorrem em áreas urbanas e em áreas de depósito de rejeitos de beneficiamento de carvão mineral, como a Vila Funil em Siderópolis, o depósito da Cooperminas e o depósito da Mina Verdinho, ambos em Forquilhinha.

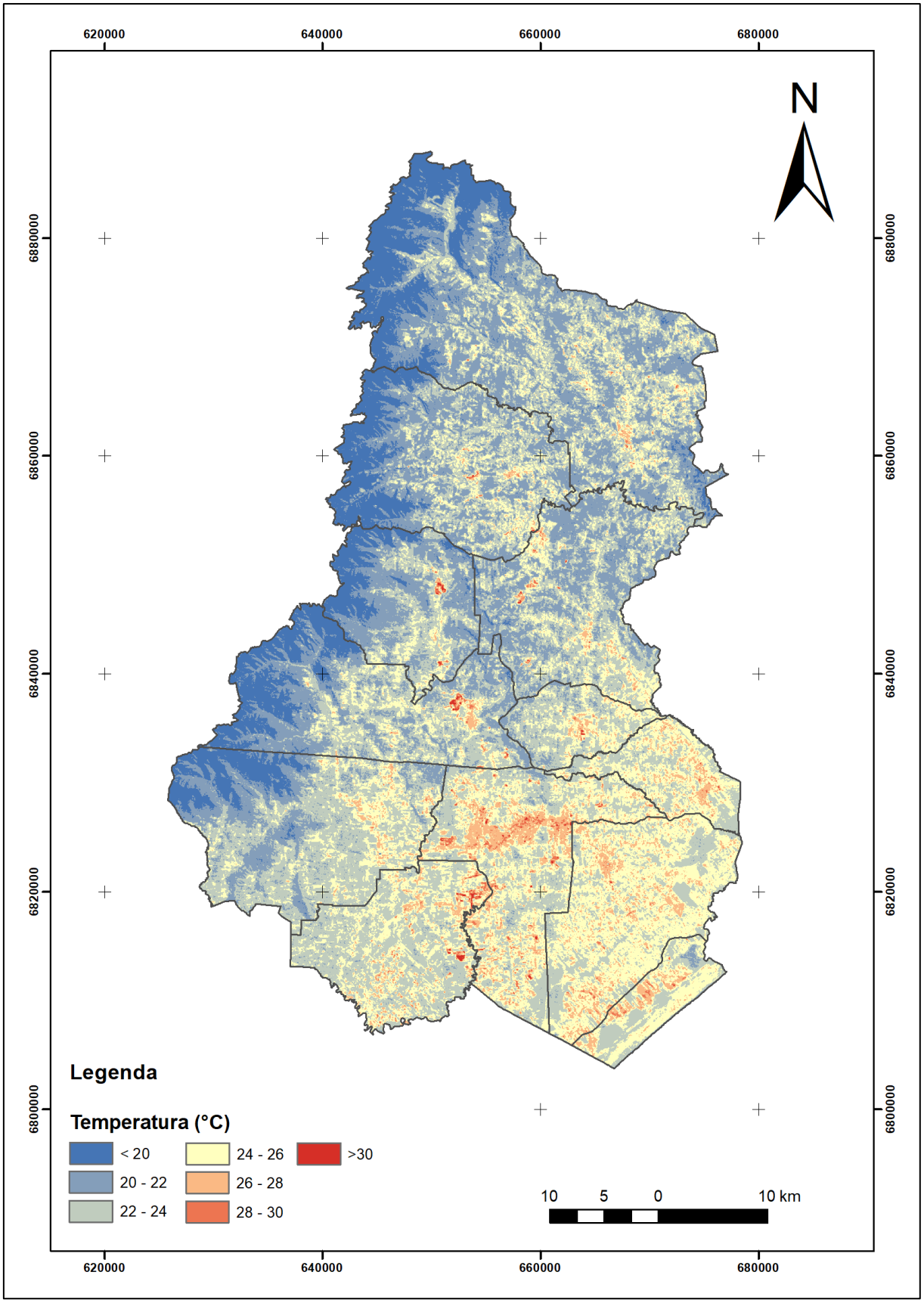
No perfil B, foi marcado primeiramente uma depressão nas temperaturas devido à uma área de cobertura florestal. Em vermelho, destaca-se uma área de cultura temporária, apresentando picos de temperatura em locais de solo exposto. Assim como no perfil A, neste perfil é encontrado também um depósito de rejeitos de carvão, o qual marca a maior temperatura encontrada neste.

É interessante observar que em seguida as temperaturas se elevam, justamente no centro urbano do município de Criciúma e que, no meio deste, alguns picos negativos são observados, com ênfase àquele localizado no Parque Natural Municipal Morro do Céu, pois representa uma área significativa de temperaturas mais baixas dentro da ilha de calor formada pela cidade.

A tabela 9 apresenta as temperaturas mínimas, máximas, médias e o desvio padrão para o ano de 2000. É perceptível que, como descrito anteriormente, os municípios localizados mais ao norte possuem temperaturas mais baixas, apresentando temperaturas médias abaixo do encontrado para toda a AMREC,

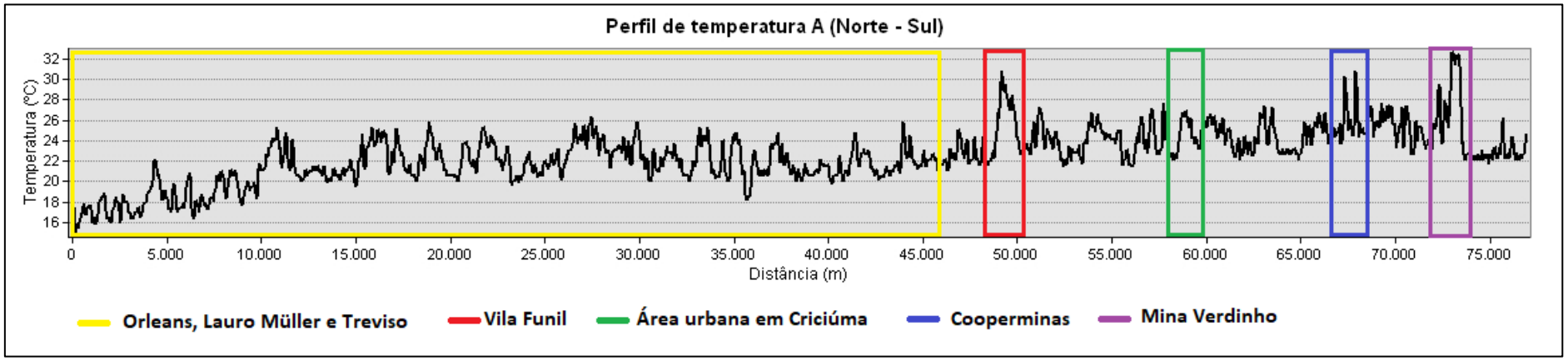
enquanto que aqueles municípios mais ao sul, com maiores centros urbanos, maiores áreas de mineração e de solo descoberto, apresentam temperaturas maiores, geralmente acima da média da área de estudo.

Figura 12 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 20 de março de 2000.



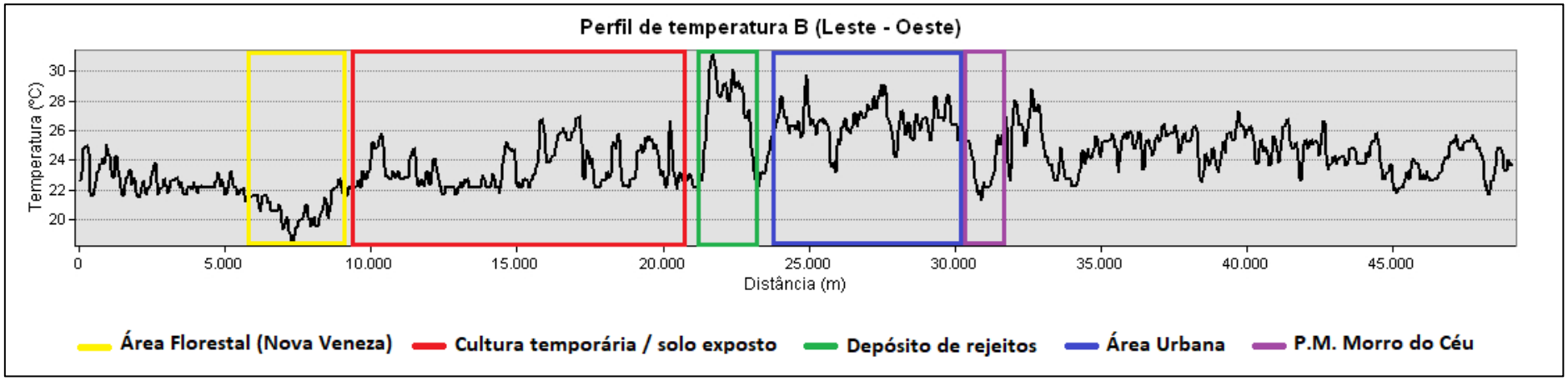
Fonte: Do autor (2018)

Figura 13 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2000



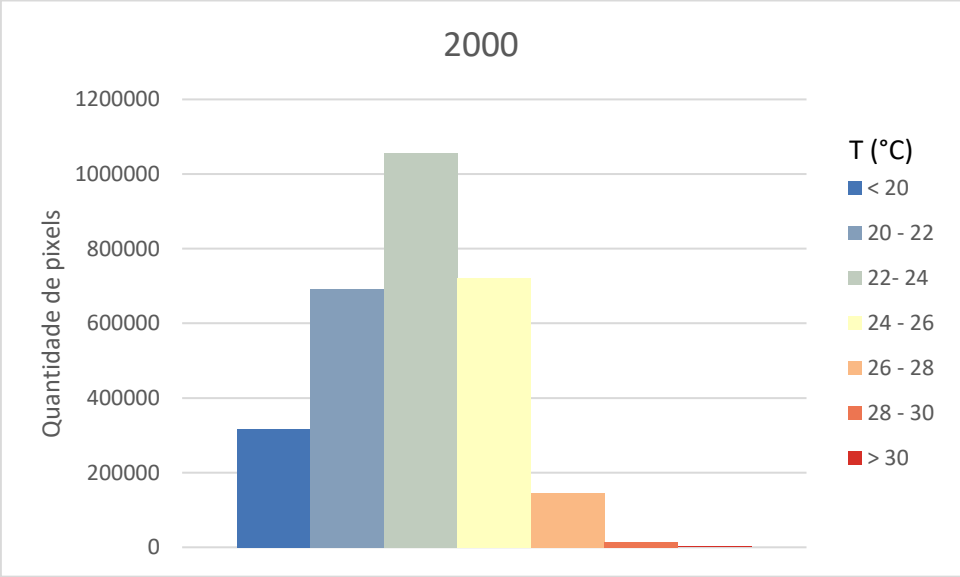
Fonte: Do autor (2018)

Figura 14 - Perfil de temperatura B (Leste - Oeste) do ano de 2000



Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 3 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2000



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 9 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2000 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	19,64	20,04	20,15	21,10	16,95	10,20	21,10	13,61	9,04	11,91	9,62	18,48	9,04
Máxima	31,78	34,64	34,17	34,18	32,74	32,26	31,78	31,76	31,29	33,70	34,17	33,21	34,64
Média	24,54	23,60	24,65	24,03	24,75	21,49	24,53	22,25	21,44	21,56	21,40	22,68	22,64
Desvio Padrão	1,44	1,49	1,67	1,50	1,22	2,41	1,31	2,08	2,40	2,40	2,33	1,56	2,42

Fonte: Do autor (2018)

6.2.2 Ano de 2002

No ano de 2002, na data analisada (10 de março), a temperatura média foi de 26,04 °C, enquanto que a mínima e máxima foram de 16,92 °C e 40,20 °C, respectivamente, com desvio padrão geral de 1,63 °C. O mapa gerado para tal ano é apresentado na figura 23.

Na presente data, conforme observado em mapa (figura 15), as áreas com temperaturas mais baixas estão situadas nas escarpas sombreadas da serra, variando de 20 °C a 24 °C.

As áreas mais quentes encontram-se nos centros urbanos e em áreas descobertas, encontradas em maior concentração na direção sudeste da área de estudo.

Visivelmente, as temperaturas da área estudada, nesta data, são mais quentes, pois observa-se maior quantidade de áreas em tons amarelos e avermelhados do que áreas em azul, o que é apontado também no gráfico 4, com maior quantidade de pixels nas temperaturas de 24 °C a 28 °C.

No perfil A (figura 16), destaca-se, primeiramente, que os locais com temperaturas mais frias são aqueles do início da linha traçada, localizados na escarpa da serra, em Orleans, neste caso. O retângulo vermelho e o contíguo a ele (verde), representam duas áreas da Vila Funil em Siderópolis, sendo a primeira uma área florestal e a segunda uma área de rejeitos de carvão expostos.

O retângulo azul foi posicionado em uma área de predominância urbana, onde os dois picos são duas áreas de edificações e o ponto com temperatura mais baixa uma área florestal. Por último foi destacada a área do depósito da mina verdinho em Forquilhinha, a qual possui a maior temperatura analisada neste perfil, com 33,71 °C.

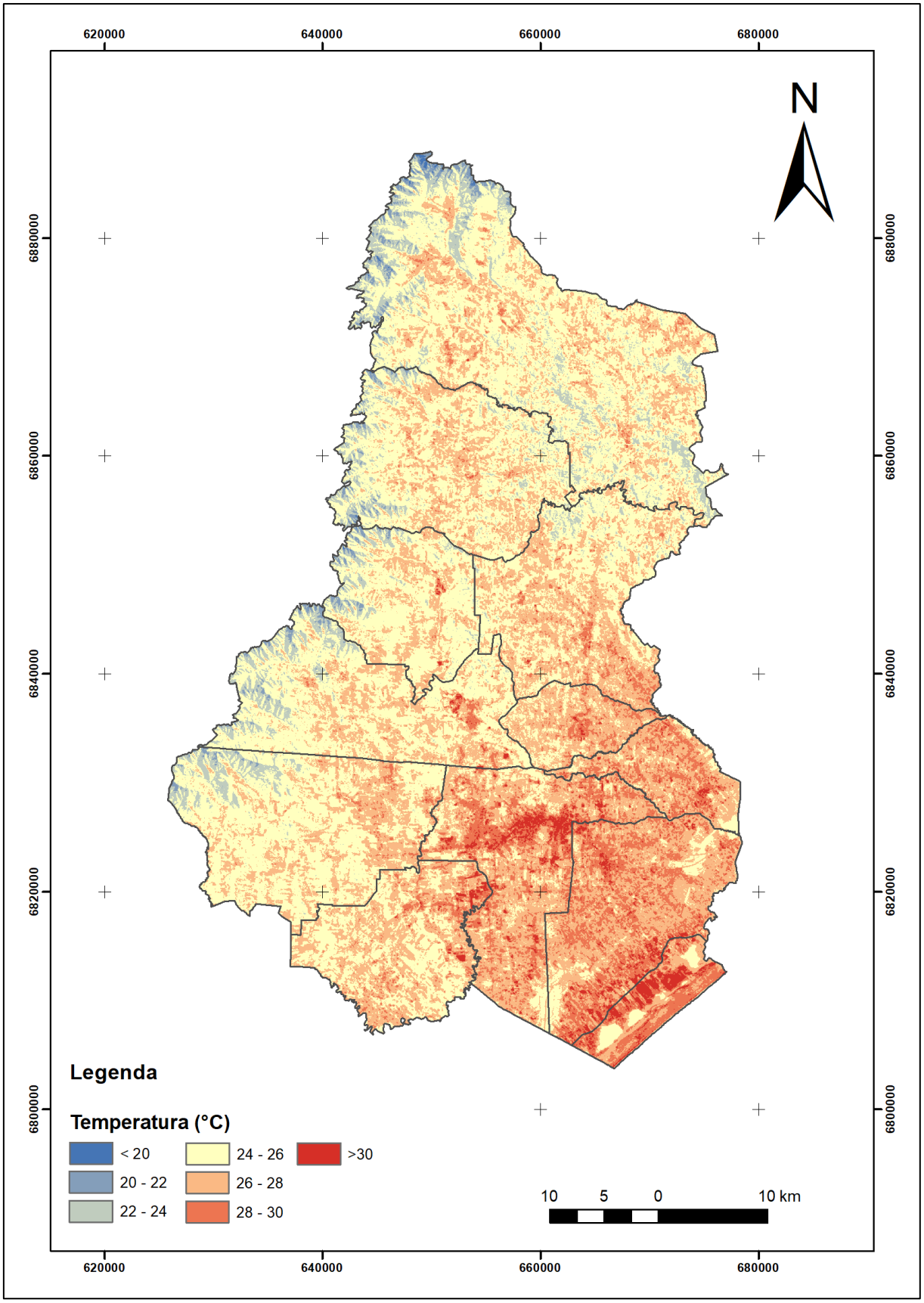
No perfil B (figura 17), as temperaturas mais baixas são aquelas observadas em Nova Veneza, destacada em amarelo, onde há predominância de agricultura e vegetação arbórea em alguns locais. Mais próximo ao litoral, em Içara, as temperaturas são mais altas em função das áreas de solo exposto encontradas.

Em Criciúma, as áreas urbanizadas e de rejeito de carvão exposto são os principais responsáveis pelos altos picos de temperatura do perfil, enquanto que as áreas verdes, como o Parque Natural Municipal Morro do Céu são locais onde ocorrem ilhas de temperatura menos quentes.

Na tabela 10, onde são apresentadas as temperaturas obtidas para a imagem analisada do ano de 2002, percebe-se que as temperaturas médias mais altas são aquelas em que os municípios apresentam mais áreas urbanas, e mais áreas de solo ou rejeitos de carvão expostos, sendo estes os municípios de Criciúma, Içara, Morro da Fumaça e Balneário Rincão. No total, metade dos municípios alcançaram médias mais altas que a média geral de 26,04 °C.

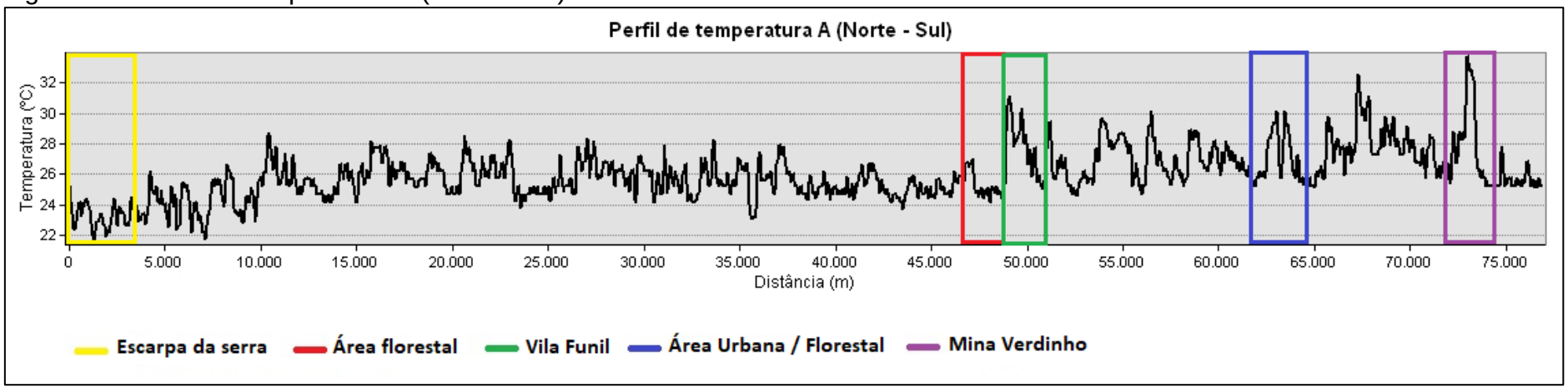
.

Figura 15 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 10 de março de 2002.



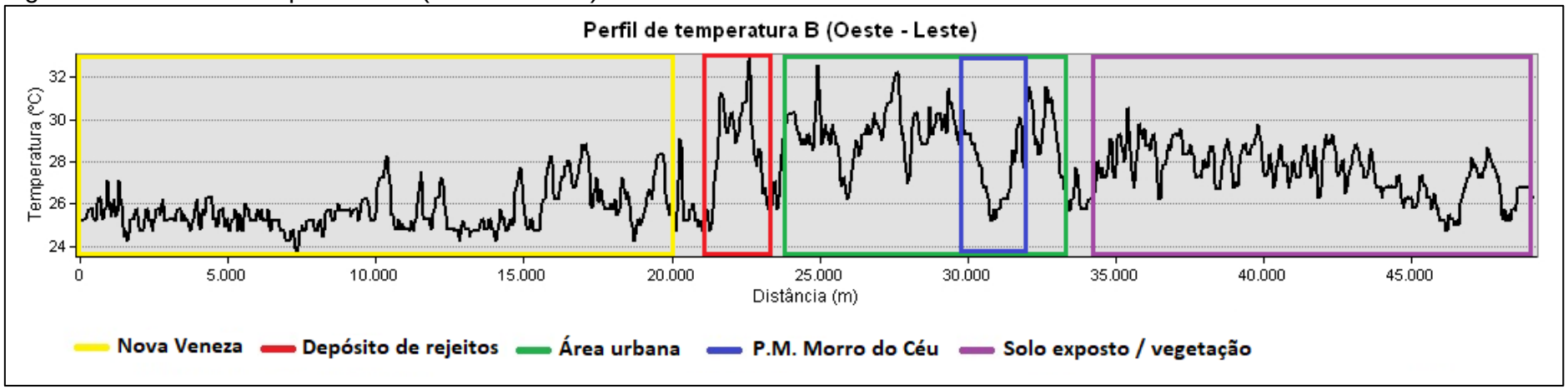
Fonte: Do autor (2018)

Figura 16 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2002



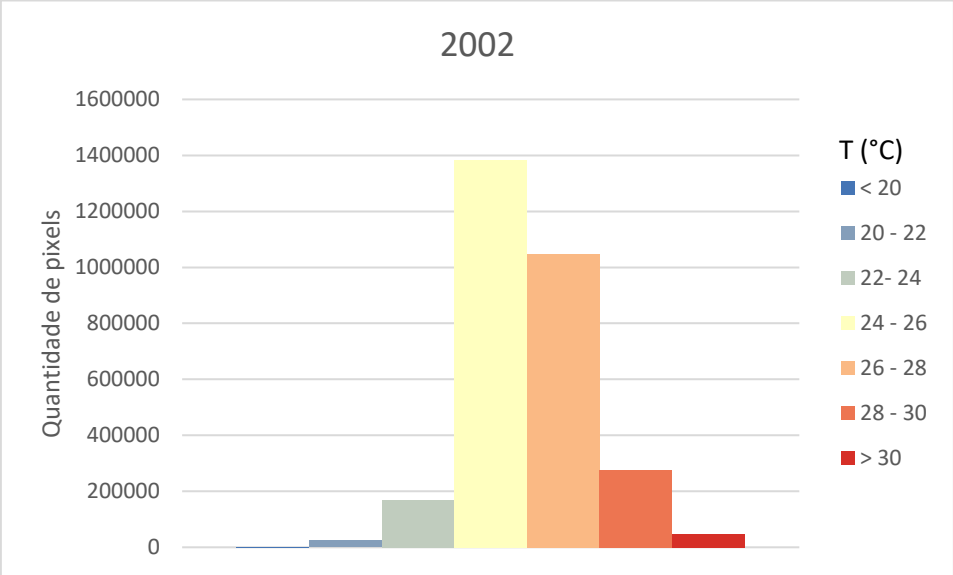
Fonte: Do autor (2018)

Figura 17 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2002



Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 4 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2002



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 10 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2002 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	23,31	23,66	18,57	23,68	22,79	19,07	24,68	20,12	16,92	19,07	19,57	20,17	16,92
Máxima	38,37	36,98	40,20	34,64	35,58	30,32	35,10	31,29	32,25	34,17	32,26	33,70	40,20
Média	28,36	26,81	27,51	26,43	27,75	25,37	27,36	25,55	25,11	25,38	25,31	26,03	26,04
Desvio Padrão	1,89	1,11	1,51	1,25	1,28	1,23	1,20	1,13	1,33	1,34	1,23	1,14	1,63

Fonte: Do autor (2018)

6.2.3 Ano de 2003

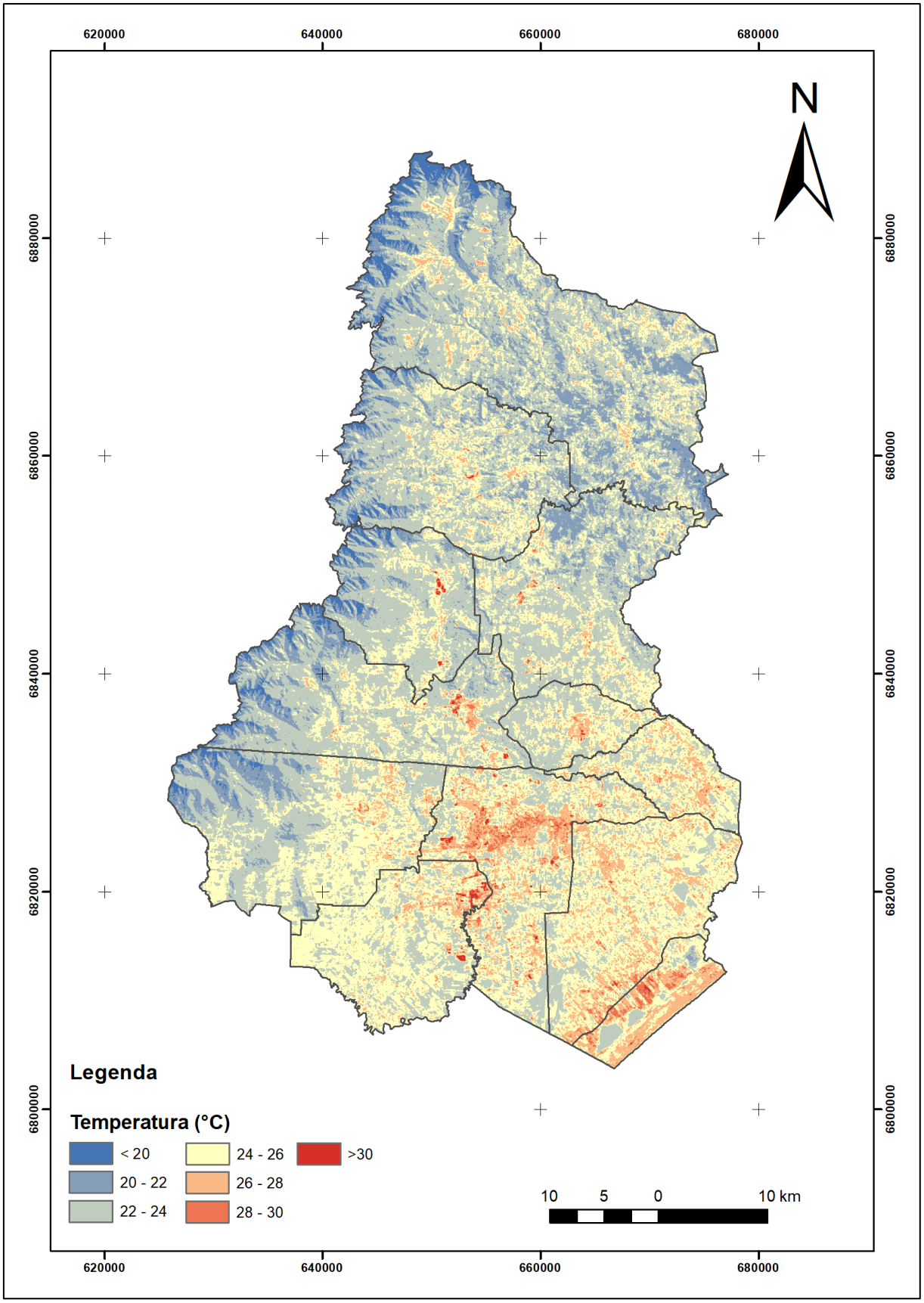
De acordo com os resultados de temperatura obtidos para a data de 29 de março de 2003, a temperatura média da área de estudo foi de 23,74 °C, com máxima de 36,52 °C, mínima de 13,59 °C e desvio padrão de 1,84 °C.

No mapa de temperatura (figura 18) existe a predominância de regiões em tom azul ao norte e de tons de mais avermelhados em direção ao sul, indicando o aumento da temperatura nesta direção. A tabela 11 demonstra isto, com as médias destes municípios menores que a média geral. A maior quantidade de temperaturas encontradas encontra-se entre as divisões entre 22 °C a 26 °C (gráfico 5).

O perfil A (figura 19) gerado demonstra que as temperaturas mais baixas são aquelas das escarpas da serra e que nos municípios ao norte as temperaturas se elevam (retângulo vermelho), mas ainda assim mantém um padrão menor que as temperaturas de centros urbanos como da área destacada em azul. Os dois principais picos de temperatura encontrados estão situados na Vila Funil em Siderópolis e na Mina Verdinho em Forquilhinha.

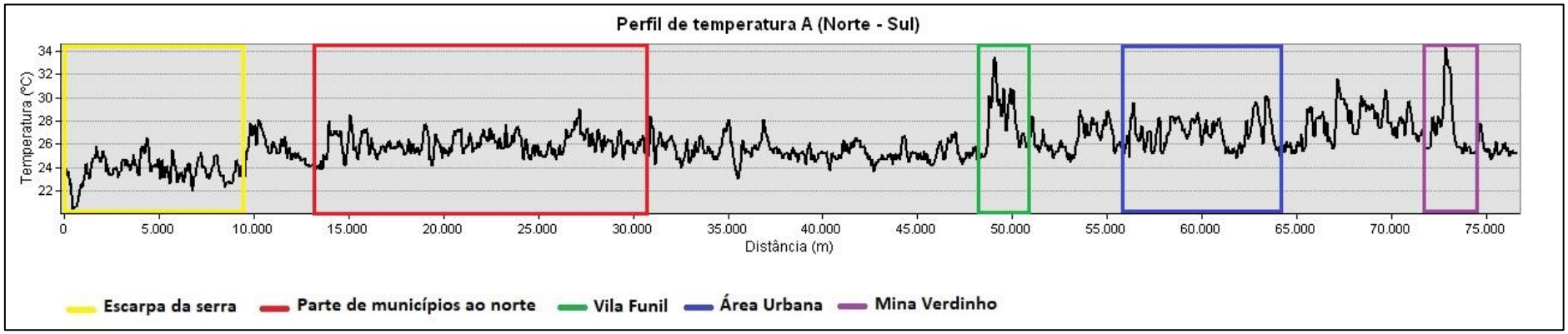
O perfil B (figura 20) para este ano foi dividido em três municípios, Nova Veneza, Criciúma e Içara. No primeiro, com o uso do solo principal sendo para cultura temporária, as temperaturas são visivelmente menores do que em Criciúma, no qual a linha traçada cruza o centro urbano. No perfil de Içara, existem várias porções de solo exposto, causando vários picos neste local.

Figura 18 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 29 de março de 2003.



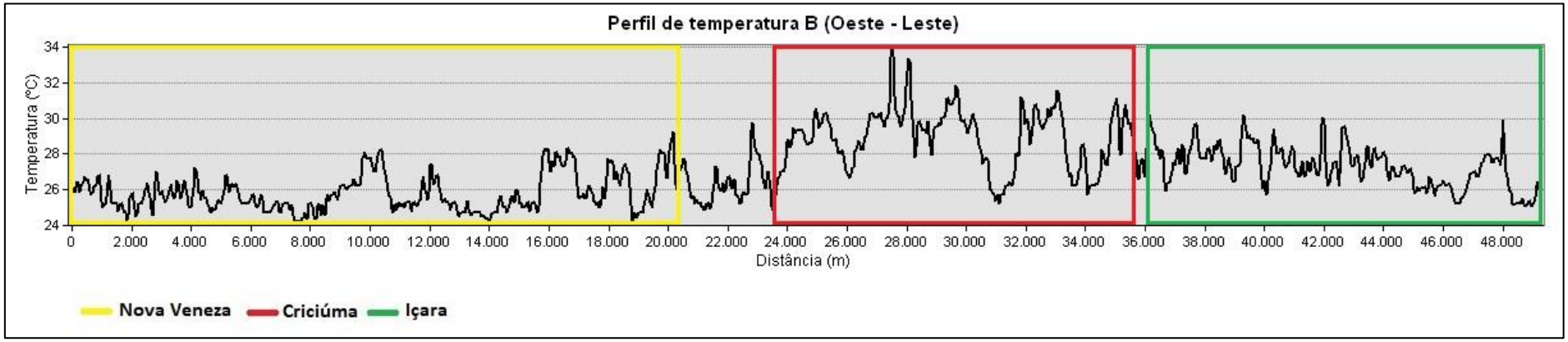
Fonte: Do autor (2018)

Figura 19 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2003



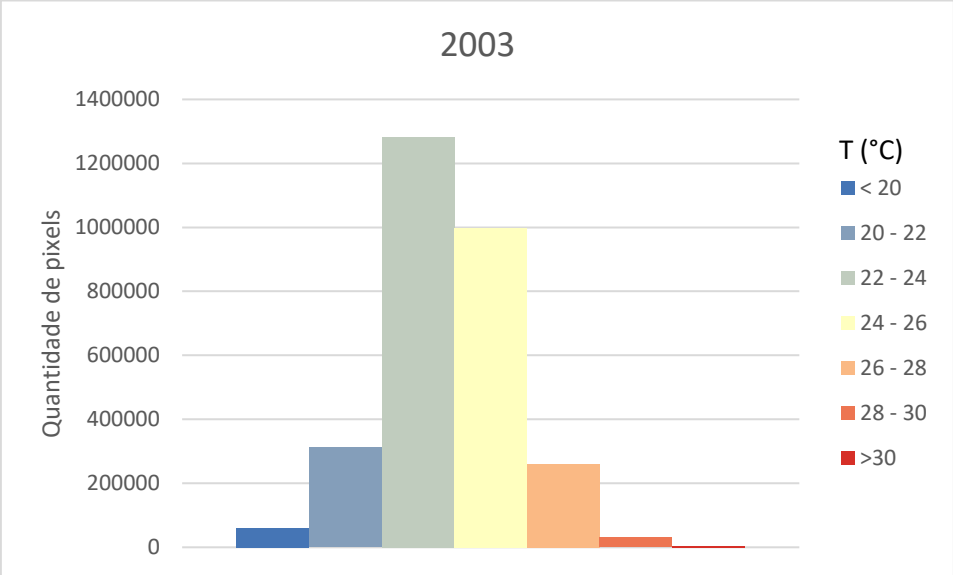
Fonte: Do autor (2018)

Figura 20 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2003



Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 5 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2003



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 11 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2003 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	21,23	21,11	14,74	21,22	18,02	16,35	20,16	16,90	13,59	16,36	16,35	18,02	13,59
Máxima	32,23	34,16	35,58	34,17	33,21	32,26	32,73	30,31	30,81	33,69	36,52	33,21	36,52
Média	25,86	24,32	25,25	24,68	25,17	23,10	24,92	23,53	22,72	23,10	23,03	23,48	23,74
Desvio Padrão	1,78	1,35	1,66	1,27	1,23	1,59	1,28	1,59	1,72	1,74	1,65	1,38	1,84

Fonte: Do autor (2018)

6.2.4 Ano de 2006

Os resultados extraídos do mapa de temperatura da superfície terrestre da imagem de 05 de março de 2006 apontam que a temperatura média é de 25,20 °C. A mínima encontrada foi de 14,70 °C e a máxima 40,64, sendo o desvio padrão das temperaturas de 2,28 °C.

Em uma análise visual do mapa da figura 21, as temperaturas predominantes encontram-se dentro das classes mais quentes, ou seja, possuem o tom mais próximo do amarelo e do vermelho e mais distante do azul, conforme observado no gráfico 6.

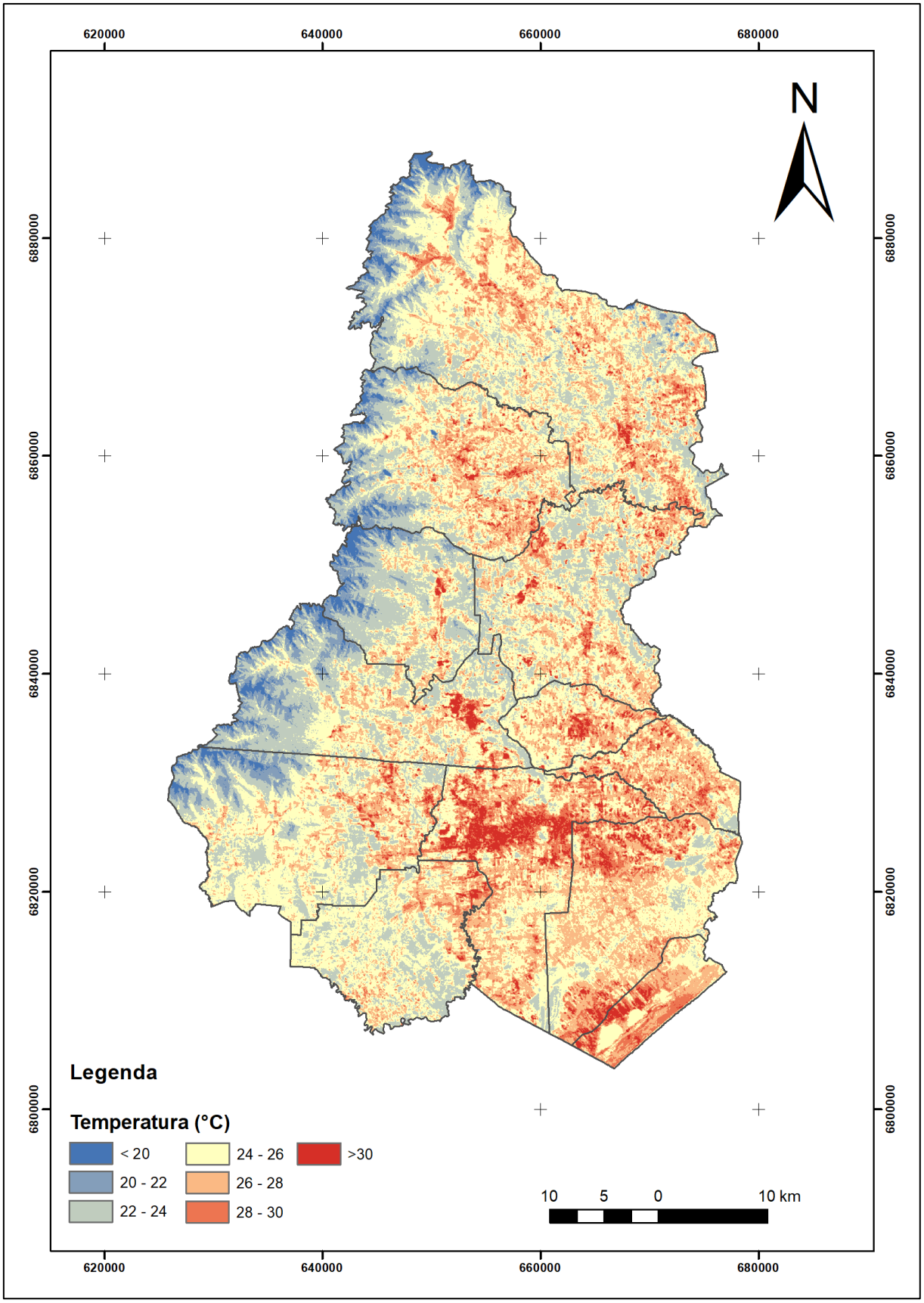
Para a análise do ano de 2006, foi utilizado o perfil C (denominado Noroeste – Sudeste), que se estende desde as escarpas da serra no município de Siderópolis até o município de Balneário Rincão no litoral, cruzando Nova Veneza, Criciúma e Içara (figura 22).

Segundo tal perfil, é notável que existe um aumento da temperatura quanto mais se avança em direção ao litoral, iniciando com temperaturas baixas nas escarpas e morros próximos a serra, onde ocorrem áreas florestais, sofrendo aumento em áreas descobertas ou de pastagem. Em Nova Veneza o perfil cruza uma área coberta totalmente por arbóreas, o que ocasionou em um rebaixamento no perfil de temperatura.

Em Criciúma ele atravessa um grande centro urbano, fazendo com que as temperaturas do perfil deste município sejam elevadas, alcançando os maiores picos (pouco mais de 32 ºC). A temperatura decresce na região de Içara, mas ainda é elevada devido a várias áreas de solo exposto. Em Balneário Rincão é alta nas áreas urbanizadas e um pouco mais baixas nos pontos onde cruzam uma lagoa do município.

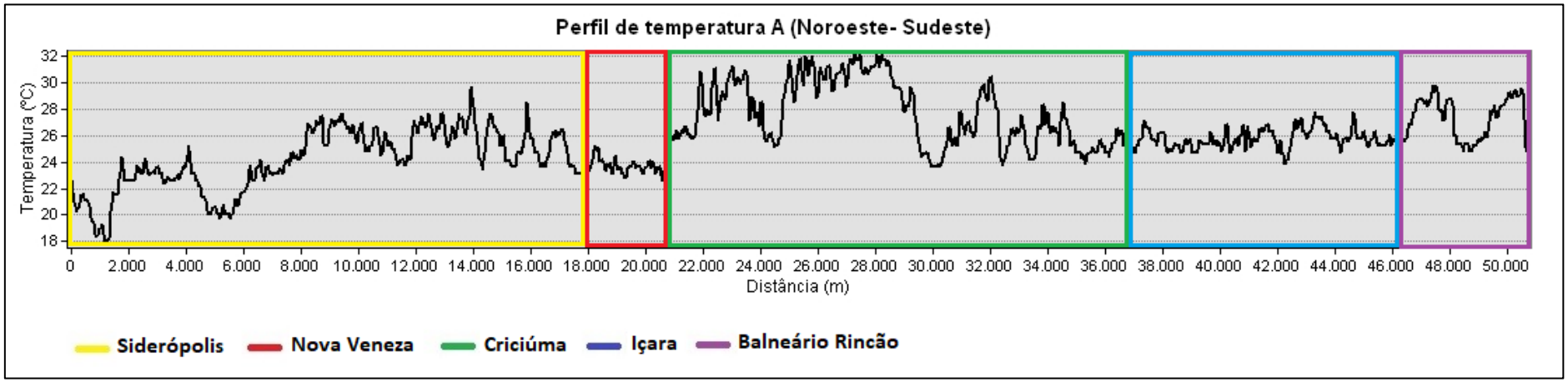
A tabela 12 demonstra que a média das temperaturas de todos os municípios da AMREC foi de 25,20 °C e que metade deles alcançaram temperatura maior que esta. As temperaturas médias dos municípios do perfil da figura 21 corroboram com a análise feita, e demonstram um aumento de 24,05 °C em Siderópolis para 27,26 °C em Balneário Rincão, com temperaturas de 26,97 °C e 26,42 °C em Criciúma e Içara, respectivamente.

Figura 21 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 05 de março de 2006.



Fonte: Do autor (2018)

Figura 22 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2006



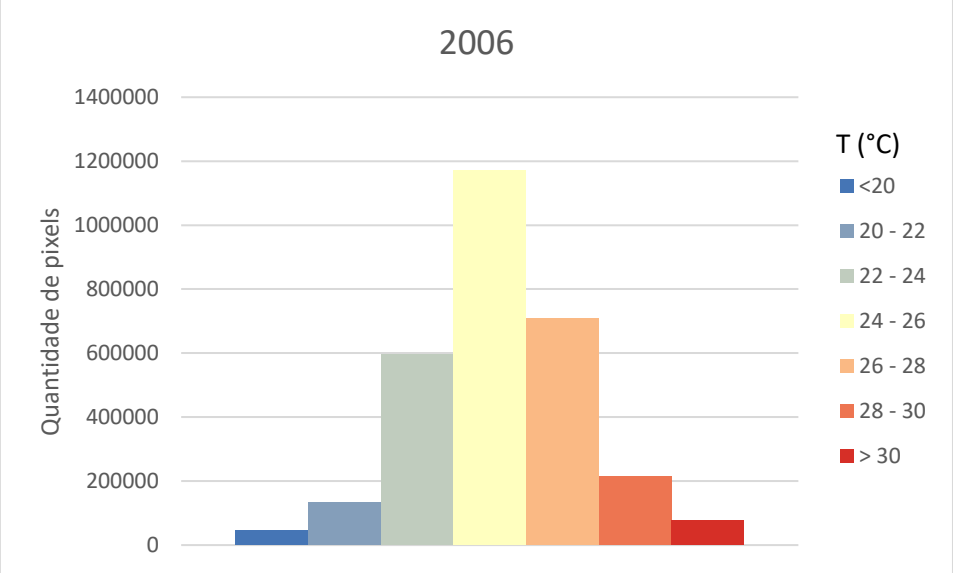
Fonte: Do autor (2018)

Tabela 12 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2006 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	23,30	22,10	16,94	22,09	17,48	15,82	21,59	16,35	14,70	16,29	14,71	19,62	14,70
Máxima	36,50	38,35	36,98	34,16	36,03	36,04	36,50	33,69	34,63	38,82	36,97	40,64	40,64
Média	27,26	26,22	26,97	25,16	26,42	24,76	26,51	24,59	24,85	24,05	23,61	25,37	25,20
Desvio Padrão	1,89	1,86	2,18	1,54	1,79	2,32	1,67	1,95	2,15	2,37	2,28	1,83	2,28

Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 6 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2006



Fonte: Do autor (2018)

6.2.5 Ano de 2008

No ano de 2008, no dia 26 de março, a temperatura média da região da AMREC obtida a partir do sistema orbital Landsat 7 foi de 22,55 °C, o desvio padrão de 1,91 °C e as temperaturas mínima e máxima 13,54 °C e 35,10 °C, respectivamente.

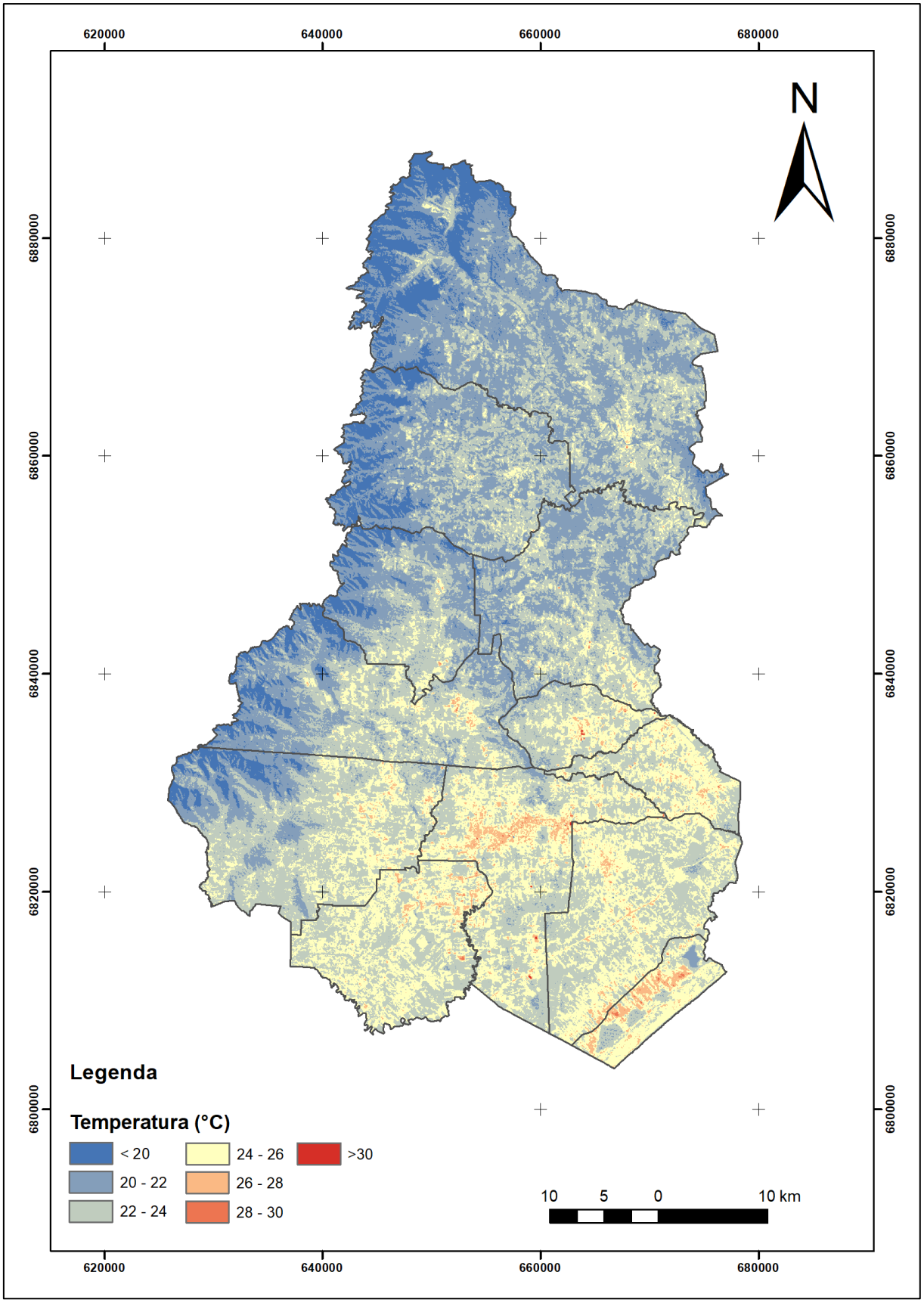
Pode-se observar no mapa da figura 23 e no gráfico 7 que a grande maioria da área apresenta temperaturas mais frias, por possuírem uma coloração de pixel mais azulada. Em poucos pontos são observadas manchas avermelhadas que indicam locais mais quentes.

No mapa gerado, traçaram-se os perfis A e B (figuras 24 e 25), onde o primeiro se inicia no município de Orleans e termina em Forquilhinha e o segundo se estende de Nova Veneza a Içara.

Para fins comparativos, os municípios de Orleans, Lauro Müller e Treviso foram agrupados, pois possuem um perfil de temperatura semelhante, com a grande maioria dos valores abaixo de 24 °C. No restante, as temperaturas são maiores, alcançando os 28 °C, com picos em áreas urbanas, áreas expostas e depósitos de rejeitos de carvão.

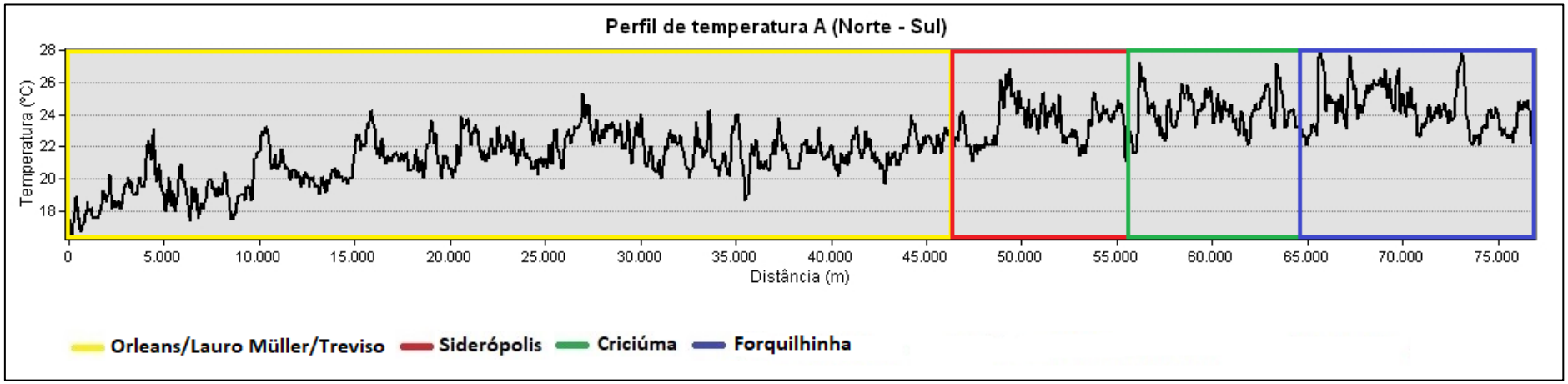
De acordo com a tabela 13, a metade dos municípios da AMREC apresentou temperatura média superior a média de toda a área de estudo, sendo que os maiores valores encontrados foram em Balneário Rincão e Morro da Fumaça, com 24,62 °C e 24,22 °C, respectivamente.

Figura 23 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 26 de março de 2008



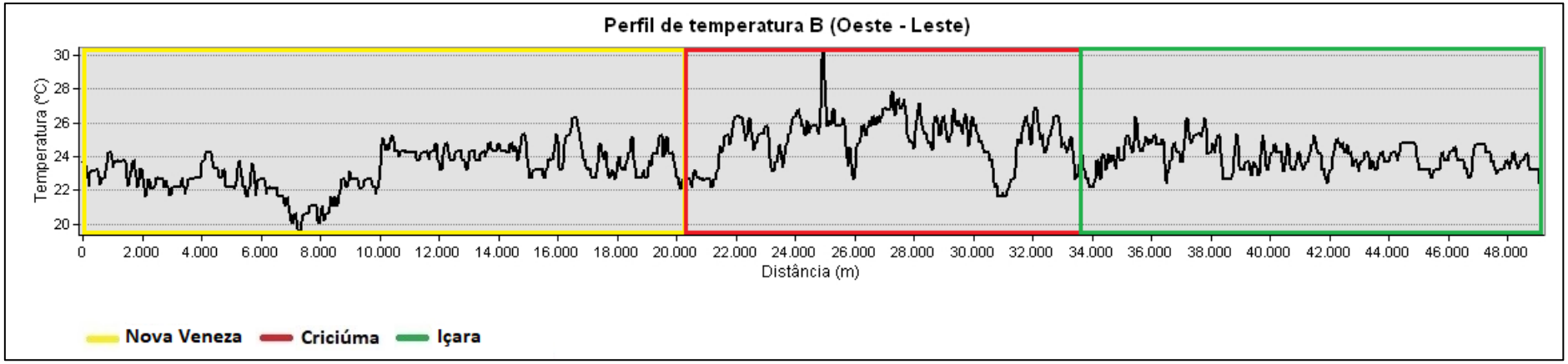
Fonte: Do autor (2018)

Figura 24 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2008



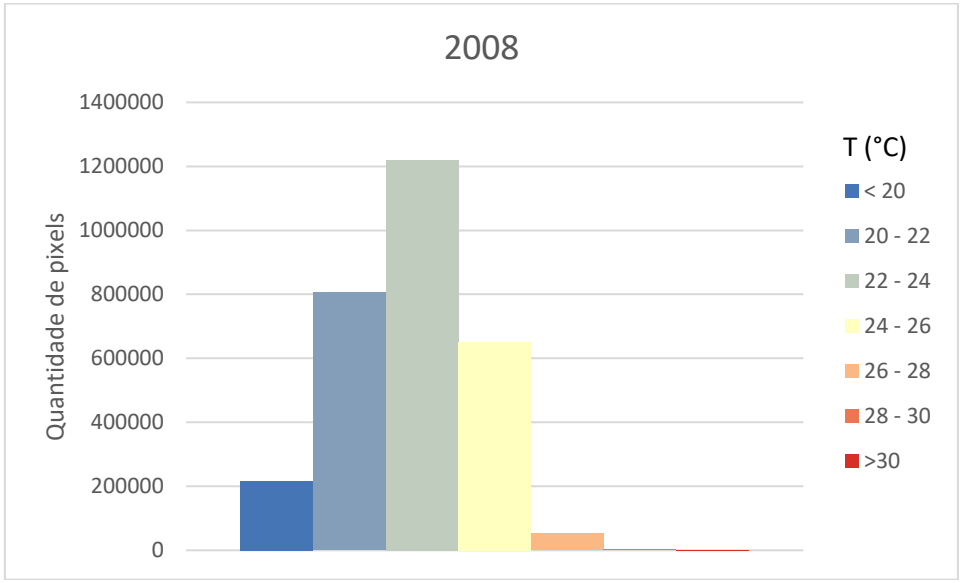
Fonte: Do autor (2018)

Figura 25 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2008



Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 7 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2008



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 13 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2008 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	20,16	20,02	15,84	21,08	16,39	14,73	21,08	15,20	13,54	15,78	15,81	16,39	13,54
Máxima	29,81	34,16	33,21	30,31	30,30	27,83	30,31	30,79	31,29	31,28	28,84	35,10	35,10
Média	24,62	23,55	24,11	24,14	24,05	21,35	24,22	22,74	21,20	22,02	21,66	22,34	22,55
Desvio Padrão	1,46	1,31	1,30	0,94	1,00	1,63	1,09	1,68	1,74	1,73	1,64	1,27	1,91

Fonte: Do autor (2018)

6.2.6 Ano de 2009

A temperatura média obtida para a imagem analisada (10 de março de 2009) foi de 24,06 °C. A temperatura máxima encontrada foi de 36,05 °C, a mínima de 9,61 °C e o desvio padrão de 2,05 °C.

No mapa da figura 26 é possível perceber que a predominância de temperaturas varia espacialmente, com temperaturas mais frias ao norte e mais quentes ao sul, sendo representadas por tons de azul e de vermelho, respectivamente. Houve um equilíbrio nesta distribuição de temperaturas, demonstrado pelo gráfico 8.

As áreas mais quentes são localizadas nos centros urbanos e em áreas descobertas, estas últimas encontradas principalmente em locais onde o solo está exposto, sendo preparado para o plantio de culturas temporárias.

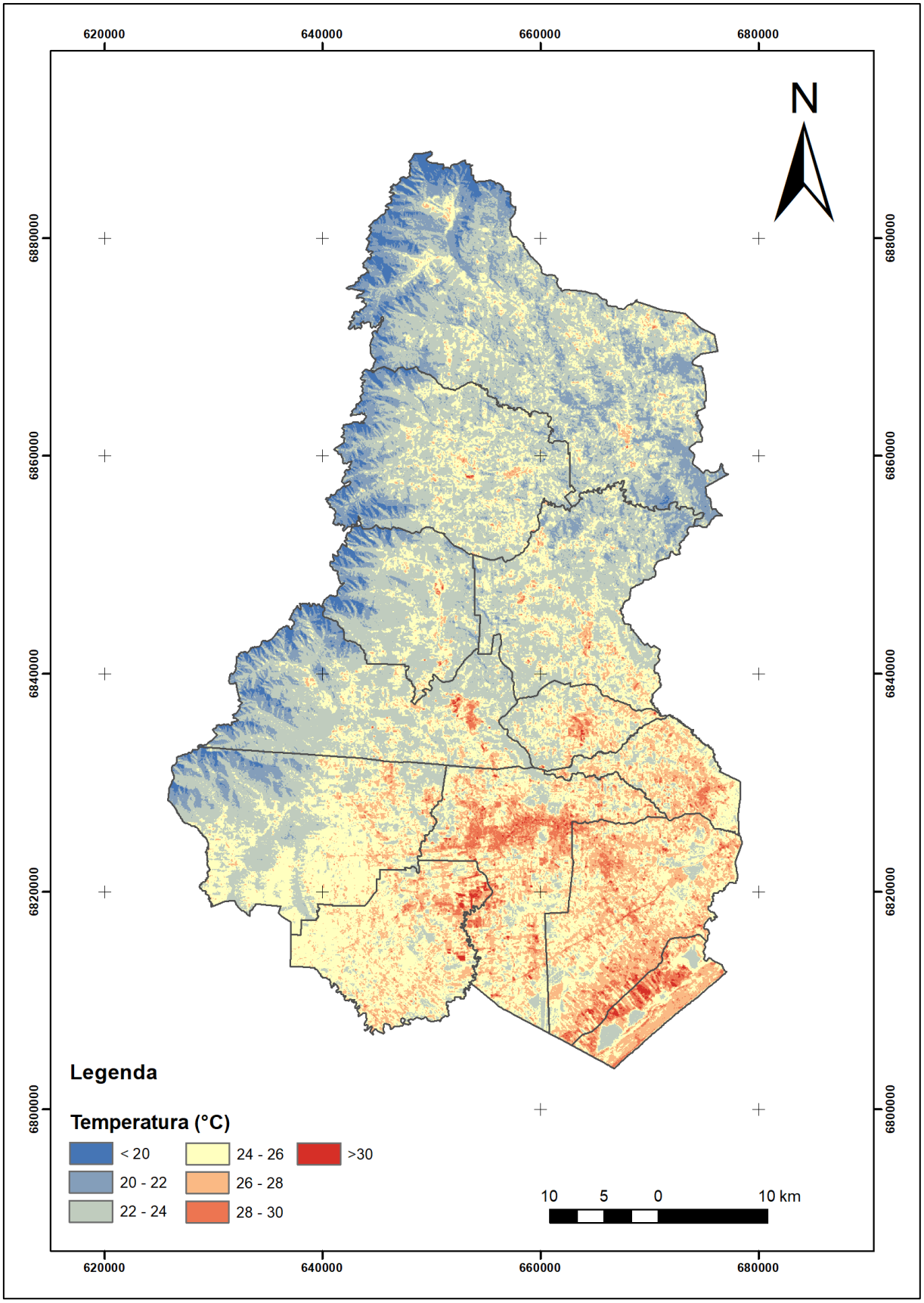
O perfil C (figura 27), para este mapa foi traçado desde o município de Siderópolis até o Balneário Rincão. As temperaturas mais baixas foram aquelas encontradas em Siderópolis, pois neste município o perfil atravessa apenas áreas florestais, ultrapassando os 24 °C apenas no limite com Nova Veneza.

Em todo o restante dos municípios, as temperaturas da superfície terrestre sofreram um aumento. Nestas áreas, os usos do solo são principalmente áreas urbanas, áreas descobertas e áreas de mineração com rejeitos expostos, com alguns recursos hídricos, como próximo ao final do perfil, onde observa-se uma depressão formada pela variação da temperatura em função da presença de uma lagoa no litoral.

O aumento descrito acima pode ser observado na tabela 14, onde as médias dos municípios sofrem aumento na direção indicada, com médias de 23,25 °C (Siderópolis), 24,08 °C (Nova Veneza), 25,57 °C (Forquilhinha), 25,86 °C (Criciúma), 26,07 °C (Içara) e 26,65 °C (Balneário Rincão).

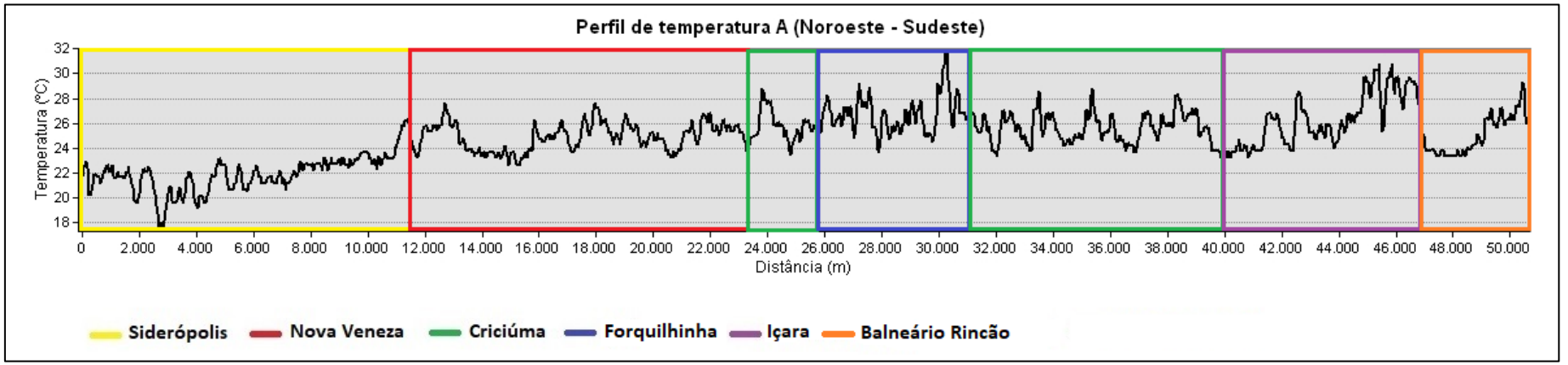
Dos 12 municípios da AMREC, sete ultrapassaram a temperatura média geral, sendo os de maior temperatura Balneário Rincão e Içara com 26,65 °C e 26,07 °C, respectivamente.

Figura 26 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 29 de março de 2009



Fonte: Do autor (2018)

Figura 27 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2009



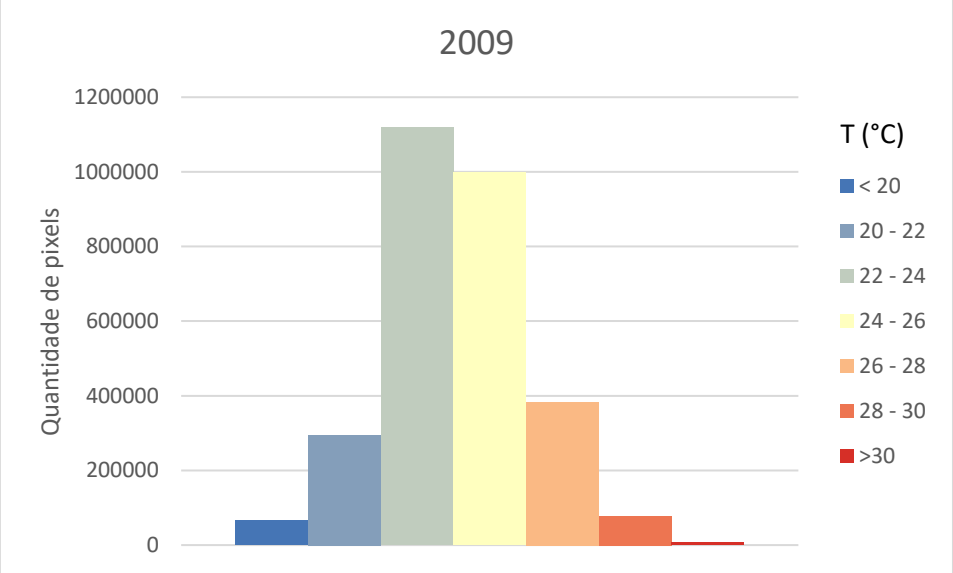
Fonte: Do autor (2018)

Tabela 14 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2009 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	22,27	21,62	20,69	22,66	21,22	14,74	22,19	16,91	9,61	16,37	16,36	19,56	9,61
Máxima	33,69	35,11	36,05	35,58	33,21	32,74	32,25	31,29	31,29	32,74	31,76	35,10	36,05
Média	26,65	24,94	25,86	25,57	26,07	23,05	25,65	24,08	22,59	23,25	22,99	23,74	24,06
Desvio Padrão	1,83	1,43	1,64	1,24	1,39	1,65	1,34	1,60	1,64	1,76	1,61	1,36	2,05

Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 8 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2009



Fonte: Do autor (2018)

6.2.7 Ano de 2012

Na imagem datada de 05 de março de 2012, os resultados encontrados para temperatura mínima, máxima, média e desvio padrão foram de 16,37 °C, 39,72 °C, 26,97 °C e 2,42 °C, respectivamente. Estes valores foram recalculados a partir da exclusão de alguns pontos de queimada detalhados adiante.

Observando o mapa gerado (figura 28), percebe-se que existe o domínio de temperaturas mais quentes em função da coloração tendendo mais ao avermelhado do que ao azul. Isto é observado com mais ocorrência nos municípios de Criciúma, Içara e Balneário Rincão, bem como em outros locais onde existem áreas urbanizadas, áreas descobertas ou de mineração. As regiões mais frias são as escarpas sombreadas da serra.

O gráfico 9 aponta para as mesmo resultado descrito acima, ou seja, existe uma grande concentração de temperaturas quentes, com poucos pontos de ocorrência de temperaturas mais frias.

Esta análise é semelhante a que pode ser feita sobre o perfil de temperatura traçado de norte a sul (figura 29). Na porção destacada em amarelo, estão alguns municípios de temperatura menos elevada, onde o uso do solo por

onde corta o perfil é principalmente florestal ou de pastagem, com algumas elevações ocasionadas por áreas urbanizadas em Lauro Müller e principalmente um pico de aproximadamente 47,00 °C em Treviso, a uma distância entre 35.000 m a 40.000 m.

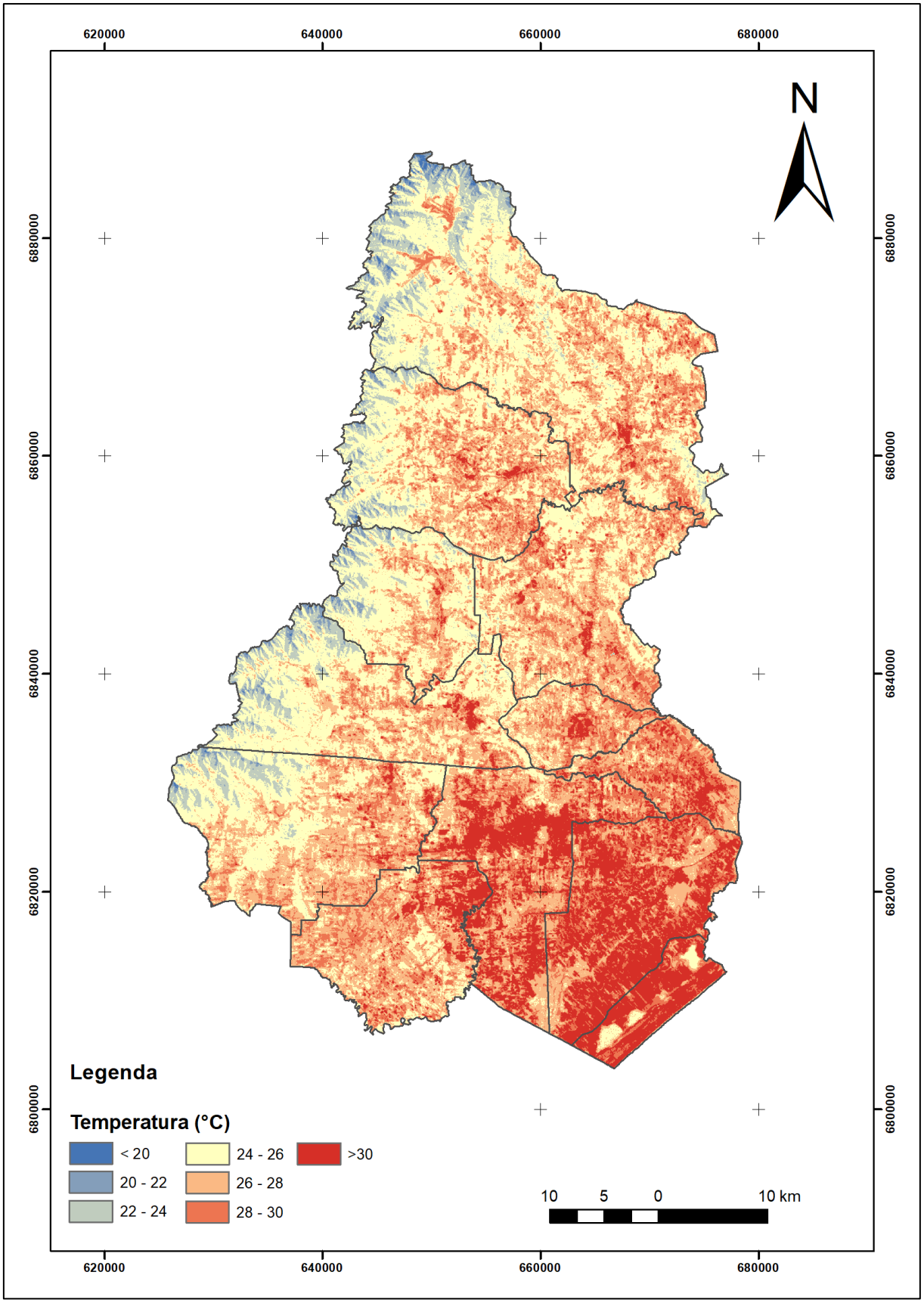
Este valor foi averiguado na composição RGB gerada com as bandas 1, 2 e 3 da mesma data. Pela presença de uma pluma e pelas altas temperaturas, assume-se que tal anomalia foi ocasionada por uma queimada no município de Treviso, resultando em um agrupamento de pixels com temperaturas bastante elevadas. Deste modo, para fins de cálculo de médias, a área da queimada foi excluída dos dados.

Em Siderópolis, Criciúma e Forquilhinha, o aumento das temperaturas pode ser ocasionado pelos usos da terra, os quais são principalmente por áreas urbanas, solo descoberto e algumas áreas de mineração com rejeito de carvão exposto.

O perfil oeste-leste (figura 30) apresenta resultados que corroboram o perfil norte-sul. Isto porque os usos do solo citados acima também influenciaram no aumento da temperatura, sendo que em Nova Veneza, por exemplo, as áreas de cultura temporária que ainda possuíam algum tipo de vegetação obtiveram valores menores de temperatura que aquelas áreas de cultura onde o solo encontrava-se exposto.

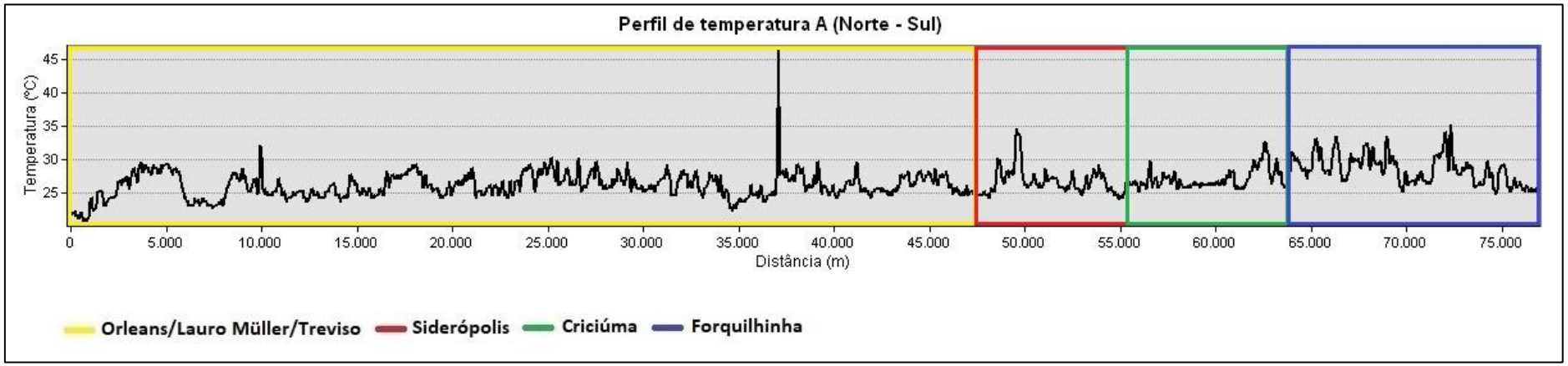
A tabela 15 demonstra que os municípios mais quentes são Balneário Rincão, Criciúma e Içara, com suas respectivas temperaturas médias de 30,89 °C, 29,06 °C e 30,07 °C. Os mais frios são Treviso (25,59 °C), Siderópolis (25,68 °C) e Orleans (25,70 °C).

Figura 28 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 05 de março de 2012



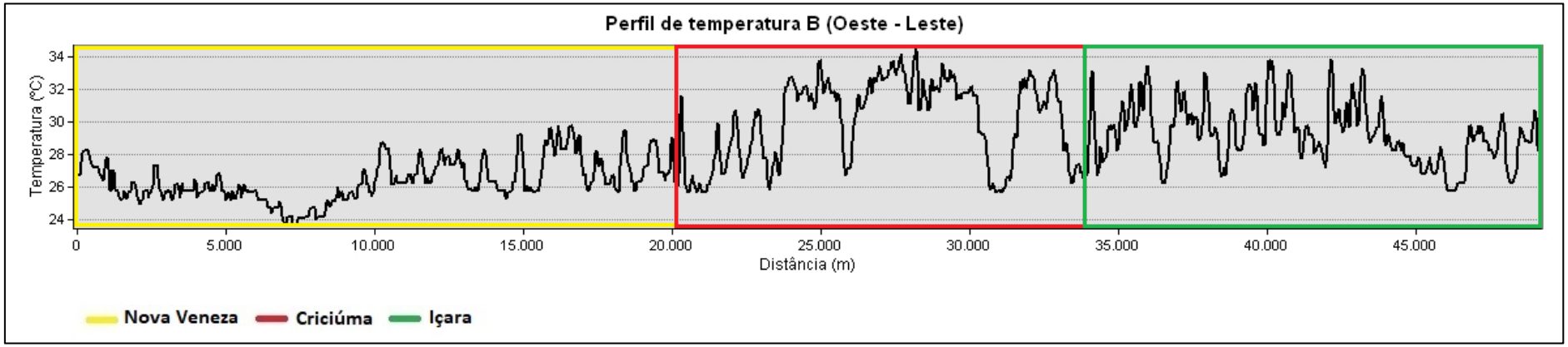
Fonte: Do autor (2018)

Figura 29 - Perfil de temperatura A (Norte - Sul) do ano de 2012



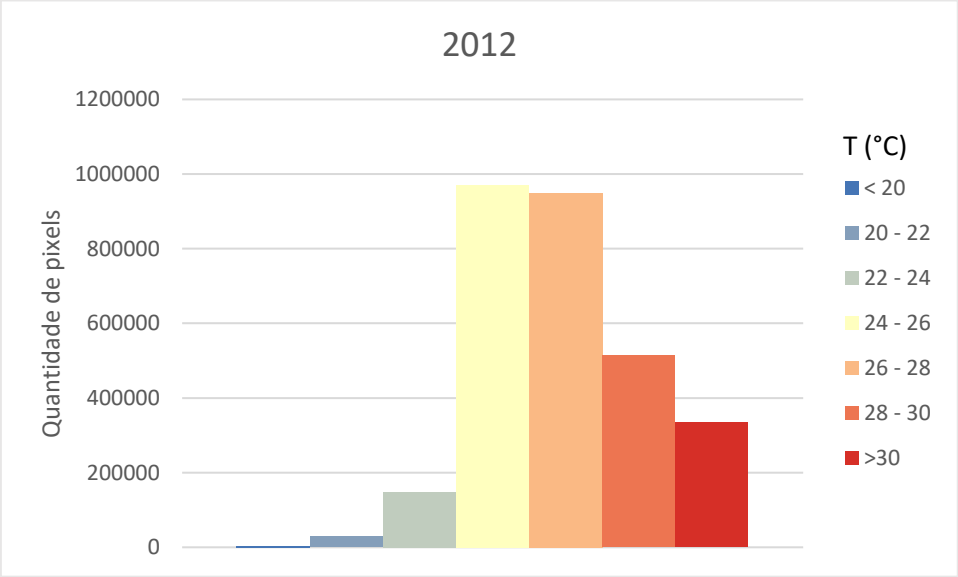
Fonte: Do autor (2018)

Figura 30 - Perfil de temperatura B (Oeste - Leste) do ano de 2012



Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 9 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2012



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 15 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2012 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	23,30	23,67	19,63	24,19	20,17	18,51	24,70	18,48	16,37	18,52	19,01	19,10	16,37
Máxima	38,81	38,82	39,29	38,83	38,82	39,72	37,44	34,64	36,05	37,91	35,12	36,05	39,72
Média	30,78	27,41	29,06	27,79	30,07	26,08	28,49	26,25	25,70	25,68	25,59	26,81	26,97
Desvio Padrão	2,81	1,60	2,12	1,84	2,19	1,79	1,62	1,68	1,84	1,81	1,63	1,48	2,42

Fonte: Do autor (2018)

6.2.8 Ano de 2013

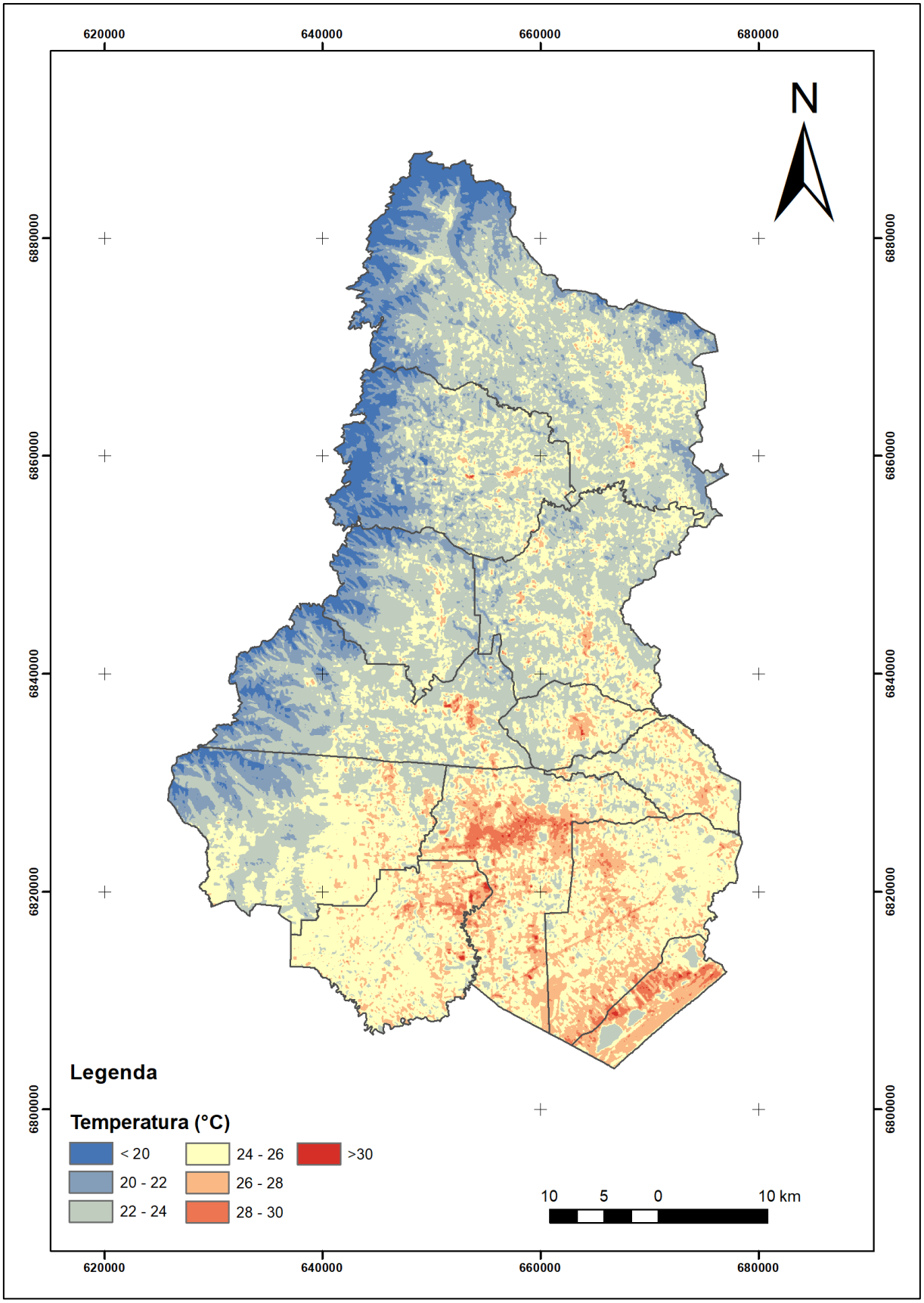
No ano de 2013, a imagem analisada com data de 31 de março tem temperatura média geral de 23,77 °C, desvio padrão de 2,13 °C e temperaturas máxima e mínima de 34,34 °C e 8,46 °C, respectivamente.

Visualmente, pode-se dividir a área do mapa gerado (figura 31) em duas regiões distintas, uma mais quente, nos municípios de Criciúma, Balneário Rincão, Forquilhinha, Içara e Morro da Fumaça e outra mais fria, principalmente nos municípios de Orleans, Treviso e Lauro Müller. No gráfico 10 é demonstrado que as temperaturas não tendem para mais quentes ou mais frias, havendo um equilíbrio em sua distribuição.

As faixas de temperatura de azul mais intenso estão localizadas nas escarpas da serra enquanto que os tons de azul mais claros encontram-se em locais de predominância de vegetação arbórea. Nos municípios do sul, os principais responsáveis pelas regiões de temperatura mais alta são a maior quantidade de centros urbanos, áreas de mineração, solo descoberto e agricultura.

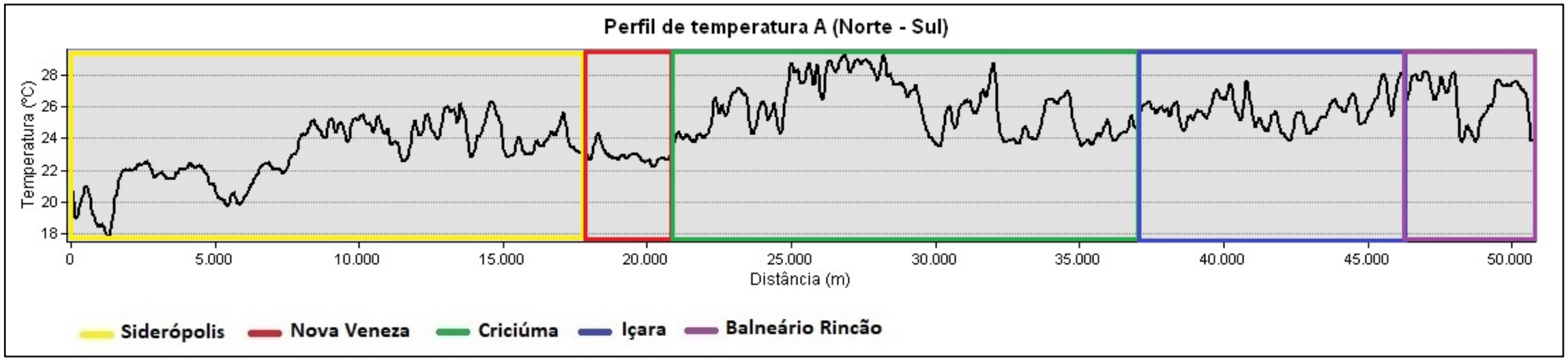
A figura 32 apresenta o perfil de temperatura C da imagem do ano de 2013. Nela é visível que ao afastar-se da serra as temperaturas sofrem um aumento, iniciando em uma média de 22,88 °C em Siderópolis e atingindo 26,32 °C em Balneário Rincão, conforme as médias dadas na tabela 16.

Figura 31 - Mapa de temperatura da superfície terrestre de 31 de março de 2013



Fonte: Do autor (2018)

Figura 32 - Perfil de temperatura C (Noroeste - Sudeste) do ano de 2013



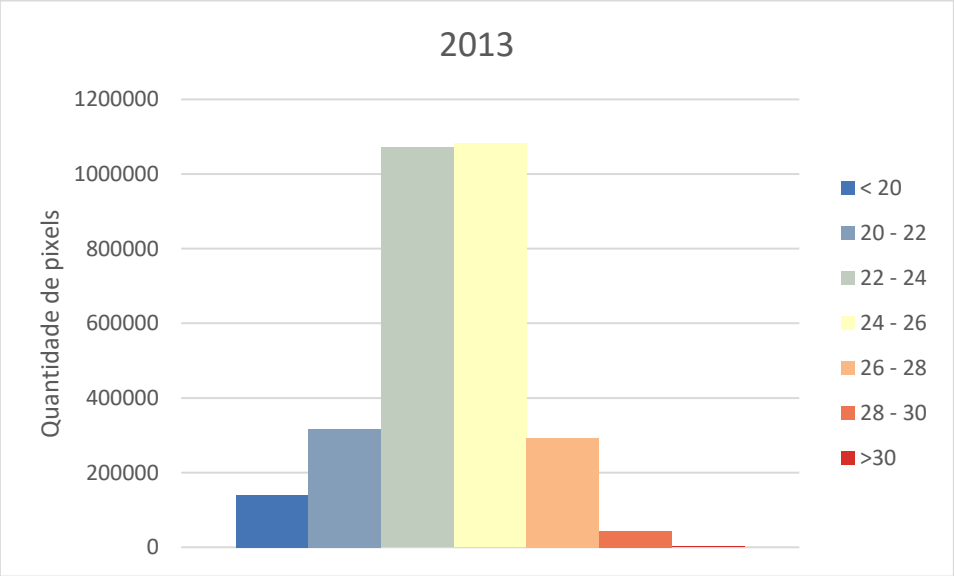
Fonte: Do autor (2018)

Tabela 16 - Temperaturas mínimas, máximas, médias e desvio padrão do ano de 2013 (°C)

	Balneário Rincão	Cocal do Sul	Criciúma	Forquilhinha	Içara	Lauro Müller	Morro da Fumaça	Nova Veneza	Orleans	Siderópolis	Treviso	Urussanga	AMREC
Mínima	21,98	22,09	21,82	22,99	20,62	8,46	17,80	12,85	10,24	12,84	14,75	20,08	8,46
Máxima	31,61	32,88	34,34	33,16	31,27	30,83	30,23	29,35	29,49	31,23	28,50	30,03	34,34
Média	26,32	24,56	25,69	25,45	25,58	22,34	25,04	23,76	22,49	22,88	22,59	23,84	23,77
Desvio Padrão	1,76	1,17	1,49	1,00	1,04	2,35	1,01	1,68	2,00	1,76	1,69	1,15	2,13

Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 10 - Quantidade de pixels por zona de temperatura na imagem do ano de 2013

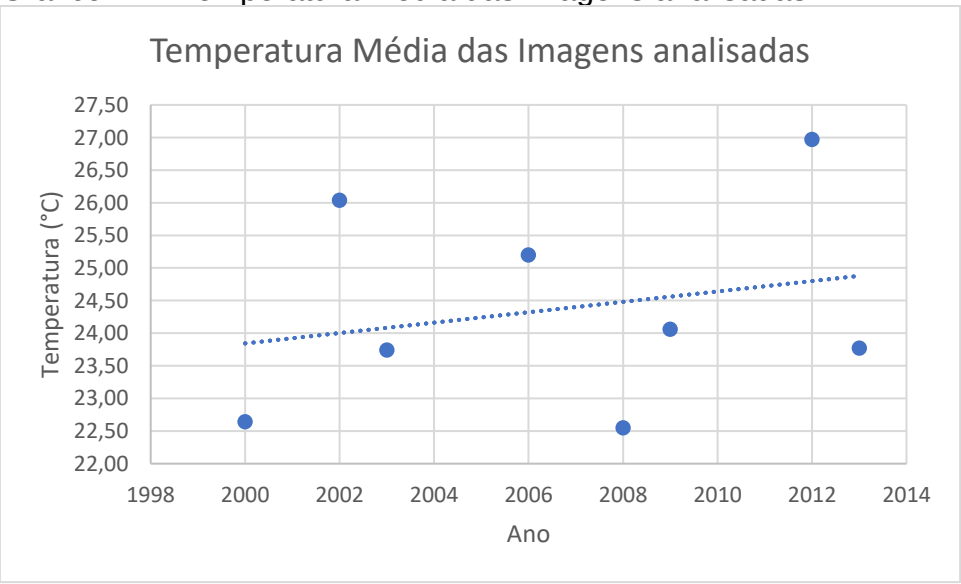


Fonte: Do autor (2018)

6.2.9 Variação espaço-temporal da temperatura

O gráfico 11, proveniente da tabela 17 (temperaturas médias da área), demonstra a variação anual da temperatura média de cada imagem analisada ao longo do tempo. No apêndice B (tabela 22) encontra-se a tabela com a variação de temperaturas para cada município em todos os anos avaliados.

Gráfico 11 - Temperatura média das imagens analisadas



Fonte: Do autor (2018)

Observa-se no gráfico gerado que ocorreu uma tendência de aumento nos valores das temperaturas médias ao longo das imagens utilizadas na análise. No gráfico 12, onde são posicionadas as temperaturas máxima, média e mínima, é visível que elas apresentam um desenvolvimento semelhante entre si, como por exemplo, picos de temperatura em 2002 e 2012 e decréscimos nas imagens de 2000 e 2013.

Ao longo das imagens, tabelas e gráficos analisados, percebe-se que as temperaturas são geralmente mais altas e apresentam picos em municípios ou áreas mais urbanizadas ou desprovidas de cobertura vegetal.

Em contrapartida, as temperaturas se demonstram mais baixas nos locais com presença de espécies arbóreas ou mesmo em áreas de vegetação rasteira, sendo isto evidenciado também pelas depressões nos perfis de temperatura.

Sendo assim, existe certa correlação espacial entre estes dois fatores (uso do solo e temperatura) nas imagens analisadas. Os resultados encontrados por Coelho; Correa (2013), em um estudo no município de Cariacica – ES, mostraram resultados semelhantes, com a ocorrência de ilhas de calor nas áreas predominantemente urbanas, bem como as temperaturas quentes também ocorreram em bairros periféricos e nas áreas rurais. O mesmo autor destaca ainda que as temperaturas mais amenas foram encontradas em corpos d’água e em uma unidade de conservação com cobertura vegetal.

Em sua pesquisa, Wang et al. (2018), encontrou correlações espaciais da temperatura com as mudanças de uso e ocupação da terra e descreveu certos padrões em seu comportamento, como o gradiente em cada imagem, no qual as temperaturas da superfície terrestre decresciam dos centros urbanos em direção às áreas rurais.

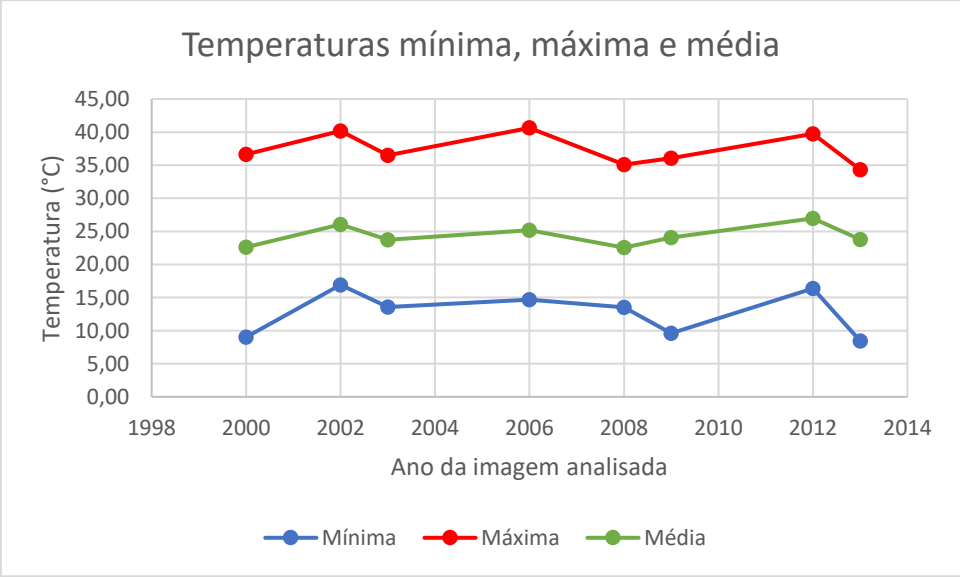
Os resultados encontrados por Pal; Ziaul (2017) e Fathizad et al. (2017) corroboram com o exposto acima, ou seja, as maiores temperaturas de superfície encontradas estiveram localizadas em áreas urbanas ou em áreas descobertas.

Tabela 17 - Temperaturas encontradas para a região da AMREC ao longo do tempo

Local	Temperatura	Ano							
		2000	2002	2003	2006	2008	2009	2012	2013
AMREC	Mínima	9,04	16,92	13,59	14,7	13,54	9,61	16,37	8,46
	Máxima	36,64	40,2	33,52	40,64	35,1	36,05	39,72	34,34
	Média	22,64	26,04	23,74	25,2	22,55	24,06	26,97	23,77
	Desvio Padrão	2,42	1,63	1,84	2,28	1,91	2,05	2,42	2,13

Fonte: Do autor (2018)

Gráfico 12 - Temperaturas mínima, máxima e média ao longo das imagens analisadas



Fonte: Do autor (2018)

6.3 VARIAÇÃO TEMPORAL DO USO DO SOLO

Para a classificação de uso do solo, as classes definidas na metodologia foram reagrupadas por similaridade para facilitar na visualização final. Sendo assim, a classificação final foi dividida em área urbana, mineração, agricultura, vegetação arbórea, corpo d'água continental, área descoberta e duna. Esta última acrescentada para distinguir das áreas descobertas.

É possível que ocorram erros nos valores de uso do solo dos mapas elaborados, devido a semelhança que alguns pixels possuem entre si e, mesmo com os ajustes manuais feitos, o tamanho relativamente grande da área de estudo impede que isto seja feito para toda a imagem em todos os anos. Sendo assim, ocorrem, apesar de pouco expressivas, áreas de dunas em áreas urbanas.

Outros erros possíveis são decorrentes das nuvens presentes nas cenas. A maioria delas ficou restrita às escarpas da serra, que são locais de vegetação arbórea e a reclassificação foi possível. Nos demais casos, onde isto ocorreu sobre locais de usos distintos, a reclassificação tendeu para aquele de predominância sob a nuvem.

Para a classe de corpos d'água continentais, como descrito na metodologia, foram utilizadas bases vetoriais secundárias. Em todos as imagens os dados vetoriais foram os mesmos, não sendo computados surgimentos ou alterações de cursos d'água, lagos, lagoas entre outros.

A variação da distribuição das classes de uso do solo na AMREC é apresentada nas figuras 33 e 34 bem como suas áreas e porcentagens constam nas tabelas 18 e 19 e nos apêndices C e D (tabelas 23 e 24).

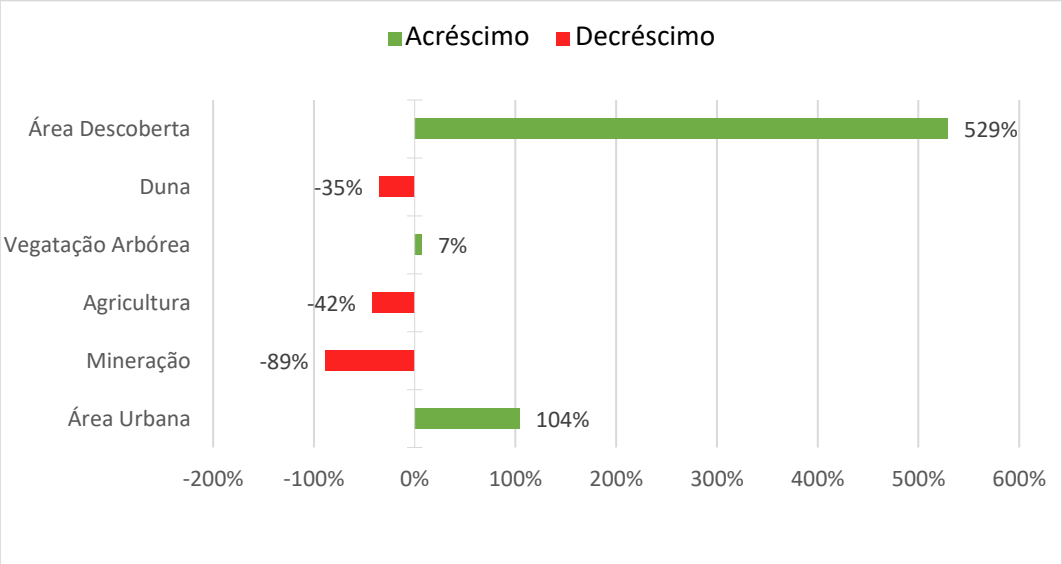
Percebe-se que as classes de vegetação arbórea e de agricultura são predominantes na área de estudo, com a soma variando de 76,32% em 2013 a 93,15% no ano de 2000.

A área agrícola sofreu variações de aproximadamente 20% entre o início e fim da série. Estas variações são decorrentes de sua relação com as áreas descobertas, pois as culturas temporárias antes do plantio foram entendidas como solo exposto, principalmente nas áreas de rizicultura em Forquilhinha e Nova Veneza. De acordo com as tabelas 18 e 19, a área de agricultura diminui mais quando a área descoberta é maior, como é o caso dos anos de 2003, 2006, 2008, 2009, 2012 e 2013. Esta relação também é evidenciada nos gráficos da figura 33.

Para as áreas de mineração e áreas urbanas as mudanças foram diferentes. Enquanto as áreas de rejeitos expostos (consideradas como mineração) diminuíram, as áreas urbanizadas mais que dobraram de tamanho, passando de 2,15% para 4,40%, o que representou um aumento de 5966,32 ha.

Em uma comparação entre os anos de 2000 e 2013, o gráfico 13 mostra que nas classes de área descoberta e urbana ocorreram os maiores aumentos entre um ano e outro, com pouco mais de 500% e 100%, respectivamente. As áreas de mineração foram reduzidas em aproximadamente 90% nesse intervalo de tempo, sendo este o maior decréscimo encontrado.

Gráfico 13 - Porcentagem de crescimento ou diminuição por classe de uso do solo



Fonte: Do autor (2018)

Tabela 18 - Áreas por classe de uso do solo em cada imagem analisada

Área em ha / Classe	2000	2002	2003	2006	2008	2009	2012	2013
Área urbana	5717,90	6169,90	6405,21	7163,92	8840,76	9148,99	9956,90	11684,22
Mineração	1768,23	1296,34	710,78	649,49	562,65	784,52	473,39	191,97
Agricultura	126165,50	125908,80	91595,06	128193,77	89238,01	92727,57	89604,47	72772,12
Vegetação arbórea	121088,89	112587,93	126911,81	114902,78	129317,92	128912,13	137252,25	129795,99
Duna	685,49	570,49	676,39	402,22	569,75	542,48	539,99	442,51
Área descoberta	7658,75	16551,31	36785,52	11772,58	34555,68	30969,08	25257,78	48197,96
Corpo d'água continental	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53

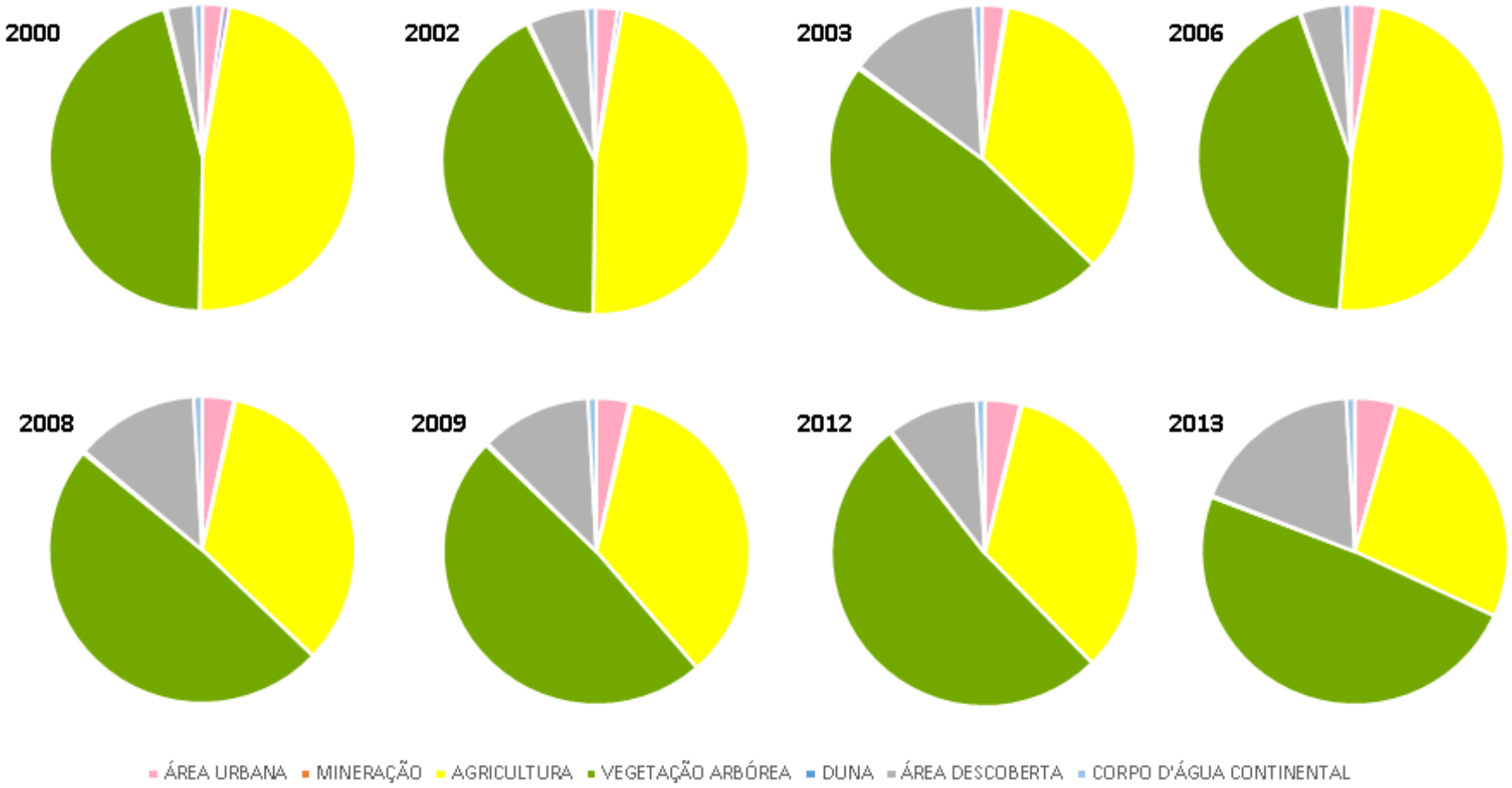
Fonte: Do autor (2018)

Tabela 19 - Porcentagem por classe de uso do solo em cada imagem analisada

Área em % / Classe	2000	2002	2003	2006	2008	2009	2012	2013
Área urbana	2,15	2,32	2,41	2,70	3,33	3,45	3,75	4,40
Mineração	0,67	0,49	0,27	0,24	0,21	0,30	0,18	0,07
Agricultura	47,53	47,44	34,51	48,30	33,62	34,93	33,76	27,42
Vegetação arbórea	45,62	42,42	47,81	43,29	48,72	48,57	51,71	48,90
Duna	0,26	0,21	0,25	0,15	0,21	0,20	0,20	0,17
Área descoberta	2,89	6,24	13,86	4,44	13,02	11,67	9,52	18,16
Corpo d'água continental	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

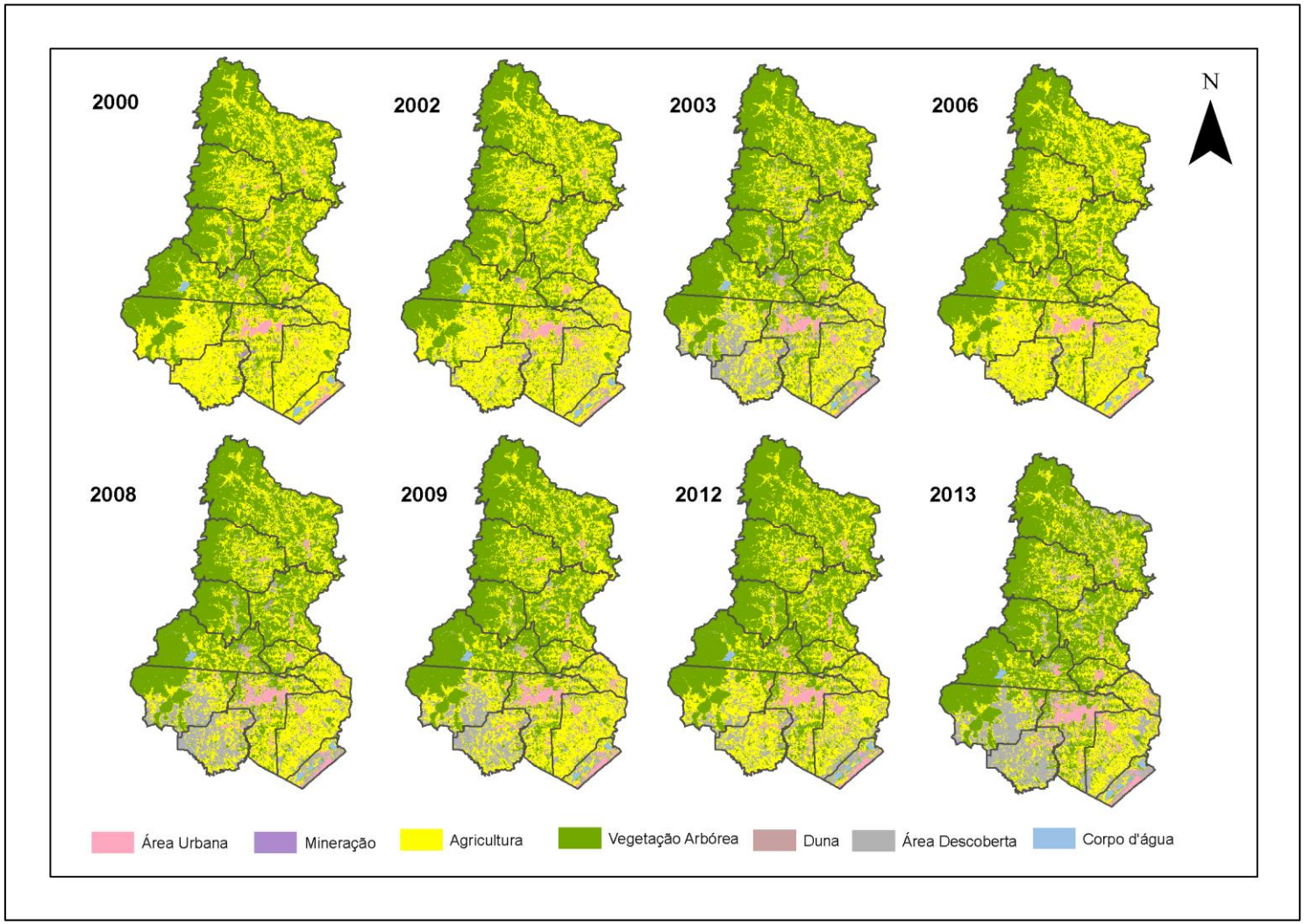
Fonte: Do autor (2018)

Figura 33 - Gráficos em pizza da variação do uso do solo



Fonte: Do autor (2018)

Figura 34 - Mapas de uso do solo para as imagens analisadas em cada ano



Fonte: Do autor (2018)

6.4 ESTATÍSTICAS DE CORRELAÇÃO

A correlação entre as classes de uso e ocupação da terra e temperaturas foi obtida através do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, e cruzando todos os usos do solo entre si obteve-se o resultado apresentado na tabela 25 (apêndice E). Na tabela 20 encontram-se aqueles coeficientes que possuem significância estatística. Estes coeficientes podem ser interpretados de acordo com a tabela 21, que define o tipo de correlação, positiva ou negativa, entre os valores.

Tabela 20 - Coeficientes de correlação de Pearson para as classes de uso do solo

Uso do solo	Mineração	Agricultura	Vegetação arbórea	Área descoberta
Área urbana	-0,81	-0,82	0,71	0,72
Mineração	-	0,76	-	-0,76
Agricultura	-	-	-0,85	-0,94

Fonte: Do autor (2018)

Tabela 21: Interpretações possíveis de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson

Valor do coeficiente	Interpretação
0,90 a 1,00 (-0,90 a -1,00)	Correlação positiva (ou negativa) muito alta
0,70 a 0,90 (-0,70 a -0,90)	Correlação positiva (ou negativa) alta
0,50 a 0,70 (-0,50 a -0,70)	Correlação positiva (ou negativa) moderada
0,30 a 0,50 (-0,30 a -0,50)	Correlação positiva (ou negativa) baixa
0,00 a 0,30 (0,00 a -0,30)	Correlação negligenciável

Fonte: Adaptado de Mukaka, M (2012)

Em todas as correlações realizadas, oito foram estatisticamente significantes. Destes, sete são correlações consideradas altas e uma considerada muito alta.

Esta correlação muito alta encontrada (-0,94) foi entre os valores de área descoberta e de agricultura. Como foi discutido anteriormente, isto pode ser ocasionado pelo aumento das áreas descobertas anterior ao plantio de culturas temporárias, o que leva à uma redução nas áreas da classe de agricultura.

Outra relação interessante com as áreas de agricultura acontece com as áreas urbanizadas, com um coeficiente de -0,82. É possível que a diminuição da

primeira classe e aumento da segunda tenha acontecido devido a migração populacional para os centros urbanos.

As áreas de mineração também mantêm correlação alta com as áreas descobertas. Após as ações de órgãos públicos, as carboníferas da região iniciaram processos de recuperação ambiental em seus passivos, e isto pode ter implicado na diminuição de áreas degradadas, as quais passariam a ser classificadas em outros usos.

O alto coeficiente de correlação entre vegetação arbórea e agricultura (-0,85) talvez seja explicado pela mesma relação que este último uso possui com as áreas urbanas, ou seja, existe a possibilidade de que a diminuição das áreas rurais tenha criado espaço para o desenvolvimento de áreas com espécies arbóreas. O coeficiente positivo entre área urbana e vegetação arbórea também deve ser considerado, pois o mesmo indica uma relação positiva alta entre os dois.

As correlações com corpos d'água foram todas negligenciáveis e não significativas, pois, ao utilizar dados vetoriais para a classificação deste uso, não ocorreram modificações ao longo do tempo, tornando-as constantes. As áreas de dunas não produziram coeficientes altos com nenhuma outra classe de uso do solo.

Para as temperaturas mínima, máxima e média não foram encontradas correlações temporais significativas entre elas e as classes de uso do solo delimitadas. Isto pode ter ocorrido pelo fato de a análise ter sido efetuada sobre uma base amostral pequena.

7 CONCLUSÃO

O estudo revelou a possibilidade de se obter temperaturas espaço-temporais da superfície terrestre, utilizando imagens de satélites e aplicando algoritmos para tal tarefa. Uma forma de aplicar estes algoritmos é a modelagem em ambiente de SIG, o que permite a otimização do trabalho.

Este trabalho demonstrou, também, que é possível realizar análises de temperatura e uso do solo através de variadas metodologias, tais como perfis de temperatura, histogramas, tabelas de valores, gráficos, bem como dos próprios mapas produzidos.

Os resultados obtidos na mensuração dos mapas temáticos de temperatura mostraram que ao longo dos anos analisados, ela não obedeceu um padrão de crescimento ou diminuição, não sendo possível estabelecer uma correlação temporal com as classes de uso e ocupação da terra, para este caso.

Se fazem necessários, portanto, outros estudos mais completos, com a análise de mais imagens, para assim poder determinar mais precisamente a existência de correlações.

Espacialmente, buscou-se, através de diferentes maneiras, verificar a influência das classes de uso do solo sobre a temperatura. Com os resultados obtidos, verificou-se a existência de tal correlação, visto que em várias locais das imagens é visível o aumento de temperatura justamente em locais propícios a isso, como áreas de mineração, áreas urbanas ou descobertas, as quais formam os picos de temperatura demonstrados nos perfis traçados.

Existem também vários locais em que ocorre o inverso, ou seja, há a diminuição na temperatura da superfície terrestre, principalmente em áreas de vegetação arbórea e corpos d’água. Mesmo quando estas áreas se encontram em meio a grandes locais quentes, conseguem ser diferenciados e apresentar perfis de temperatura mais frios.

A análise de uso do solo revelou um aumento constante e significativo nas áreas urbanas da área de estudo, com um crescimento de 104%. As áreas descobertas também apresentaram crescimento, apesar de não ser constante. As áreas de mineração diminuíram em 89%, o que pode ser atribuído à necessidade das empresas carboníferas realizarem a recuperação ambiental de seus passivos.

As correlações de usos do solo foram significativas e altas ou muito altas em oito casos, citando-se principalmente as relações entre agricultura e área descoberta (-0,94), agricultura e vegetação arbórea (-0,85), área urbana e agricultura (-0,82) e mineração e área descoberta (-0,76).

Outras possibilidades futuras para pesquisas neste sentido, são a inclusão de outras variáveis nas análises, tais como umidade do solo, ventos, altitude, precipitação, PIB (Produto Interno Bruto), população entre outras. Os próprios parâmetros de NDVI e emissividade podem ser utilizados neste sentido. Adicionalmente, é possível também realizar pesquisas a respeito de ilhas de calor, planejamento urbano, queimadas, arborização ou como subsidio para implantação de áreas verdes ou de unidades de conservação.

REFERÊNCIAS

AVDAN, Ugur; JOVANOVSKA, Gordana. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. **Journal Of Sensors**, [s.l.], v. 2016, p.1-8, fev. 2016. Hindawi Limited. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/1480307/>. Acesso em: 29 mar. 2018.

AMREC (Estado). Estatuto Social de 04 de fevereiro de 2016. **Estatuto Social da AMREC**. Criciúma, SC, 17 fev. 2016. Disponível em: <http://www.amrec.com.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/71440>. Acesso em: 09 jan. 2018.

ARTIS, David A.; CARNAHAN, Walter H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 12, n. 4, p.313-329, set. 1982. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425782900438>. Acesso em: 29 maio 2018.

BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Sensores Imageadores na Faixa do Termal (8 - 14 μm). In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: CNPq, 2012. p. 47-56. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 25 fev. 2018.

BARSI, J.A., J.L. BARKER, J.R. SCHOTT. **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument**. IGARSS03, 21-25 July 2003, Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da Terra.** Coordenação dos Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 3.ed, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf. Acesso em: 27 mar. 2018.

COELHO, André Luiz Nascentes; CORREA, Wesley de Souza Campos. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES. **Revista GeogrÁfica AcadÊmica**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.31-45, 1 jul. 2013. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/viewFile/2996/1733>. Acesso em: 14 mar. 2018.

DASH, P. et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 23, n. 13, p.2563-2594, jan. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230558483_Land_Surface_Temperature_and_Emissivity_Estimation_from_Passive_Sensor_Data_Theory_and_Practice-Current_Trends>. Acesso em: 20 fev. 2018

DENG, Yuanhong et al. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-12, 12 jan. 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-19088-x>. Acesso em: 27 mar. 2018.

FATHIZAD, Hassan et al. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. **Journal Of African Earth Sciences**, [s.l.], v. 134, p.249-256, out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X17302637?via=ihub>. Acesso em: 26 mar. 2018.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

FU, Peng; WENG, Qihao. A time series analysis of urbanization induced land use and land cover change and its impact on land surface temperature with Landsat imagery. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 175, p.205-214, mar. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425715302625>. Acesso em: 26 mar. 2018.

GARCIA, Gilberto J. **Sensoriamento remoto.** São Paulo: Ed. Nobel, 1982. 357 p.

HEREHER, Mohamed E.. Effect of land use/cover change on land surface temperatures - The Nile Delta, Egypt. **Journal Of African Earth Sciences**, [s.l.], v. 126, p.75-83, fev. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X16303867>. Acesso em: 05 maio 2018.

KUENZER, Claudia; DECH, Stefan. Theoretical Background of Thermal Infrared Remote Sensing. In: KUENZER, Claudia; DECH, Stefan (Ed.). **Thermal Infrared Remote Sensing:** Sensors, Methods, Applications. Dordrecht: Springer, 2013. Cap. 1. p. 1-26. (Remote Sensing and Digital Image Processing). Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=-

Vk_AAAAQBAJ&pg=PA492&lpg=PA492&dq="Thermal+infrared+remote+sensing+for+urban+climate+and+environmental+studies:+methods,+applications,+and+trends"&source=bl&ots=H60WGMcCFl&sig=LLT0H2psBcA4I2dex8-0sCWvr_g&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwi4r-HtmrjZAhUEj5AKHfw-ACoQ6AEIOzAD#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 26 jan. 2018.

LI, Fuqin et al. Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 92, n. 4, p.521-534, set. 2004. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425704001877>. Acesso em: 18 abr. 2018.

LIU, William Tse-Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande: Uniderp, 2007. 881p.

LORENZZETTI, João Antônio. **Princípios físicos de sensoriamento remoto.** São Paulo: Blucher, 2015. 293 p.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2005. 320 p.

MENESES, Paulo Roberto. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (Org.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: CNPq, 2012. p. 1-33. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 25 fev. 2018.

MOHAMMDY, M et al. Validating gap-filling of Landsat ETM+ satellite images in the Golestan Province, Iran. **Saudi Society For Geosciences.** p. 3633-3638. maio 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-013-0967-5#Bib1>. Acesso em: 25 fev. 2018.

MOREIRA, Maurício Alves. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2005. 320 p.

MUKAKA, Mavuto. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal.** p. 69-71. 24 mar. 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3576830/pdf/MMJ2403-0069.pdf>. Acesso em: 22 maio 2018.

NOVO, E. M. L de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: E. Blucher, 1998. 308 p. 62

PAL, Swades; ZIAUL, Sk. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. **The Egyptian Journal Of Remote Sensing And Space Science**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.125-145, jun. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982316301119>. Acesso em: 14 maio 2018.

PIRES, E. G.; JÚNIOR, L. G. F. **Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 7421-7428. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4K3G>. Acesso em: 10 jan. 2018.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos, SP: Parêntese, 2007. 127 p.

SANTA CATARINA. GABINETE DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. **Atlas de Santa Catarina**. Florianópolis: GAPLAN, 1986. 173 p.

SANTA CATARINA. SDS - Secretaria de Desenvolvimento Sustentável. Trecho de massa d´água. 2012. Disponível em: http://sigsc.sds.sc.gov.br/. Acesso em: 11 out. 2016.

TAYYEBI, Amin; SHAFIZADEH-MOGHADAM, Hossein; TAYYEBI, Amir H.. Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. **Land Use Policy**, [s.l.], v. 71, p.459-469, fev. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837717309419>. Acesso em: 26 mar. 2018.

TRAN, Duy X. et al. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. **Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 124, p.119-132, fev. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271617300035>. Acesso em: 26 mar. 2018.

TEMPFLI, Klaus et al (Ed.). **Principles of Remote Sensing:** An Introductory Textbook. 4. ed. Enschede: ITC, 2009. 591 p.

USGS. **Landsat 7 Science Data Users Handbook.**1998. 207 p. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-7-data-users-handbook>. Acesso em: 08 jan. 2018.

USGS. **Landsat 8 (L8) data users handbook.** 2. ed. Sioux Falls: LSDS, 2016. 106 p. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2018.

USGS. **Landsat 7 (L7) Gap Phase Statistics Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD).** 1. ed. Sioux Falls: EROS, 2007. 30 p. Disponível em: < https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LS_IAS_05_Gap_Phase_Stat_ATBD.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2018.

USGS – Unitad States Geological Survey. **Aquisição de imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8**, EUA. Acesso em 27 dezembro 2017. Disponível em <http://landsat.usgs.gov>.

USGS. **Landsat—Earth observation satellites.** Reston: Eros, 2016. 4 p. (Fact Sheet). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3081/fs20153081.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2018.

VALOR, Enric; CASELLES, Vicente. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 57, n. 3, p.167-184, set. 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425796000399>. Acesso em: 04 jun. 2018.

VOOGT, J.a; OKE, T.r. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 86, n. 3, p.370-384, ago. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000798>. Acesso em: 26 mar. 2018.

WANG, Shenmin et al. Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 128, p.526-534, jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344916301215>. Acesso em: 26 mar. 2018.

WENG, Qihao; LU, Dengsheng; SCHUBRING, Jacquelyn. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 89, n. 4, p.467-483, fev. 2004.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703003390>. Acesso em: 26 mar. 2018.

APÊNDICE(S)

APÊNDICE A – VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE

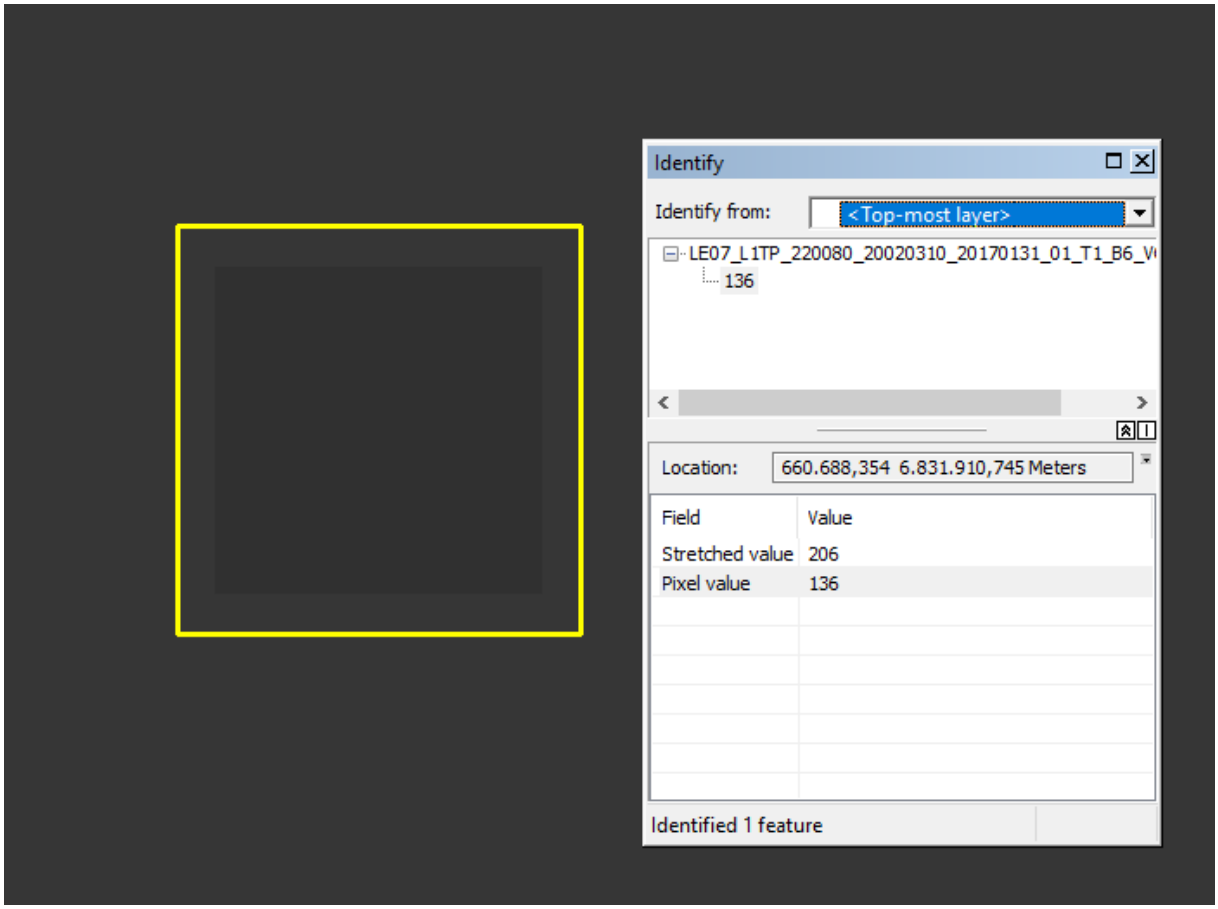
A seguir são demonstrados os resultados obtidos manualmente bem como aqueles encontrados em programa (figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42)

$$L_\lambda = \left(\frac{(Lmax_\lambda - Lmin_\lambda)}{(Qcalmax - Qcalmin)}\right) \times (Qcal - QCcalmin) + Lmin_\lambda$$

$$L_\lambda = \left(\frac{(17{,}04 - 0)}{(255 - 1)}\right) \times (136 - 1) + 0$$

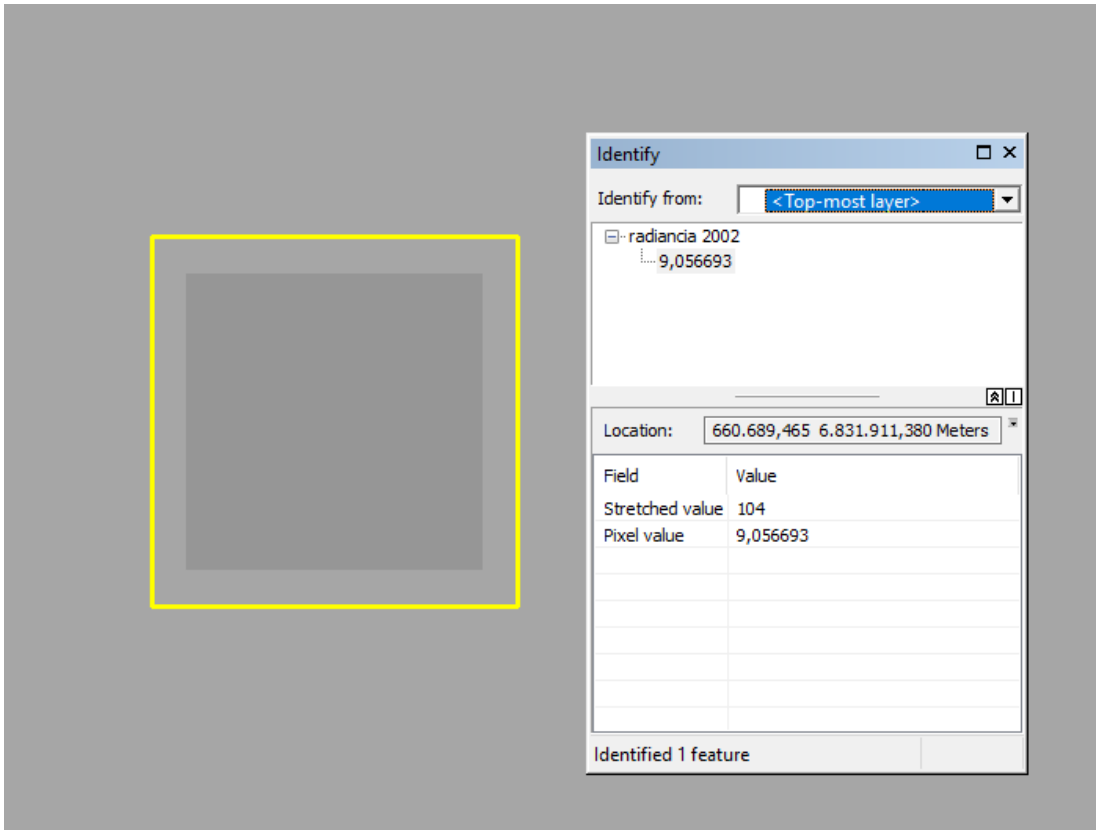
$$L_\lambda = 9{,}0567\ \mathrm{W/m2 \cdot sr \cdot \mu m}$$

Figura 35 - Localização do pixel escolhido para análise e seu valor digital de 136



Fonte: Do autor (2018)

Figura 36 - Valor de radiância encontrado pelo software



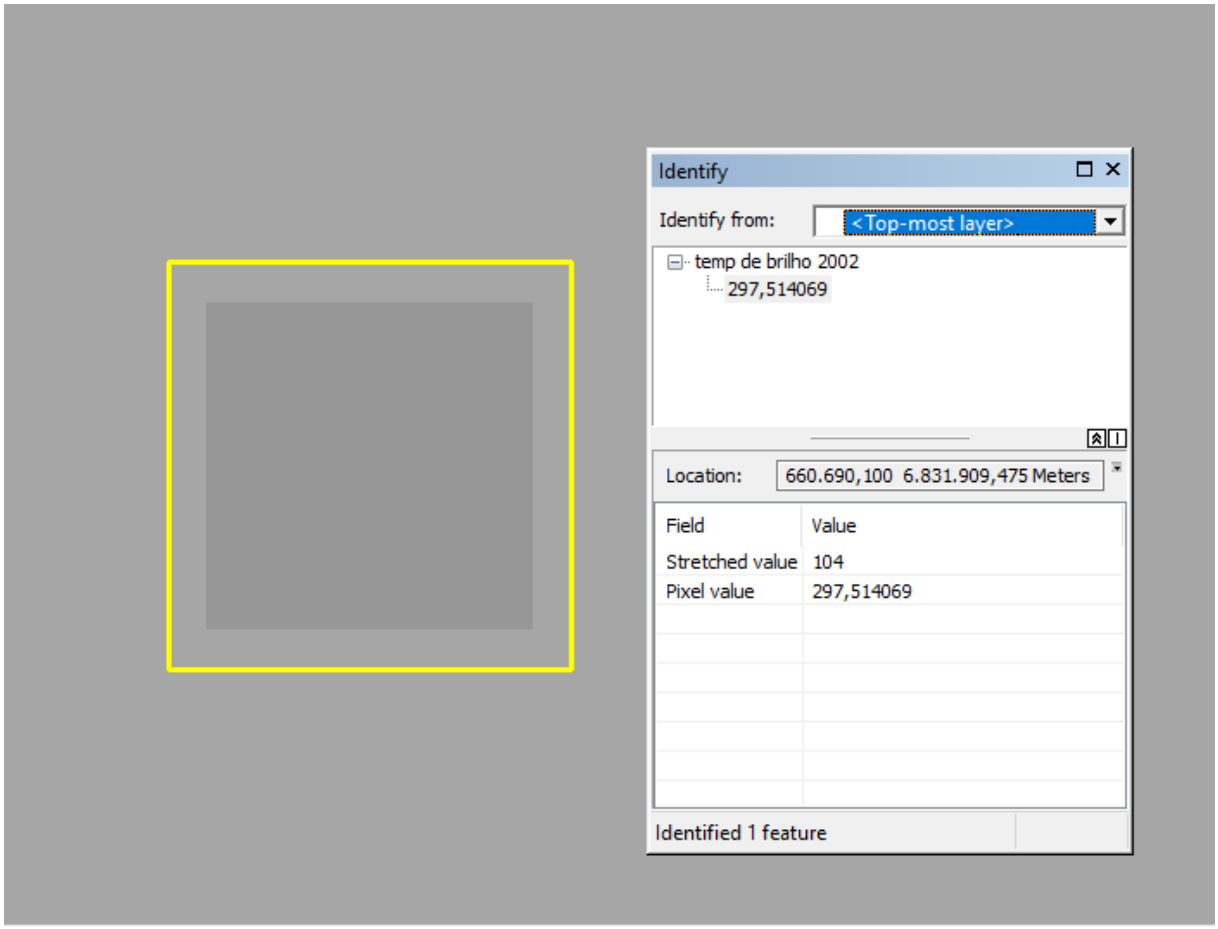
Fonte: Do autor (2018)

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

$$Tb = \frac{1282{,}71}{\ln\left(\frac{666{,}09}{9{,}0567} + 1\right)}$$

$$Tb = 297{,}5172\ K$$

Figura 37 - Temperatura de brilho calculada por *software*



Fonte: Do autor (2018)

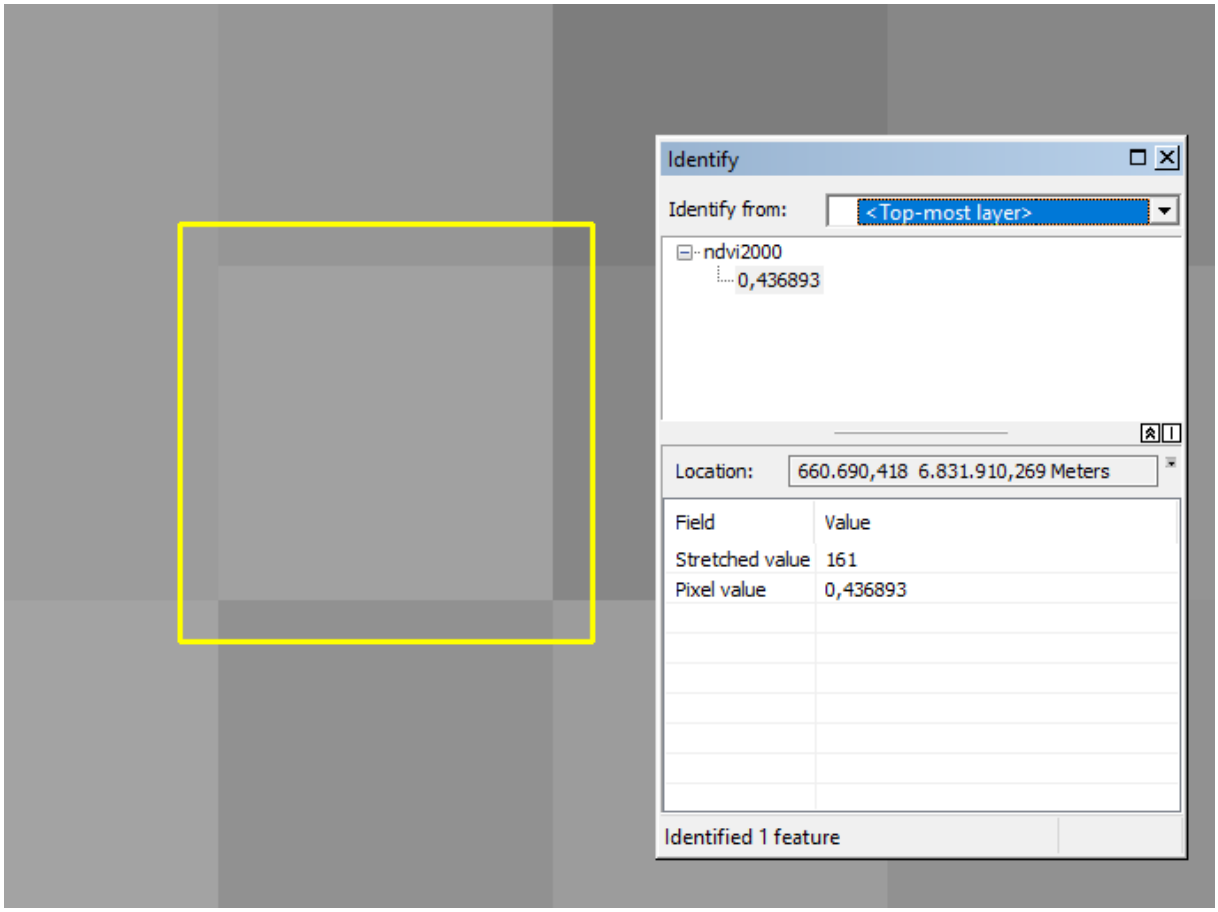
O próximo passo é o cálculo da temperatura da superfície terrestre, estimando primeiro, em sequência, NDVI, Pv, emissividade.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

$$NDVI = \frac{74 - 29}{74 + 29}$$

$$NDVI = 0{,}43689$$

Figura 38 - NDVI calculado pelo *software*



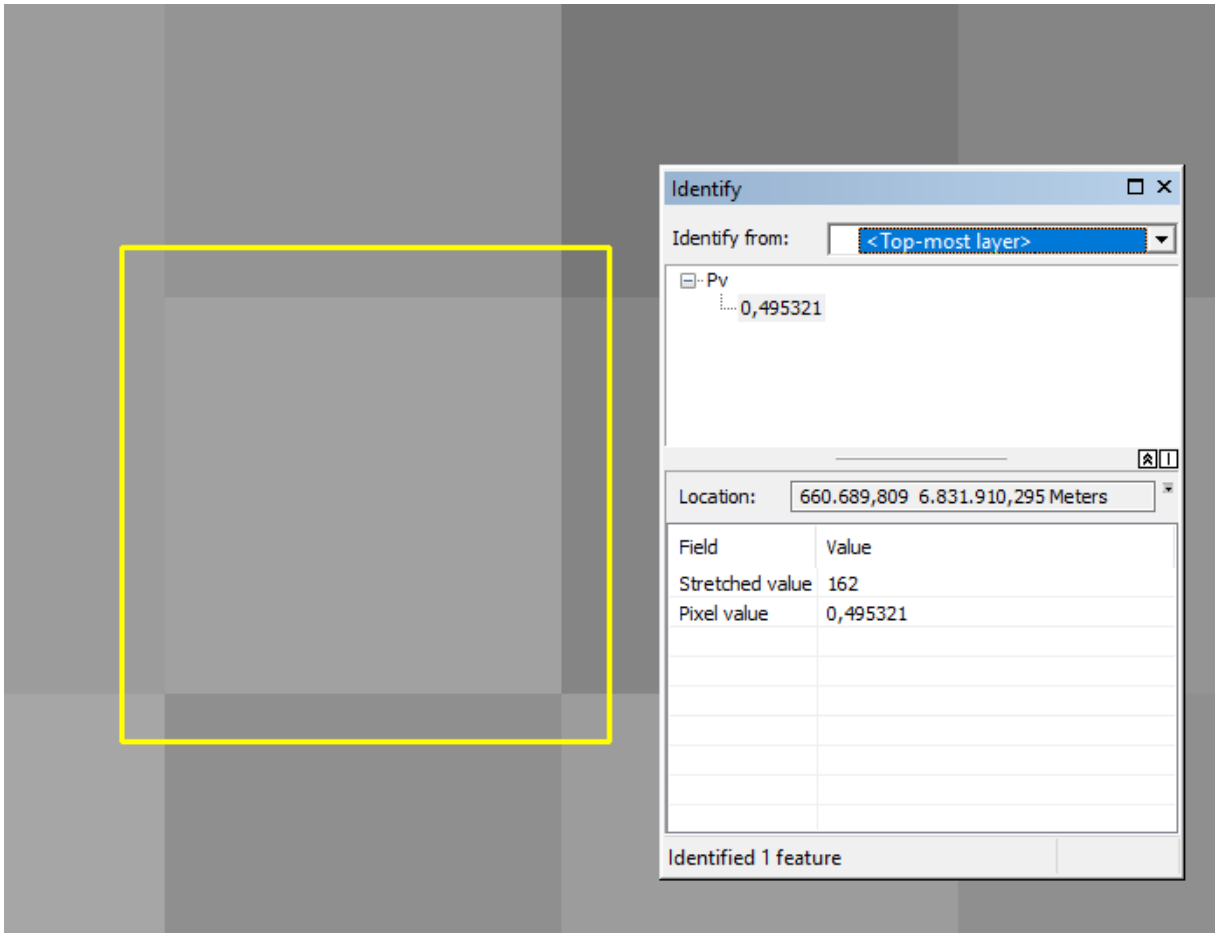
Fonte: Do autor (2018)

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}\right)^2$$

$$Pv = \left(\frac{0{,}43689 - (-0{,}677419)}{0{,}905882 - (-0{,}677419)}\right)^2$$

$$Pv = 0{,}495321$$

Figura 39 - Cálculo de percentual de vegetação executado por programa



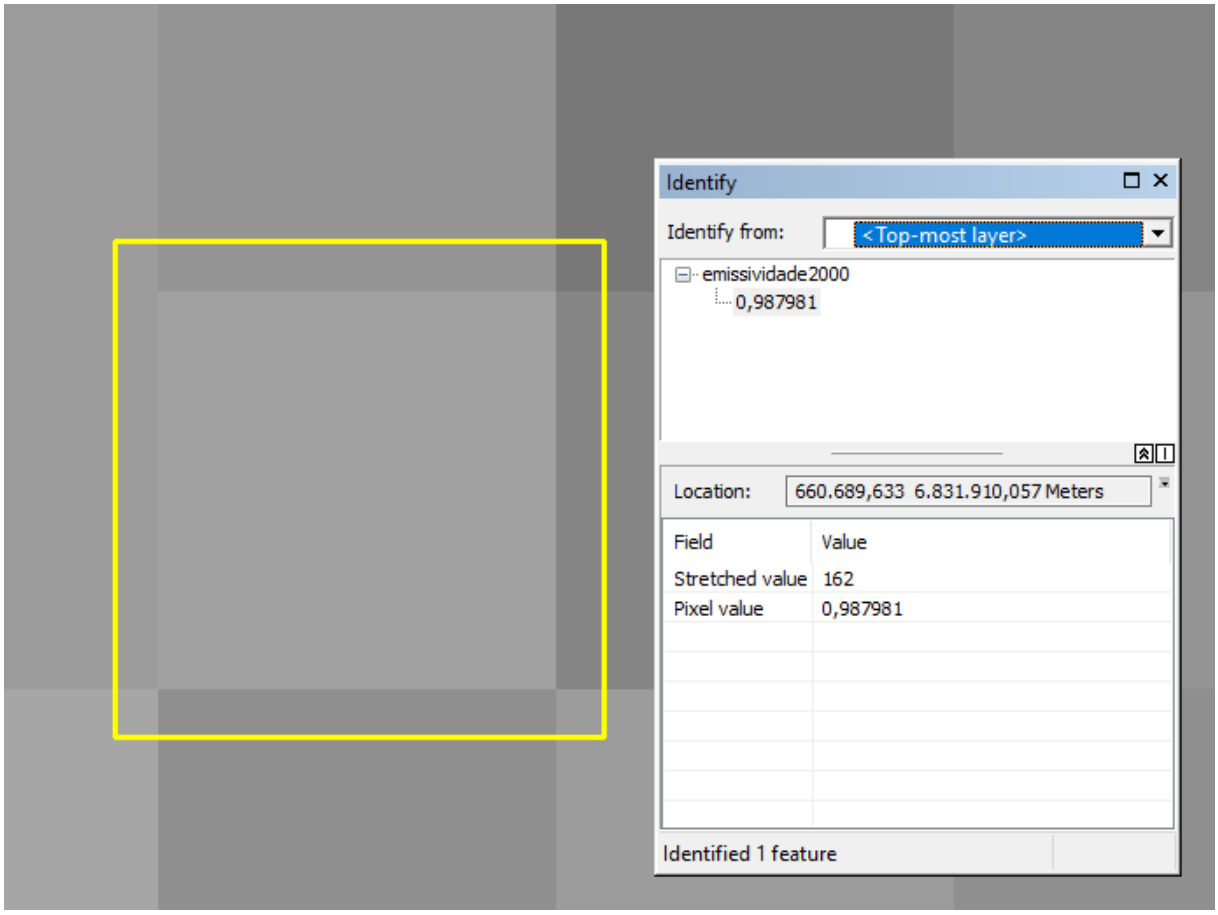
Fonte: Do autor (2018)

$$\varepsilon = 0{,}004 \times Pv + 0.986$$

$$\varepsilon = 0{,}004 \times 0{,}495321 + 0.986$$

$$\varepsilon = 0{,}98798$$

Figura 40 - Resultado de emissividade calculado pelo *software*



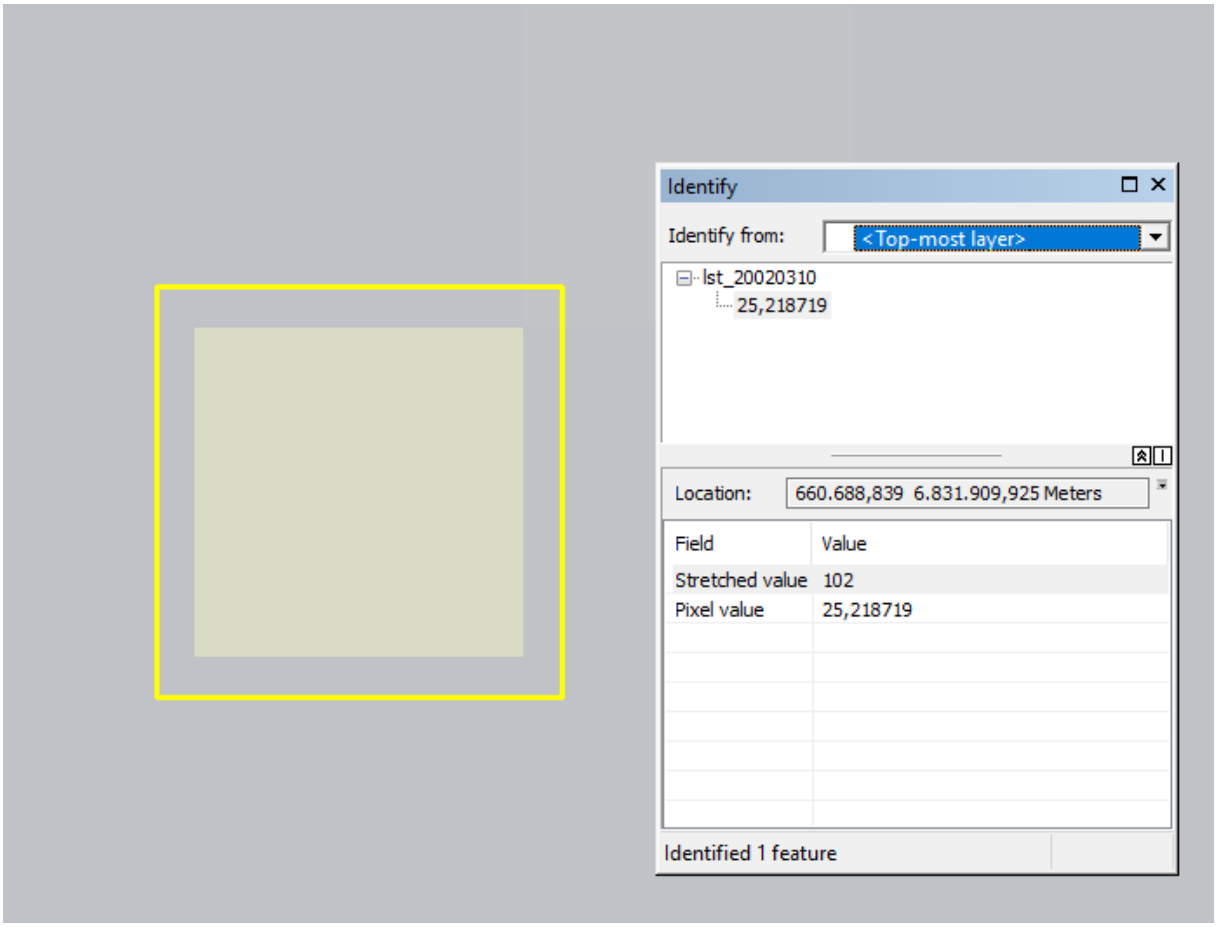
Fonte: Do autor (2018)

$$LST = \frac{Tb}{\left\{1 + \left[\left(\lambda \times \frac{Tb}{\rho}\right) \times Ln\right]\right\}} - 273{,}15$$

$$LST = \frac{297{,}514097}{\left\{1 + \left[\left(11{,}45 \times \frac{297{,}514097}{14380}\right) \times Ln\, 0{,}98798\right]\right\}} - 273{,}15$$

$$LST = 25{,}2188\,°C$$

Figura 41 - Temperatura da Superfície Terrestre (LST) calculada por modelo em ArcGis 10.3



Fonte: Do autor (2018)

Diferentemente do sistema orbital Landsat 7, para o Landsat 8 utiliza-se a equação 3 para o cálculo da radiância, a qual é demonstrada abaixo.

Utilizando as equações referentes ao sistema orbital Landsat 8, foram obtidos os seguintes resultados para o mesmo ponto utilizado na verificação em Landsat 7.

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L$$

$$L_\lambda = 0{,}0003342 \times 26488 + 0{,}1$$

$$L_\lambda = 8{,}952289\ W/m2 \cdot sr \cdot \mu m$$

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

$$Tb = \frac{1321{,}0789}{\ln\left(\frac{774{,}8853}{8{,}952289} + 1\right)}$$

$$Tb = 295{,}39188\ K$$

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

$$NDVI = \frac{19448 - 6462}{19448 + 6462}$$

$$NDVI = 0{,}501196$$

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}\right)^2$$

$$Pv = \left(\frac{0{,}501196 - (-0{,}271178)}{0{,}631868 - (-0{,}271178)}\right)^2$$

$$Pv = 0{,}731537$$

$$\varepsilon = 0{,}004 \times Pv + 0.986$$

$$\varepsilon = 0{,}004 \times 0{,}731537 + 0.986$$

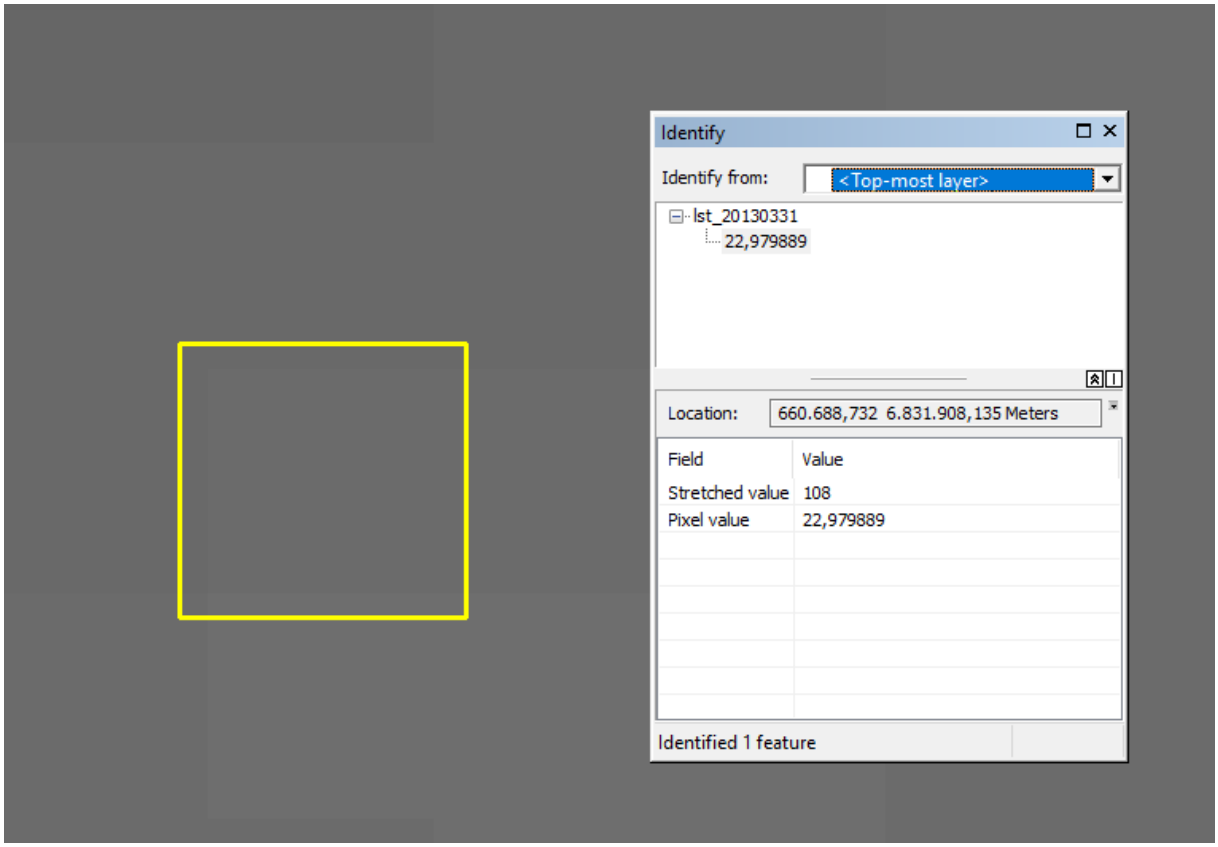
$$\varepsilon = 0{,}988926$$

$$LST = \frac{Tb}{\left\{1 + \left[\left(\lambda \times \frac{Tb}{\rho}\right) \times Ln\right]\right\}} - 273{,}15$$

$$LST = \frac{295{,}39188}{\left\{1 + \left[\left(10{,}895 \times \frac{295{,}39188}{14380}\right) \times Ln\, 0{,}988926\right]\right\}} - 273{,}15$$

$$LST = 22{,}9798\,°C$$

Figura 42 - Resultado final do cálculo da temperatura da superfície terrestre executado em ArcGis 10.3



Fonte: Do autor (2018)

APÊNDICE B – RESULTADOS DE TEMPERATURA POR MUNICÍPIO E POR IMAGEM ANALISADA

Tabela 22 - Temperaturas obtidas por município e por imagem analisada

		Ano							
Município	**Temperatura**	**2000**	**2002**	**2003**	**2006**	**2008**	**2009**	**2012**	**2013**
Balneário Rincão	**Mínima**	19,64	23,31	21,23	23,30	20,16	22,27	23,30	21,98
	Máxima	31,78	38,37	32,23	36,50	29,81	33,69	38,81	31,61
	Média	24,54	28,36	25,86	27,26	24,62	26,65	30,78	26,32
	Desvio Padrão	1,44	1,89	1,78	1,89	1,46	1,83	2,81	1,76
Cocal do Sul	**Mínima**	20,04	23,66	21,11	22,10	20,02	21,62	23,67	22,09
	Máxima	34,64	36,98	34,16	38,35	34,16	35,11	38,82	32,88
	Média	23,60	26,81	24,32	26,22	23,55	24,94	27,41	24,56
	Desvio Padrão	1,49	1,11	1,35	1,86	1,31	1,43	1,60	1,17
Criciúma	**Mínima**	20,15	18,57	14,74	16,94	15,84	20,69	19,63	21,82
	Máxima	34,17	40,20	35,58	36,98	33,21	36,05	39,29	34,34
	Média	24,65	27,51	25,25	26,97	24,11	25,86	29,06	25,69
	Desvio Padrão	1,67	1,51	1,66	2,18	1,30	1,64	2,12	1,49
Forquilhinha	**Mínima**	21,10	23,68	21,22	22,09	21,08	22,66	24,19	22,99
	Máxima	34,18	34,64	34,17	34,16	30,31	35,58	38,83	33,16
	Média	24,03	26,43	24,68	25,16	24,14	25,57	27,79	25,45
	Desvio Padrão	1,50	1,25	1,27	1,54	0,94	1,24	1,84	1,00
Içara	**Mínima**	16,95	22,79	18,02	17,48	16,39	21,22	20,17	20,62
	Máxima	32,74	35,58	33,21	36,03	30,30	33,21	38,82	31,27
	Média	24,75	27,75	25,17	26,42	24,05	26,07	30,07	25,58
	Desvio Padrão	1,22	1,28	1,23	1,79	1,00	1,39	2,19	1,04
Lauro Müller	**Mínima**	10,20	19,07	16,35	15,82	14,73	14,74	18,51	8,46
	Máxima	32,26	30,32	32,26	36,04	27,83	32,74	39,72	30,83
	Média	21,49	25,37	23,10	24,76	21,35	23,05	26,08	22,34

	Desvio Padrão	2,41	1,23	1,59	2,32	1,63	1,65	1,79	2,35
Morro da Fumaça	**Mínima**	21,10	24,68	20,16	21,59	21,08	22,19	24,70	17,80
	Máxima	31,78	35,10	32,73	36,50	30,31	32,25	37,44	30,23
	Média	24,53	27,36	24,92	26,51	24,22	25,65	28,49	25,04
	Desvio Padrão	1,31	1,20	1,28	1,67	1,09	1,34	1,62	1,01
Nova Veneza	**Mínima**	13,61	20,12	16,90	16,35	15,20	16,91	18,48	12,85
	Máxima	31,76	31,29	30,31	33,69	30,79	31,29	34,64	29,35
	Média	22,25	25,55	23,53	24,59	22,74	24,08	26,25	23,76
	Desvio Padrão	2,08	1,13	1,59	1,95	1,68	1,60	1,68	1,68
Orleans	**Mínima**	9,04	16,92	13,59	14,70	13,54	9,61	16,37	10,24
	Máxima	31,29	32,25	30,81	34,63	31,29	31,29	36,05	29,49
	Média	21,44	25,11	22,72	24,85	21,20	22,59	25,70	22,49
	Desvio Padrão	2,40	1,33	1,72	2,15	1,74	1,64	1,84	2,00
Siderópolis	**Mínima**	11,91	19,07	16,36	16,29	15,78	16,37	18,52	12,84
	Máxima	33,70	34,17	33,69	38,82	31,28	32,74	37,91	31,23
	Média	21,56	25,38	23,10	24,05	22,02	23,25	25,68	22,88
	Desvio Padrão	2,40	1,34	1,74	2,37	1,73	1,76	1,81	1,76
Treviso	**Mínima**	9,62	19,57	16,35	14,71	15,81	16,36	19,01	14,75
	Máxima	34,17	32,26	36,52	36,97	28,84	31,76	35,12	28,50
	Média	21,40	25,31	23,03	23,61	21,66	22,99	25,59	22,59
	Desvio Padrão	2,33	1,23	1,65	2,28	1,64	1,61	1,63	1,69
Urussanga	**Mínima**	18,48	20,17	18,02	19,62	16,39	19,56	19,10	20,08
	Máxima	33,21	33,70	33,21	40,64	35,10	35,10	36,05	30,03
	Média	22,68	26,03	23,48	25,37	22,34	23,74	26,81	23,84
	Desvio Padrão	1,56	1,14	1,38	1,83	1,27	1,36	1,48	1,15
AMREC	**Mínima**	9,04	16,92	13,59	14,7	13,54	9,61	16,37	8,46
	Máxima	36,64	40,2	33,52	40,64	35,1	36,05	39,72	34,34
	Média	22,64	26,04	23,74	25,2	22,55	24,06	26,97	23,77
	Desvio Padrão	2,42	1,63	1,84	2,28	1,91	2,05	2,42	2,13

Fonte: Do autor (2018)

APÊNDICE C – ÁREA POR CLASSE DE USO DO SOLO POR ANO

Tabela 23 – Distribuição em área das classes de uso do solo por município

		Área por ano (ha)							
Município	**Uso**	**2000**	**2002**	**2003**	**2006**	**2008**	**2009**	**2012**	**2013**
Balneário Rincão	**Área urbana**	825,95	796,00	871,32	946,01	1108,73	1231,14	1154,09	1228,51
	Mineração	40,32	32,59	7,25	17,24	3,15	75,35	2,01	0,54
	Agricultura	3651,65	3097,23	1808,74	3667,51	1670,96	2016,98	1292,87	1372,68
	Vegetação arbórea	358,08	171,40	404,92	157,63	340,92	319,41	396,05	439,30
	Duna	631,58	526,45	617,80	379,36	470,63	476,87	375,58	276,13
	Área descoberta	185,68	1069,59	1983,23	525,52	2098,88	1573,52	2472,65	2376,10
	Corpo d'água continental	769,82	769,82	769,82	769,82	769,82	769,82	769,82	769,82
Cocal do Sul	**Área urbana**	209,94	325,83	215,87	249,69	294,27	335,73	392,41	509,83
	Mineração	0,55	4,84	0,09	0,36	1,60	4,85	2,70	0,27
	Agricultura	3647,36	3786,22	3068,71	3832,25	3045,68	3168,71	2976,38	2691,95
	Vegetação arbórea	3085,18	2699,65	3247,26	2730,63	3211,96	3092,91	3411,67	3302,23
	Duna	5,04	2,61	2,79	1,71	2,43	7,38	6,57	10,93
	Área descoberta	155,78	284,69	569,12	289,21	547,91	494,27	314,12	588,65
	Corpo d'água continental	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08	8,08
Criciúma	**Área urbana**	2619,38	2791,91	3152,32	3369,26	3733,96	3823,15	4150,97	4398,43
	Mineração	466,94	338,71	195,43	110,48	87,86	157,80	100,16	34,54
	Agricultura	12979,82	13020,96	9333,94	13409,20	9730,39	10270,84	9267,85	7545,91
	Vegetação arbórea	5861,76	4519,35	6058,04	4637,88	6028,26	5885,77	6416,26	6385,67
	Duna	19,98	14,03	18,42	5,22	18,63	17,46	36,97	46,26
	Área descoberta	1554,27	2817,19	4743,98	1970,10	3903,04	3347,12	3529,92	5091,33
	Corpo d'água continental	63,72	63,72	63,72	63,72	63,72	63,72	63,72	63,72

Forquilhinha	**Área urbana**	128,60	209,82	253,33	285,13	565,71	444,33	506,98	643,03
	Mineração	322,00	261,06	175,30	183,84	142,33	184,67	156,88	66,11
	Agricultura	14782,06	13380,17	7895,54	14228,62	6409,51	7662,49	10439,08	4387,96
	Vegetação arbórea	1578,86	2005,55	1413,37	1641,52	1252,07	1122,19	1596,35	1355,67
	Duna	0,00	0,09	0,45	0,00	2,14	0,00	0,36	1,06
	Área descoberta	1341,76	2296,59	8415,27	1814,16	9781,50	8739,58	5453,62	11699,44
	Corpo d'água continental	155,26	155,26	155,26	155,26	155,26	155,26	155,26	155,26
Içara	**Área urbana**	377,63	704,07	621,26	786,26	1099,26	1117,01	1330,59	1652,01
	Mineração	63,48	45,94	23,85	13,23	2,79	36,81	12,71	3,51
	Agricultura	18244,07	15596,53	13982,56	16331,29	15369,68	15590,90	12841,23	12275,09
	Vegetação arbórea	2791,98	2035,35	2791,70	2194,89	2638,46	2102,00	2767,78	2942,19
	Duna	5,58	4,60	8,76	0,54	12,51	10,53	31,39	34,82
	Área descoberta	1353,82	4450,07	5408,44	3510,36	3713,85	3979,31	5852,86	5928,94
	Corpo d'água continental	53,91	53,91	53,91	53,91	53,91	53,91	53,91	53,91
Lauro Müller	**Área urbana**	221,90	145,57	101,59	201,11	180,70	220,24	285,22	377,23
	Mineração	117,33	63,08	21,39	42,24	45,82	35,08	33,05	17,46
	Agricultura	10568,91	11429,92	8520,90	11479,65	8099,96	8236,85	7482,52	7583,77
	Vegetação arbórea	15696,69	14670,88	16624,96	14883,87	17355,74	17650,59	18586,42	17124,00
	Duna	0,72	0,00	1,53	0,72	6,21	0,99	4,55	10,26
	Área descoberta	342,44	638,54	1677,63	340,40	1259,56	804,23	556,23	1835,26
	Corpo d'água continental	123,88	123,88	123,88	123,88	123,88	123,88	123,88	123,88
Morro da Fumaça	**Área urbana**	236,16	338,96	272,60	293,35	548,57	654,42	556,81	768,19
	Mineração	2,85	6,75	0,90	0,44	1,00	11,35	1,89	0,99
	Agricultura	5999,25	5695,81	5052,63	6046,31	5144,71	4999,98	5129,29	4281,67
	Vegetação arbórea	1561,37	1258,09	1641,11	1175,09	1687,33	1392,36	1719,01	1673,33
	Duna	11,70	14,85	14,94	5,40	20,61	14,40	49,70	28,58
	Área descoberta	468,75	965,64	1297,91	759,48	877,86	1207,58	823,39	1527,33
	Corpo d'água continental	31,05	31,05	31,05	31,05	31,05	31,05	31,05	31,05

Nova Veneza	**Área urbana**	133,90	153,91	160,45	160,01	346,73	309,12	326,94	480,28
	Mineração	4,83	5,17	1,72	1,03	2,76	13,48	5,07	1,96
	Agricultura	15058,61	14550,92	8619,21	14381,74	7723,28	8451,09	10954,38	5264,56
	Vegetação arbórea	13458,24	13026,65	13586,17	13400,67	13585,80	13599,26	14368,34	13705,34
	Duna	0,00	0,18	0,72	0,63	3,60	0,99	1,44	0,81
	Área descoberta	688,57	1607,31	6975,87	1400,07	7681,97	6970,21	3687,97	9891,20
	Corpo d'água continental	149,75	149,75	149,75	149,75	149,75	149,75	149,75	149,75
Orleans	**Área urbana**	262,53	213,08	235,04	274,45	315,99	322,11	424,06	578,71
	Mineração	27,97	34,97	6,22	10,10	5,67	58,74	4,49	6,67
	Agricultura	19419,80	20357,92	15732,16	21048,84	15599,69	15387,53	13429,74	12780,64
	Vegetação arbórea	33948,42	32876,05	36699,47	32676,16	37034,98	37432,58	39630,40	36716,34
	Duna	2,25	1,38	4,32	1,89	17,28	5,13	16,06	19,62
	Área descoberta	894,48	1072,06	1878,23	543,99	1581,84	1349,36	1050,70	4453,47
	Corpo d'água continental	314,42	314,42	314,42	314,42	314,42	314,42	314,42	314,42
Siderópolis	**Área urbana**	252,12	183,68	210,18	289,43	244,80	303,59	345,38	450,70
	Mineração	310,01	260,41	142,06	94,31	120,42	57,48	66,83	30,40
	Agricultura	6744,96	8161,30	5372,40	7252,69	4868,25	4750,25	4569,38	4123,95
	Vegetação arbórea	18102,98	16619,01	18568,78	17795,31	19415,01	19726,62	20146,08	19551,78
	Duna	0,72	0,09	0,27	0,00	1,49	0,90	0,81	1,08
	Área descoberta	184,12	370,41	1301,23	163,17	944,94	756,07	466,42	1437,00
	Corpo d'água continental	564,07	564,07	564,07	564,07	564,07	564,07	564,07	564,07
Treviso	**Área urbana**	103,68	33,34	32,07	40,34	63,29	51,30	77,05	88,40
	Mineração	203,82	117,26	72,54	78,25	24,49	57,54	27,69	5,22
	Agricultura	3841,68	4529,18	2839,19	4068,05	2530,34	2617,09	2465,16	2255,79
	Vegetação arbórea	11394,74	10804,79	11950,87	11404,36	12350,69	12431,78	12809,75	12296,05
	Duna	0,18	0,36	0,54	0,00	0,54	0,00	1,53	2,70
	Área descoberta	101,40	160,57	750,29	54,50	676,15	487,79	264,33	997,35
	Corpo d'água continental	58,83	58,83	58,83	58,83	58,83	58,83	58,83	58,83

Urussanga	**Área urbana**	346,12	273,73	279,17	268,87	338,75	336,84	406,39	508,89
	Mineração	208,14	125,57	64,02	97,97	124,77	91,37	59,90	24,29
	Agricultura	11227,33	12302,64	9369,08	12447,64	9045,55	9574,85	8756,59	8208,17
	Vegetação arbórea	13250,59	11901,16	13925,16	12204,78	14416,69	14156,66	15404,14	14304,11
	Duna	7,74	5,85	5,85	6,75	13,68	7,83	15,03	10,26
	Área descoberta	387,69	818,65	1784,33	401,61	1488,17	1260,06	785,56	2371,89
	Corpo d'água continental	55,74	55,74	55,74	55,74	55,74	55,74	55,74	55,74
Total	**Área urbana**	5717,90	6169,90	6405,21	7163,92	8840,76	9148,99	9956,90	11684,22
	Mineração	1768,23	1296,34	710,78	649,49	562,65	784,52	473,39	191,97
	Agricultura	126165,50	125908,80	91595,06	128193,77	89238,01	92727,57	89604,47	72772,12
	Vegetação arbórea	121088,89	112587,93	126911,81	114902,78	129317,92	128912,13	137252,25	129795,99
	Duna	685,49	570,49	676,39	402,22	569,75	542,48	539,99	442,51
	Área descoberta	7658,75	16551,31	36785,52	11772,58	34555,68	30969,08	25257,78	48197,96
	Corpo d'água continental	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53	2348,53

Fonte: Do autor (2018)

APÊNDICE D – ÁREA POR CLASSE DE USO DO SOLO POR ANO

Tabela 24 - Porcentagem por classe de uso do solo em cada município

Município	Ano / Uso	2000 %	2002 %	2003 %	2006 %	2008 %	2009 %	2012 %	2013 %
Balneário Rincão	Área urbana	12,78	12,32	13,48	14,64	17,15	19,05	17,86	19,01
	Mineração	0,62	0,50	0,11	0,27	0,05	1,17	0,03	0,01
	Agricultura	56,50	47,92	27,99	56,75	25,85	31,21	20,00	21,24
	Vegetação arbórea	5,54	2,65	6,27	2,44	5,27	4,94	6,13	6,80
	Duna	9,77	8,15	9,56	5,87	7,28	7,38	5,81	4,27
	Área descoberta	2,87	16,55	30,69	8,13	32,47	24,35	38,26	36,76
	Corpo d'água continental	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91
Cocal do Sul	Área urbana	2,95	4,58	3,04	3,51	4,14	4,72	5,52	7,17
	Mineração	0,01	0,07	0,00	0,01	0,02	0,07	0,04	0,00
	Agricultura	51,29	53,24	43,15	53,88	42,82	44,55	41,85	37,85
	Vegetação arbórea	43,38	37,96	45,66	38,40	45,16	43,49	47,97	46,43
	Duna	0,07	0,04	0,04	0,02	0,03	0,10	0,09	0,15
	Área descoberta	2,19	4,00	8,00	4,07	7,70	6,95	4,42	8,28
	Corpo d'água continental	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Criciúma	Área urbana	11,12	11,85	13,38	14,30	15,84	16,22	17,61	18,66
	Mineração	1,98	1,44	0,83	0,47	0,37	0,67	0,43	0,15
	Agricultura	55,08	55,25	39,61	56,90	41,29	43,58	39,33	32,02
	Vegetação arbórea	24,87	19,18	25,71	19,68	25,58	24,98	27,23	27,10
	Duna	0,08	0,06	0,08	0,02	0,08	0,07	0,16	0,20
	Área descoberta	6,60	11,95	20,13	8,36	16,56	14,20	14,98	21,60
	Corpo d'água continental	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Forquilhinha	Área urbana	0,70	1,15	1,38	1,56	3,09	2,43	2,77	3,51

	Mineração	1,76	1,43	0,96	1,00	0,78	1,01	0,86	0,36
	Agricultura	80,74	73,08	43,12	77,72	35,01	41,85	57,02	23,97
	Vegetação arbórea	8,62	10,95	7,72	8,97	6,84	6,13	8,72	7,40
	Duna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
	Área descoberta	7,33	12,54	45,96	9,91	53,43	47,74	29,79	63,90
	Corpo d'água continental	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Içara	**Área urbana**	1,65	3,08	2,71	3,43	4,80	4,88	5,81	7,22
	Mineração	0,28	0,20	0,10	0,06	0,01	0,16	0,06	0,02
	Agricultura	79,70	68,14	61,08	71,35	67,14	68,11	56,10	53,63
	Vegetação arbórea	12,20	8,89	12,20	9,59	11,53	9,18	12,09	12,85
	Duna	0,02	0,02	0,04	0,00	0,05	0,05	0,14	0,15
	Área descoberta	5,91	19,44	23,63	15,34	16,22	17,38	25,57	25,90
	Corpo d'água continental	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Lauro Müller	**Área urbana**	0,82	0,54	0,38	0,74	0,67	0,81	1,05	1,39
	Mineração	0,43	0,23	0,08	0,16	0,17	0,13	0,12	0,06
	Agricultura	39,04	42,22	31,48	42,40	29,92	30,43	27,64	28,01
	Vegetação arbórea	57,98	54,19	61,41	54,98	64,11	65,20	68,66	63,25
	Duna	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,04
	Área descoberta	1,26	2,36	6,20	1,26	4,65	2,97	2,05	6,78
	Corpo d'água continental	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Morro da Fumaça	**Área urbana**	2,84	4,08	3,28	3,53	6,60	7,87	6,70	9,24
	Mineração	0,03	0,08	0,01	0,01	0,01	0,14	0,02	0,01
	Agricultura	72,18	68,53	60,79	72,75	61,90	60,16	61,72	51,52
	Vegetação arbórea	18,79	15,14	19,75	14,14	20,30	16,75	20,68	20,13
	Duna	0,14	0,18	0,18	0,06	0,25	0,17	0,60	0,34
	Área descoberta	5,64	11,62	15,62	9,14	10,56	14,53	9,91	18,38
	Corpo d'água continental	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Nova Veneza	**Área urbana**	0,45	0,52	0,54	0,54	1,18	1,05	1,11	1,63
	Mineração	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,01

	Agricultura	51,06	49,34	29,22	48,76	26,19	28,65	37,14	17,85
	Vegetação arbórea	45,63	44,17	46,06	45,44	46,06	46,11	48,72	46,47
	Duna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Área descoberta	2,33	5,45	23,65	4,75	26,05	23,63	12,50	33,54
	Corpo d'água continental	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Orleans	**Área urbana**	0,48	0,39	0,43	0,50	0,58	0,59	0,77	1,05
	Mineração	0,05	0,06	0,01	0,02	0,01	0,11	0,01	0,01
	Agricultura	35,39	37,10	28,67	38,36	28,43	28,04	24,48	23,29
	Vegetação arbórea	61,87	59,92	66,88	59,55	67,50	68,22	72,23	66,92
	Duna	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,04
	Área descoberta	1,63	1,95	3,42	0,99	2,88	2,46	1,91	8,12
	Corpo d'água continental	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Siderópolis	**Área urbana**	0,96	0,70	0,80	1,11	0,94	1,16	1,32	1,72
	Mineração	1,19	1,00	0,54	0,36	0,46	0,22	0,26	0,12
	Agricultura	25,78	31,20	20,54	27,73	18,61	18,16	17,47	15,76
	Vegetação arbórea	69,20	63,53	70,98	68,03	74,22	75,41	77,01	74,74
	Duna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Área descoberta	0,70	1,42	4,97	0,62	3,61	2,89	1,78	5,49
	Corpo d'água continental	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
Treviso	**Área urbana**	0,66	0,21	0,20	0,26	0,40	0,33	0,49	0,56
	Mineração	1,30	0,75	0,46	0,50	0,16	0,37	0,18	0,03
	Agricultura	24,46	28,84	18,08	25,90	16,11	16,66	15,70	14,36
	Vegetação arbórea	72,56	68,80	76,10	72,62	78,65	79,16	81,57	78,30
	Duna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
	Área descoberta	0,65	1,02	4,78	0,35	4,31	3,11	1,68	6,35
	Corpo d'água continental	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Urussanga	**Área urbana**	1,36	1,07	1,10	1,06	1,33	1,32	1,59	2,00
	Mineração	0,82	0,49	0,25	0,38	0,49	0,36	0,24	0,10
	Agricultura	44,06	48,28	36,77	48,85	35,50	37,57	34,36	32,21

	Vegetação arbórea	52,00	46,70	54,64	47,89	56,57	55,55	60,45	56,13
	Duna	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,03	0,06	0,04
	Área descoberta	1,52	3,21	7,00	1,58	5,84	4,94	3,08	9,31
	Corpo d'água continental	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Total	**Área urbana**	2,15	2,32	2,41	2,70	3,33	3,45	3,75	4,40
	Mineração	0,67	0,49	0,27	0,24	0,21	0,30	0,18	0,07
	Agricultura	47,53	47,44	34,51	48,30	33,62	34,93	33,76	27,42
	Vegetação arbórea	45,62	42,42	47,81	43,29	48,72	48,57	51,71	48,90
	Duna	0,26	0,21	0,25	0,15	0,21	0,20	0,20	0,17
	Área descoberta	2,89	6,24	13,86	4,44	13,02	11,67	9,52	18,16
	Corpo d'água continental	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Fonte: Do autor (2018)

APÊNDICE E – TABELA DE SIGNIFICÂNCIA E CORRELAÇÃO DE PEARSON

Tabela 25 - Valores de significância e correlação de Pearson

		Área urbana	Mineração	Agricultura	Vegetação arbórea	Duna	Área descoberta	Corpo d'água continental	T. Mínima	T. Máxima	T. Média
Área urbana	Correlação de Pearson	1	-,808*	-,816*	,708*	-,573	,720*	.b	-,282	-,236	,094
	Sig. (2 extremidades)		,015	,014	,049	,138	,044	.	,499	,574	,824
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mineração	Correlação de Pearson	-,808*	1	,765*	-,572	,625	-,759*	.b	-,052	,225	-,175
	Sig. (2 extremidades)	,015		,027	,138	,098	,029	.	,903	,593	,679
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Agricultura	Correlação de Pearson	-,816*	,765*	1	-,852**	,112	-,942**	.b	,304	,660	,160
	Sig. (2 extremidades)	,014	,027		,007	,792	,000	.	,463	,075	,705
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Vegetação arbórea	Correlação de Pearson	,708*	-,572	-,852**	1	,063	,632	.b	-,209	-,450	-,040
	Sig. (2 extremidades)	,049	,138	,007		,881	,093	.	,619	,263	,926

	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Duna	Correlação de Pearson	-,573	,625	,112	,063	1	-,154	.[b]	-,059	-,379	-,364
	Sig. (2 extremidades)	,138	,098	,792	,881		,716	.	,890	,355	,375
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Área descoberta	Correlação de Pearson	,720*	-,759*	-,942**	,632	-,154	1	.[b]	-,301	-,722*	-,230
	Sig. (2 extremidades)	,044	,029	,000	,093	,716		.	,469	,043	,584
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Corpo d'água continental	Correlação de Pearson	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]	.[b]
	Sig. (2 extremidades)	.	.	.	.	.	.		.	.	.
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T. Mínima	Correlação de Pearson	-,282	-,052	,304	-,209	-,059	-,301	.[b]	1	,638	,707*
	Sig. (2 extremidades)	,499	,903	,463	,619	,890	,469	.		,089	,050
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T. Máxima	Correlação de Pearson	-,236	,225	,660	-,450	-,379	-,722*	.[b]	,638	1	,765*
	Sig. (2 extremidades)	,574	,593	,075	,263	,355	,043	.	,089		,027
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

T. Média	Correlação de Pearson	,094	-,175	,160	-,040	-,364	-,230	.[b]	,707*	,765*	1
	Sig. (2 extremidades)	,824	,679	,705	,926	,375	,584	.	,050	,027	
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Fonte: Do autor (2018)

*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

b. Não é possível calcular porque pelo menos uma das variáveis é constante.

ANEXO(S)

ANEXO A – ARQUIVO DE METADADOS DA IMAGEM DE 20 DE MARÇO DE 2000 (LANDSAT 7)

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501702123346_03157"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LE72200802000080AGS00"
    LANDSAT_PRODUCT_ID = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-02-12T23:14:59Z
    STATION_ID = "AGS"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_12.8.3"
    DATA_CATEGORY = "NOMINAL"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
    OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
    EPHEMERIS_TYPE = "DEFINITIVE"
    SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
    SENSOR_ID = "ETM"
    SENSOR_MODE = "SAM"
    WRS_PATH = 220
    WRS_ROW = 080
    DATE_ACQUIRED = 2000-03-20
    SCENE_CENTER_TIME = "13:04:44.3348747Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -27.91305
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = -50.73070
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -27.88684
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = -48.29902
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -29.83830
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = -50.72568
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -29.80993
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = -48.24883
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 526500.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3087600.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 765900.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3087600.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 526500.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3300900.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 765900.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3300900.000
    PANCHROMATIC_LINES = 14221
    PANCHROMATIC_SAMPLES = 15961
    REFLECTIVE_LINES = 7111
    REFLECTIVE_SAMPLES = 7981
    THERMAL_LINES = 7111
    THERMAL_SAMPLES = 7981
    FILE_NAME_BAND_1 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B1.TIF"
    FILE_NAME_BAND_2 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B2.TIF"
    FILE_NAME_BAND_3 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B3.TIF"
```

```
    FILE_NAME_BAND_4 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B4.TIF"
    FILE_NAME_BAND_5 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B5.TIF"
    FILE_NAME_BAND_6_VCID_1 =
"LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B6_VCID_1.TIF"
    FILE_NAME_BAND_6_VCID_2 =
"LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B6_VCID_2.TIF"
    FILE_NAME_BAND_7 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B7.TIF"
    FILE_NAME_BAND_8 = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_B8.TIF"
    FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_BQA.TIF"
    GROUND_CONTROL_POINT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_GCP.txt"
    ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_ANG.txt"
    METADATA_FILE_NAME = "LE07_L1TP_220080_20000320_20170212_01_T1_MTL.txt"
    CPF_NAME = "LE07CPF_20000101_20000331_01.02"
  END_GROUP = PRODUCT_METADATA
  GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
    CLOUD_COVER = 2.00
    CLOUD_COVER_LAND = 2.00
    IMAGE_QUALITY = 9
    SUN_AZIMUTH = 55.48632043
    SUN_ELEVATION = 45.64868792
    EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9960595
    SATURATION_BAND_1 = "Y"
    SATURATION_BAND_2 = "Y"
    SATURATION_BAND_3 = "Y"
    SATURATION_BAND_4 = "Y"
    SATURATION_BAND_5 = "Y"
    SATURATION_BAND_6_VCID_1 = "N"
    SATURATION_BAND_6_VCID_2 = "N"
    SATURATION_BAND_7 = "Y"
    SATURATION_BAND_8 = "N"
    GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
    GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 212
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 3.660
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 2.857
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 2.288
  END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
  GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 191.600
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -6.200
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 196.500
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -6.400
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 152.900
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -5.000
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 241.100
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -5.100
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 31.060
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -1.000
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_1 = 17.040
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_1 = 0.000
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6_VCID_2 = 12.650
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_6_VCID_2 = 3.200
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 10.800
```

```
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.350
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 243.100
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -4.700
  END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
  GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 0.293318
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.009491
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 0.329993
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.010748
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 0.312506
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.010219
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 0.701662
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.014842
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 0.436870
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.014065
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 0.413745
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.013408
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 0.574461
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.011106
  END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
  GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_1 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_1 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6_VCID_2 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6_VCID_2 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 255
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
  END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
    CORRECTION_GAIN_BAND_1 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_2 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_3 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_4 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_5 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_1 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_6_VCID_2 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_7 = "CPF"
    CORRECTION_GAIN_BAND_8 = "CPF"
    CORRECTION_BIAS_BAND_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
    CORRECTION_BIAS_BAND_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
    CORRECTION_BIAS_BAND_3 = "INTERNAL_CALIBRATION"
    CORRECTION_BIAS_BAND_4 = "INTERNAL_CALIBRATION"
    CORRECTION_BIAS_BAND_5 = "INTERNAL_CALIBRATION"
```

```
  CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_1 = "INTERNAL_CALIBRATION"
  CORRECTION_BIAS_BAND_6_VCID_2 = "INTERNAL_CALIBRATION"
  CORRECTION_BIAS_BAND_7 = "INTERNAL_CALIBRATION"
  CORRECTION_BIAS_BAND_8 = "INTERNAL_CALIBRATION"
  GAIN_BAND_1 = "H"
  GAIN_BAND_2 = "H"
  GAIN_BAND_3 = "H"
  GAIN_BAND_4 = "L"
  GAIN_BAND_5 = "H"
  GAIN_BAND_6_VCID_1 = "L"
  GAIN_BAND_6_VCID_2 = "H"
  GAIN_BAND_7 = "H"
  GAIN_BAND_8 = "L"
  GAIN_CHANGE_BAND_1 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_2 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_3 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_4 = "LL"
  GAIN_CHANGE_BAND_5 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_1 = "LL"
  GAIN_CHANGE_BAND_6_VCID_2 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_7 = "HH"
  GAIN_CHANGE_BAND_8 = "LL"
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_1 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_2 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_3 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_4 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_5 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_1 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_6_VCID_2 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_7 = 0
  GAIN_CHANGE_SCAN_BAND_8 = 0
END_GROUP = PRODUCT_PARAMETERS
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
  RADIANCE_MULT_BAND_1 = 7.7874E-01
  RADIANCE_MULT_BAND_2 = 7.9882E-01
  RADIANCE_MULT_BAND_3 = 6.2165E-01
  RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.6929E-01
  RADIANCE_MULT_BAND_5 = 1.2622E-01
  RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_1 = 6.7087E-02
  RADIANCE_MULT_BAND_6_VCID_2 = 3.7205E-02
  RADIANCE_MULT_BAND_7 = 4.3898E-02
  RADIANCE_MULT_BAND_8 = 9.7559E-01
  RADIANCE_ADD_BAND_1 = -6.97874
  RADIANCE_ADD_BAND_2 = -7.19882
  RADIANCE_ADD_BAND_3 = -5.62165
  RADIANCE_ADD_BAND_4 = -6.06929
  RADIANCE_ADD_BAND_5 = -1.12622
  RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_1 = -0.06709
  RADIANCE_ADD_BAND_6_VCID_2 = 3.16280
  RADIANCE_ADD_BAND_7 = -0.39390
  RADIANCE_ADD_BAND_8 = -5.67559
  REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 1.1922E-03
  REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 1.3415E-03
  REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 1.2706E-03
  REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.8209E-03
```

```
    REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.7753E-03
    REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 1.6817E-03
    REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.3054E-03
    REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.010684
    REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.012089
    REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.011490
    REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.017663
    REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.015841
    REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.015090
    REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.013412
  END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
  GROUP = THERMAL_CONSTANTS
    K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 666.09
    K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_1 = 1282.71
    K1_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 666.09
    K2_CONSTANT_BAND_6_VCID_2 = 1282.71
  END_GROUP = THERMAL_CONSTANTS
  GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
    MAP_PROJECTION = "UTM"
    DATUM = "WGS84"
    ELLIPSOID = "WGS84"
    UTM_ZONE = 22
    GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
    GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
    GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
    ORIENTATION = "NORTH_UP"
    RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
  END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

ANEXO B – ARQUIVO DE METADADOS DA IMAGEM DE 31 DE MARÇO DE 2013 (LANDSAT 8)

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501705050177_00019"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LC82200802013090LGN05"
    LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-05-05T13:48:41Z
    STATION_ID = "LGN"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.7.0"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
    OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
    SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
    SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
    WRS_PATH = 220
    WRS_ROW = 80
    NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
    TARGET_WRS_PATH = 220
    TARGET_WRS_ROW = 80
    DATE_ACQUIRED = 2013-03-31
    SCENE_CENTER_TIME = "13:12:49.5785130Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -27.87717
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = -50.49002
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -27.84954
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = -48.19337
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -29.88630
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = -50.48011
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -29.85630
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = -48.13892
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 550200.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3083700.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 776400.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3083700.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 550200.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3306300.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 776400.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -3306300.000
    PANCHROMATIC_LINES = 14841
    PANCHROMATIC_SAMPLES = 15081
    REFLECTIVE_LINES = 7421
    REFLECTIVE_SAMPLES = 7541
    THERMAL_LINES = 7421
    THERMAL_SAMPLES = 7541
```

```
    FILE_NAME_BAND_1 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B1.TIF"
    FILE_NAME_BAND_2 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B2.TIF"
    FILE_NAME_BAND_3 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B3.TIF"
    FILE_NAME_BAND_4 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B4.TIF"
    FILE_NAME_BAND_5 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B5.TIF"
    FILE_NAME_BAND_6 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B6.TIF"
    FILE_NAME_BAND_7 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B7.TIF"
    FILE_NAME_BAND_8 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B8.TIF"
    FILE_NAME_BAND_9 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B9.TIF"
    FILE_NAME_BAND_10 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B10.TIF"
    FILE_NAME_BAND_11 = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_B11.TIF"
    FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_BQA.TIF"
    ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_ANG.txt"
    METADATA_FILE_NAME = "LC08_L1TP_220080_20130331_20170505_01_T1_MTL.txt"
    CPF_NAME = "LC08CPF_20130101_20130331_01.01"
    BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20130331124804_20130331143920.01"
    BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20130331124410_20130331143526.01"
    RLUT_FILE_NAME = "LC08RLUT_20130211_20150302_01_11.h5"
  END_GROUP = PRODUCT_METADATA
  GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
    CLOUD_COVER = 5.33
    CLOUD_COVER_LAND = 8.73
    IMAGE_QUALITY_OLI = 9
    IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
    TIRS_SSM_MODEL = "ACTUAL"
    TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "NOMINAL"
    TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
    ROLL_ANGLE = -0.001
    SUN_AZIMUTH = 48.21285482
    SUN_ELEVATION = 44.65443890
    EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9990996
    SATURATION_BAND_1 = "N"
    SATURATION_BAND_2 = "N"
    SATURATION_BAND_3 = "N"
    SATURATION_BAND_4 = "N"
    SATURATION_BAND_5 = "N"
    SATURATION_BAND_6 = "N"
    SATURATION_BAND_7 = "Y"
    SATURATION_BAND_8 = "N"
    SATURATION_BAND_9 = "N"
    GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
    GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 215
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.103
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.157
    GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.885
    GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 71
    GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 4.771
    TRUNCATION_OLI = "UPPER"
  END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
  GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 761.43323
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.87941
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 779.71692
```

```
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -64.38927
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 718.50250
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -59.33417
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 605.88177
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -50.03391
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 370.76944
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.61826
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 92.20699
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.61448
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 31.07869
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.56649
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 685.69141
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -56.62462
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 144.90509
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.96631
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
    RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
    RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
  END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
  GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
    REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
    REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
  END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
  GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
```

```
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
    QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
    QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
  END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
  GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
    RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2578E-02
    RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2880E-02
    RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1869E-02
    RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0009E-02
    RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.1249E-03
    RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5232E-03
    RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.1340E-04
    RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1327E-02
    RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3937E-03
    RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
    RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
    RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.89198
    RADIANCE_ADD_BAND_2 = -64.40216
    RADIANCE_ADD_BAND_3 = -59.34604
    RADIANCE_ADD_BAND_4 = -50.04392
    RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.62438
    RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.61601
    RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.56700
    RADIANCE_ADD_BAND_8 = -56.63595
    RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.96870
    RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
    RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
    REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
    REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
    REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
  END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
  GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
    K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
    K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
    K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
```

```
    K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
  END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
  GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
    MAP_PROJECTION = "UTM"
    DATUM = "WGS84"
    ELLIPSOID = "WGS84"
    UTM_ZONE = 22
    GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
    GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
    GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
    ORIENTATION = "NORTH_UP"
    RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
  END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```