

Campus Calama
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

EDUARDO HAUCK ANTUNES

**A RELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E O CONFORTO
TÉRMICO: UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE PORTO VELHO, 1985 A 2024**

PORTO VELHO - RO

2025

EDUARDO HAUCK ANTUNES

**A RELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E O CONFORTO
TÉRMICO: UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE PORTO VELHO, 1985 A 2024**

Monografia entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia *Campus* Calama como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação da Prof.^a Dra. Graziela Tosini Tejas e Co-orientação do Prof. Dr. Reginaldo Martins da Silva de Souza.

PORTO VELHO - RO

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Antunes, Eduardo Hauck.

A relação entre o processo de urbanização e o conforto térmico:
um estudo de caso da cidade de Porto Velho, 1985 a 2024 / Eduardo
Hauck Antunes. - Porto Velho, 2025.

72 f. : il.

Orientador(a): Prof.^a Dra. Graziela Tosini Tejas.

Coorientador(a): Prof. Dr. Reginaldo Martins da Silva de Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Rondônia - IFRO, Porto Velho, 2025.

1. Bioclimatologia. 2. Clima urbano. 3. Geotecnologias. 4.
Sensoriamento Remoto. 5. Amazônia sul-ocidental. I. Tejas, Graziela
Tosini (orient.). II. Souza, Reginaldo Martins da Silva de (coorient.). III.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia -
IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Miria Santana Veiga, CRB-11/898



ATA DE DEFESA DE TCC

IDENTIFICAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
Orientador (a): Graziela Tosini Tejas	
Coorientador (a): Reginaldo Martins da Silva de Souza	
Aluno (a): Eduardo Hauck Antunes	Matrícula: 2020104085016-1
Título do trabalho: A RELAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E O CONFORTO TÉRMICO: UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE PORTO VELHO, 1985 A 2024.	
Data: 02/12/2025 às 17h	Local: Miniauditório - IFRO, Campus Porto Velho Calama

COMISSÃO EXAMINADORA	
Nome	Função
Frédi Rodrigues Ramos da Silva	Membro Interno
Maria Cristina Cellupi	Membro Externo

RESULTADO

A comissão examinadora, em 02 de dezembro de 2025, após defesa e arguição de Trabalho de Conclusão de Curso do aluno (a) Eduardo Hauck Antunes:

() Aprovação com média de _____ pontos, que é a média das notas dos avaliadores, e não precisará cumprir adequação de trabalho;

(X) Aprovação com média de 100 pontos, que é a média das notas dos avaliadores, e precisará fazer reformulações orientadas pela banca examinadora e só será considerado aprovado após o envio da versão final reformulada;

() Insuficiência de resultados para aprovação, com média de _____ pontos, que é a média das notas dos avaliadores.

Nós, membros da BANCA EXAMINADORA e aluno (a), lavramos a presente ata, que abaixo assinamos.

Professor

Orientador(a): Graziela Tosini Tejas

Coorientador(a): Reginaldo M. S. Souza

Avaliador(a) Interno: Frédi Rodrigues R. da Silva

Avaliador(a) Externo: Maria Cristina Cellupi

Aluno (a): Eduardo Hauck Antunes

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR (A): Eduardo Hauck Antunes

TÍTULO: A relação entre o processo de urbanização e o conforto térmico: Um estudo de caso da cidade de Porto Velho, 1985 a 2024.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2025

É concedida ao Instituto Federal de Rondônia permissão para reproduzir cópias desta monografia, para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzido sem autorização por escrito do autor. O autor também assume a responsabilidade integral sobre o conteúdo inserido no trabalho como sendo de autoria própria e responderá a quaisquer processos sobre plágio, ficando o Instituto Federal de Rondônia isento de tais responsabilidades.

Eduardo Hauck Antunes

Nome do discente: Eduardo Hauck Antunes

Contato do discente: eduardohauck02@gmail.com

*“Eu já estou com o pé nessa estrada
Qualquer dia a gente se vê
Sei que nada será como antes
amanhã”*

Clube da Esquina

AGRADECIMENTOS

GOSTARIA DE AGRADECER IMENSAMENTE À MINHA FAMÍLIA, PRINCIPALMENTE AOS MEUS PAIS, ASSIS VELLOSO ANTUNES E DENISE DO CARMO SILVA ANTUNES, QUE, COM PROFUNDO, SINCERO E IMENSURÁVEL AMOR, ME PRESTARAM TODO O APOIO NECESSÁRIO E FORAM CAPAZES DE ME PROVER TODAS AS CONDIÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DESTE TRABALHO, BEM COMO TODAS AS OUTRAS ETAPAS DA MINHA GRADUAÇÃO.

ALÉM DISSO, GOSTARIA DE AGRADECER A TODOS OS MEUS COLEGAS DE TRABALHO, ESPECIALMENTE AO MEU SUPERVISOR HENRIQUE BERNINI DURANTE O PERÍODO DE ESTÁGIO NO CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (CENSIPAM), QUE TIVERAM PAPEL CRUCIAL NA FORMAÇÃO DO MEU PERFIL ACADÊMICO E PROFISSIONAL.

AGRADEÇO À MINHA ORIENTADORA GRAZIELA TOSINI TEJAS E AO MEU CO-ORIENTADOR REGINALDO MARTINS DA SILVA DE SOUZA TEJAS QUE ME ACOLHERAM COMO ORIENTANDO E ME INSERIRAM NO GRUPO DE ESTUDOS SAÚDE, SOCIEDADE E TECNOLOGIA (GESSTEC), E EXERCERAM PAPEL FUNDAMENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DAS BASES TEÓRICAS E DO CONHECIMENTO TÉCNICO PARA A REALIZAÇÃO DO PRESENTE TRABALHO.

AGRADEÇO, AINDA, AO INSTITUTO FEDERAL DE RONDÔNIA (IFRO) CAMPUS CALAMA, POR DISPONIBILIZAR O ACESSO À INFRAESTRUTURA E CORPO DOCENTE DURANTE O MEU PROCESSO DE FORMAÇÃO COMO ENGENHEIRO CIVIL E PELO FORNECIMENTO DA BOLSA DO PROJETO DE PESQUISA QUE SERVIU DE BASE PARA O PRESENTE TRABALHO.

POR FIM, AGRADEÇO AOS SINCEROS AMIGOS QUE FIZ DURANTE A GRADUAÇÃO, QUE ESTIVERAM AO MEU LADO AO LONGO DESSA JORNADA. ESSAS AMIZADES FORAM DETERMINANTES PARA QUE EU MANTIVESSE A MOTIVAÇÃO E SUPERASSE OS INÚMEROS DESAFIOS NESSES ANOS.

RESUMO

A urbanização acelerada, associada aos processos de ocupação e expansão urbana de Porto Velho, induziram profundas mudanças de uso e ocupação no solo, afetando diretamente o Sistema Clima Urbano (SCU), sobretudo pelo agravamento das ilhas de calor urbana (ICU) e diminuição do conforto térmico humano. O presente trabalho objetivou avaliar o grau de desconforto térmico no período compreendido entre 1985 e 2024. Utilizou-se a técnica do sensoriamento remoto com imagens do satélite Landsat-5, sensor TM, e Landsat-8, sensores OLI e TIRS. Para o mapeamento do uso e ocupação aplicou-se a técnica de classificação supervisionada, por meio de plugins específicos no QGIS. A análise do conforto térmico fundamentou-se no Índice de Desconforto de Kawamura (IDK), calculado por meio do Google Earth Engine. Os resultados apontam aumento de 41,5% na área urbana e uma redução das áreas de vegetação rala/solo exposto (-27,8%) e vegetação densa (-17,1%) na área de estudo. Constatou-se, ainda, incremento de 7,78°C na temperatura de superfície média. Em relação ao IDK, no ano de 2024 mais de 90% da área de estudo foi classificada como zona de estresse devido ao calor, em contraste com 1985, quando 85,33% da cidade de Porto Velho apresentou condições de conforto térmico. Portanto, os resultados evidenciam que o processo de urbanização exerceu impacto significativo sobre o conforto térmico na cidade portovelhense, confirmando a correlação entre o processo de ocupação e expansão urbana no aumento do desconforto térmico ao longo das últimas décadas.

Palavras-chave: Bioclimatologia. Clima urbano. Geotecnologias. Sensoriamento Remoto. Amazônia sul-ocidental.

ABSTRACT

The accelerated urbanization, associated with the processes of land occupation and urban expansion in Porto Velho, has induced profound changes in land use and land cover, directly affecting the Urban Climate System (UCS), especially through the intensification of Urban Heat Islands (UHIs) and the reduction of human thermal comfort. This study aimed to evaluate the degree of thermal discomfort during the period between 1985 and 2024. Remote sensing techniques were employed using images from the Landsat-5 TM sensor and the Landsat-8 OLI and TIRS sensors. For land-use and land-cover mapping, a supervised classification technique was applied using specific plugins in QGIS. The thermal comfort analysis was based on the Kawamura Discomfort Index (KDI), calculated through Google Earth Engine. The results indicate a 41.5% increase in urban area and a reduction in sparse vegetation/exposed soil (-27.8%) and dense vegetation (-17.1%) within the study area. Additionally, an increase of 7.78 °C in the mean surface temperature was observed. Regarding the KDI, in 2024 more than 90% of the study area was classified as a heat-stress zone, in contrast with 1985, when 85.33% of the city of Porto Velho presented thermal comfort conditions. Therefore, the results demonstrate that the urbanization process has exerted a significant impact on thermal comfort in Porto Velho, confirming the correlation between land-occupation and urban-expansion processes and the increase in thermal discomfort over the past decades.

Keywords: Bioclimatology. Urban climate. Geotechnologies. Remote Sensing. Southwestern Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro eletromagnético.	23
Figura 2 – Fluxograma das etapas de processamento dos dados geográficos.	28
Figura 3 – Mapa de localização da cidade de Porto Velho.	29
Figura 4 – Mapas de uso e ocupação do solo nos anos de (a) 1985 e (b) 2024 e gráficos de proporção de área (c, d, e).	35
Figura 5 – Temperatura de superfície nos anos de (a) 1995, (b) 2010 e (c) 2024.	36
Figura 6 – Diferença de temperatura de superfície entre os anos (a) 1995 e 1985, (b) 2010 e 2000 e (c) 2024 e 2015.	36
Figura 7 – Mapa do IDK do perímetro urbano de Porto Velho.	39
Figura 8 – Proporção de áreas classificadas por ano.	40
Figura 9 – Valores médios de IDK por bairro.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos e médios de temperatura de superfície para os anos de 1995, 2010 e 2024. 37

Tabela 2 – Diferenças entre mínimas, máximas e médias de temperatura de superfície entre os anos 1995-1985, 2010-2000 e 2024-2015. 37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores de IDK e suas respectivas sensações.	22
Quadro 2 - Informações sobre as imagens utilizadas.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Fator aditivo reescalonado da radiância
Ap	Fator aditivo reescalonado da reflectância
APP	Áreas de Preservação Permanente
d	Distância entre o sol e a Terra
Eq'cam	Equatorial Semiúmido Amazônico Central
Esun	Irradiância solar estratosférica média
eo	Pressão parcial do vapor d'água quando a temperatura do ar for 0°C
GEE	Google Earth Engine
GPI	Grandes Projetos de Investimento
IC	Índice de Calor
ID	Índice de Desconforto
IDK	Índice de Desconforto de Kawamura
ITE	Índice de Temperatura Efetiva
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IHS	Intensity-Hue-Saturation
K1	Constante de conversão térmica 1
K2	Constante de conversão térmica 2
km ²	Quilômetros quadrados
Ml	Fator multiplicativo reescalonado da radiância
Mp	Fator multiplicativo reescalonado da reflectância
MSS	Multispectral Scanner System - Sistema de escaneamento multiespectral
ND	Número Digital
NDmax	Valor máximo do número digital
NIR	Infravermelho Próximo
OLI	Operational Land Imager - Imageador operacional da terra
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
Planafloro	Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia

Pv	Pressão parcial do vapor d'água
QGIS	Quantum GIS
Ref	Reflectância
SCP	Semi-automatic classification plugin - Plugin de Classificação Semi-automática
SCU	Sistema Clima Urbano
SIG/GIS	Sistema de Informação Geográfica
ST	Série temporal
SWIR	Infravermelho de Ondas Curtas
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
Td	Temperatura de Orvalho
TE	Temperatura Efetiva
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
TMA	Temperatura média do ar
TST	Temperatura de superfície terrestre
TS	Temperatura de Superfície
UTCI	Índice de Conforto Térmico Universal
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
VISNIR	Visível e infravermelho próximo
WFS	Web Feature Service - Serviço Web de Feições

LISTA DE SÍMBOLOS

π	Pi
$L\lambda$	Radiância espectral no topo da atmosfera
$L\lambda_{\max}$	Radiância máxima espectral no topo da atmosfera
$L\lambda_{\min}$	Radiância mínima espectral no topo da atmosfera
θ_s	Ângulo de elevação solar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 CLIMATOLOGIA.....	19
2.1.1 Elementos climáticos.....	19
2.1.2 Fatores climáticos.....	19
2.2 CLIMA URBANO.....	20
2.3 CONFORTO TÉRMICO.....	21
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO.....	22
2.4.1 Energia e sensores remotos.....	23
2.4.2 Resolução espacial e temporal.....	24
2.4.3 Resolução espectral.....	24
2.4.4 Resolução Radiométrica.....	24
2.4.5 Processamento digital de imagens.....	24
2.4.6 A série Landsat.....	26
2.4.7 Geotecnologias.....	26
2.5 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE PORTO VELHO.....	27
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 MÉTODO DE ANÁLISE.....	28
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.3 TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	30
3.4 CORREÇÃO DAS IMAGENS.....	31
3.5 DETERMINAÇÃO DO USO E COBERTURA.....	32
3.6 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.....	33
3.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESCONFORTO DE KAWAMURA.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 MUDANÇA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	34
4.2 ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE.....	36
4.3 ANÁLISE DO DESCONFORTO TÉRMICO.....	38
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE A - Script utilizado no processamento digital de imagens em ambiente GEE para o Landsat-5.....	51
APÊNDICE B - Script utilizado no processamento digital de imagens em ambiente GEE para o Landsat-8.....	63

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o processo de urbanização intenso e acelerado ocorreu a partir da metade do século XX, contribuindo para a segregação sócio-espacial. A falta de planejamento urbano adequado, aliado a excessiva impermeabilização do solo, remoção de áreas verdes para implementação de construções e proliferação de assentamentos, teve como consequência graves problemas ambientais, tais como poluição do ar, do solo, da água, excesso de resíduos sólidos, bem como a alteração no clima das cidades (Gomes e Lamberts, 2009).

A criação do Estatuto da Cidade, instituído pela Lei Federal n.º 10.257 de 2001 (Brasil, 2001) teve como proposta de política urbana a elaboração de planos diretores em cidades com mais de 20 mil habitantes. Entretanto, em muitos casos, o planejamento deu-se com caráter tecnocrático, buscando promover crescimento urbano através de diretrizes de zoneamento, desconsiderando o caráter socioambiental da ocupação nas cidades (Gomes e Lamberts, 2019). A medida, aliada à ação dos especuladores imobiliários, provocou a periferização da população mais fragilizada. Este “padrão periférico do crescimento urbano” resultou no crescimento intensivo das áreas centrais e extensivas das periferias (Campos Filho, 1989; Rolnik, 2001; Denaldi e Ferrara, 2018).

Em Porto Velho, capital de Rondônia, segundo dados da Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEMPOG, 2022) a mancha urbana de Porto Velho aumentou de 18,52 km² para 133,96 km² entre os anos de 1976 a 2019, constituindo crescimento acelerado de mais de 620%. Entretanto, desde a gênese do município, constituído inicialmente ainda com a nomeação de vila, o núcleo urbano é instalado de forma informal. O processo de ocupação deu-se de maneira espontânea decorrente dos fluxos migratórios e da implantação de Grandes Projetos de Investimento (GPI's) e projetos estruturantes dirigidos pelo Estado através de programas estratégicos, como o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC (Fonseca, 2017; Montenegro e Ribeiro, 2019).

Fonseca (2017) ainda destaca que o crescimento das áreas periféricas e periurbanas de Porto Velho não foi dotado de prévia consolidação e provisão de equipamentos e serviços públicos. A administração dos recursos de investimento urbano, dependendo das estratégias locais, tem a tendência de gerar aumento da ocupação espontânea e urbanização precária. Este processo refletiu-se no surgimento de loteamentos irregulares e ocupações subnormais.

As transformações interferem diretamente no clima urbano, que é o estudo que abrange o sistema climático terrestre e sua urbanização (Monteiro, 1976 e 2015). A partir da

substituição da superfície natural por edificações, aumento da impermeabilização do solo por materiais de construção e aumento da temperatura do ar, observa-se o fenômeno de ilha de calor urbana, com o aumento da temperatura urbana em relação a localidades adjacentes. Essas mudanças na cobertura do solo de superfícies naturais para infraestruturas destinadas a alojar o acelerado e desordenado crescimento urbano e populacional causam efeito significativo em relação ao conforto térmico (Oke, 1978; Alves, 2010; Nichi, Fassina e Soeira, 2024).

Os estudos de conforto térmico urbano são de suma importância no que tange a saúde e bem estar da população. O estudo de Sobral (2005), aponta que foi possível estabelecer relação entre a intensidade das ilhas de calor urbana e taxas anuais de doenças cardiovasculares e respiratórias, especialmente em zonas tropicais. Além disso, como destacado por Lamberts (2016), dentro das edificações, o conforto térmico está diretamente ligado à economia de energia, desempenho de atividades e produtividade.

Diante disso, torna-se fundamental desenvolver estudos com embasamento técnico e científico, a fim de compreender a dinâmica do conforto térmico em contextos urbanos, subsidiando políticas públicas voltadas ao planejamento urbano sustentável e à mitigação dos efeitos das ilhas de calor. Deste modo, a pesquisa em apreço procurou compreender o grau de desconforto térmico da cidade de Porto Velho, entre os anos de 1985 e 2024.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é avaliar a variação do desconforto térmico da cidade de Porto Velho, entre os anos de 1985 e 2024.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Gerar dados e mapas de uso e ocupação do solo da cidade de Porto Velho de 1985 a 2024;
- b) Espacializar a temperatura de superfície da cidade de Porto Velho de 1985 a 2024;
- c) Classificar o Índice de Desconforto Térmico de Kawamura (IDK) na zona urbana de Porto Velho de 1985 a 2024;
- d) Analisar quantitativamente e qualitativamente as mudanças de uso e ocupação do solo e seu impacto no conforto térmico a partir do IDK.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordados os referenciais teóricos que serviram de fundamentação para o desenvolvimento da pesquisa e dividem-se entre as seguintes subseções: Climatologia, Clima urbano, Conforto térmico, Sensoriamento remoto e o processo de urbanização de Porto Velho. Cada uma dessas temáticas contribuiu para a compreensão dos elementos conceituais e empíricos que sustentaram a análise do conforto térmico urbano na cidade de Porto Velho.

2.1 CLIMATOLOGIA

A climatologia é o estudo do clima, que pode ser definido como o resultado de um processo complexo que envolve a atmosfera, o oceano, as superfícies sólidas (vegetadas ou não), o gelo, a neve, e apresenta uma enorme variabilidade no espaço e no tempo. Assim como todos os demais sistemas da natureza, ele está em constante e permanente transformação, decorrente do efeito antropogênico, ou simplesmente da própria dinâmica do planeta Terra (Conti, 1998; Fonseca, G. et al., 2007). O resultado dinâmico atribui aos elementos climáticos a qualidade de definir e fornecer os componentes do clima, e aos fatores climáticos a qualidade de condicionar, determinar e dar origem ao clima (Barbirato, Souza e Torres, 2007).

2.1.1 Elementos climáticos

Os elementos climáticos fundamentais para a análise do clima são: a temperatura do ar, a umidade, a radiação, o vento e a precipitação (Barbirato, 2007). A temperatura do ar é o resultado do aquecimento e resfriamento indireto da superfície, a partir do grau de agitação das partículas. A umidade descreve a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e demarca a origem de todas as formas de precipitação e condensação. Radiação é a energia solar que atinge a terra através de ondas eletromagnéticas. O vento consiste no movimento das massas de ar originadas a partir da diferença de pressão atmosférica, definida pelo peso do ar em determinada área. A precipitação consiste na disposição da água, em qualquer estado físico, da atmosfera para a superfície terrestre.

2.1.2 Fatores climáticos

Dentre os principais fatores climáticos que promove variações no clima destacam-se: a latitude, responsável por controlar o volume de insolação que um determinado lugar recebe; a altitude em relação ao nível do mar, tendo influência direta na temperatura do ar; os revestimentos do solo que podem ser corpos d'águas, vegetação ou revestimentos artificiais

de urbanização, produzindo implicações climáticas em escala local. Outro importante fator climático de ordem macroclimática, ou até mesoclimática, é a topografia, que influencia na redução da temperatura pelas mudanças na elevação e orientação do sítio, devido à diferença de radiação solar incidente (Barbirato; Souza; Torres 2007).

Os elementos climáticos sofrem influência do ambiente urbano, assim ressalta-se: a pressão atmosférica e sua definição é o peso de uma coluna de ar posicionada verticalmente acima de uma área horizontal (Sonnemaker, 2007). Além disso, esse elemento climático sofre variações de acordo com a temperatura, densidade, altitude, umidade, período do dia (variação), latitude e condições meteorológicas; a temperatura significa a agitação das partículas de um corpo e a temperatura do ar é o resultado do aquecimento e resfriamento da superfície da terra; a umidade é o termo mais usual para caracterizar a presença de vapor d'água na atmosfera fornecido principalmente pela evaporação, essa componente tem forte influência no tempo e no clima por dar origem a precipitação e absorção da radiação solar promovendo o fator de sensação térmica.

A umidade relativa do ar comumente utilizada é o grau de saturação do ar (%). Ela é inversamente proporcional à temperatura do ar, pois é esta quem controla o teor de umidade máxima presente em um volume de ar. A precipitação é originada por meio do processo de evaporação, sofrendo variação no ambiente urbano como ocorrência para o maior acúmulo em relação ao campo e, por outra, a redução da evapotranspiração devido à menor proporção de áreas verdes e corpos d'águas. Fisch; Marengo e Nobre (1996, p.24) destacam que:

A precipitação é um dos elementos climáticos mais importantes a ser analisado na região tropical, pois induz as características e o comportamento dos outros, tais como temperatura, umidade relativa, ventos etc. Entretanto, a despeito da simplicidade de sua medida, é uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de ser medida, uma vez que possui erros instrumentais, de exposição e mesmo de localização.

2.2 CLIMA URBANO

Os estudos de clima urbano originam-se a partir da percepção humana do contraste entre as atmosferas do campo e das cidades. Gartland (2010) afirma que os primeiros estudos documentados sobre clima urbano foram realizados por Luke Howard em 1818, na cidade de Londres, no qual detectou um “excesso de calor artificial” no ambiente urbano, em comparação com o meio rural. A partir do desenvolvimento bibliográfico atingiu-se um estágio de caracterização dos aspectos fundamentais do clima urbano, sendo elencados por Landsberg (1956), Monteiro (1975) e Oke (1978).

Essas bibliografias são base para diversos estudos contemporâneos em relação aos aspectos climáticos das cidades (Caputo e Amorim, 2021; Fialho, Fernandes e Correia, 2021; Ferreira e Júnior, 2022; Damasceno e Martins, 2025). Os aspectos fundamentais supracitados são:

- a) O clima urbano é uma modificação substancial de um clima local;
- b) Admite-se que o desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição;
- c) A cidade modifica o clima através de alterações em superfícies, aumentando o calor por modificações na ventilação, umidade, precipitações e composição da atmosfera.

Assim, Monteiro (1976 e 2015) explica que o estudo do clima urbano de um dado espaço terrestre e sua urbanização funciona como um sistema aberto, singular e que abrange um clima local (fato natural) e a cidade (fato social), denominado de Sistema Clima Urbano (SCU). A visão sistêmica do clima urbano, proposta por Monteiro (1976 e 2015), é oriunda da Teoria Geral dos Sistemas de *Bertalanfy*, no qual explica que a teoria sistêmica está sob a perspectiva organísmica, no sentido de compreender o funcionamento, o desempenho e a organização.

Dentro do ambiente do clima urbano, é possível observar o surgimento de ilhas de calor urbana, onde têm-se zonas citadinas com temperaturas elevadas em relação a locais adjacentes. Elas são originadas pela mudança de ocupação para o solo urbano. O fenômeno está intrinsecamente ligado ao excesso de materiais de construção civil, associado a localidades com pouca ou nenhuma área verde (Coltri, 2009; Nascimento, 2009). Dentre os principais materiais que constituem a superfície urbana e contribuem para a intensificação do fenômeno destacam-se aqueles de cor escura, como o asfalto, e materiais de cobertura de baixa qualidade, como fibrocimento, amianto e zinco (Coltri, 2009; Lima; Galvani; Vasconcelos, 2023).

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico envolve a condição mental e a satisfação do indivíduo, considerando sua subjetividade, em relação ao ambiente térmico em que este se encontra (Fanger, 1970; Roriz, 2003). A definição de uma condição de conforto térmico não é absoluta, portanto deve ser o mais abrangente possível em relação aos usuários de determinado ambiente (Lamberts, 2016).

Com isso, a fim de quantificar o conforto térmico buscou-se a criação de índices, considerando diversos fatores distintos que variam dependendo do autor e do foco de estudo. Dentre os estudos pioneiros destaca-se o Índice de Desconforto (ID), desenvolvido por Thom (1959). O propósito da criação do índice surge a partir da necessidade de uniformizar um parâmetro para a estimativa do custo de eletricidade em dispositivos de condicionamento de ar, uma vez que diversas empresas de serviços públicos adotavam parâmetros distintos.

O autor destaca que a Temperatura Efetiva (TE), apesar de ser considerada como uma efetiva maneira de descrever o conforto térmico humano no fito de estimar a necessidade de condicionamento de ar, possuía dificuldades em ser mensuradas precisamente. Considerando esses passivos, é desenvolvido o ID, que depende das leituras de temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU), e é descrita a partir da Equação 2.1, adaptada para medidas em graus Celsius (°C).

$$ID = 0,72 * [TBS + TBU] + 40,6 \quad (2.1)$$

Com a finalidade de tornar ainda mais prática e efetiva a avaliação do conforto térmico, a partir do ID, foi elaborado o Índice de Desconforto de Kawamura - IDK (Ono e Kawamura, 1991). Conforme Mendonça et al. (2020), o IDK se mostra apropriado para análises em regiões tropicais, especialmente zonas de monções, como o sul-amazônico. O índice utiliza a temperatura de superfície e de orvalho para classificar o desconforto térmico, variando entre estresse devido ao calor e ao frio, de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Valores de IDK e suas respectivas sensações.

Valores de IDK	Sensação Térmica
IDK ≥ 80	Estresse devido ao calor (EC)
75 ≤ IDK < 80	Desconforto devido ao calor (DC)
60 ≤ IDK < 75	Confortável (CO)
55 ≤ IDK < 60	Desconforto devido ao frio (DF)
55 < IDK	Estresse devido ao frio (EF)

Fonte: Adaptado de Ono e Kawamura (1991).

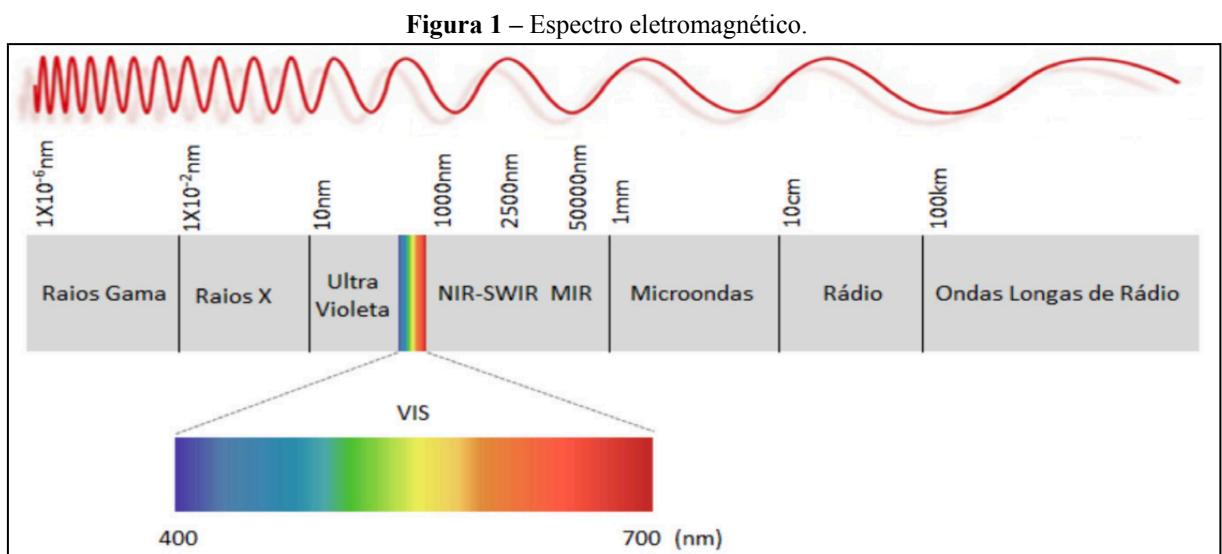
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é definido como o conjunto de técnicas que permitem a obtenção de dados na superfície terrestre (Moraes, 2002). Em relação aos sensores ópticos, estes dados referem-se a energia (ou radiação) eletromagnética emitida ou refletida pelo objeto de estudo. Com isso, as atividades abrangem a detecção, aquisição e análise dessas

informações. O autor ainda complementa que desde 1972, com o lançamento dos primeiros satélites orbitais, o sensoriamento remoto se mostrou como uma excelente ferramenta para o levantamento e reconhecimento do solo.

2.4.1 Energia e sensores remotos

A obtenção de dados em sensoriamento remoto depende fundamentalmente da detecção da energia, seja ela emitida ou refletida pelo alvo. A energia neste caso é a radiação eletromagnética que, ao se propagarem em ondas, possuem determinada velocidade (m/s), frequência (hz) e comprimento (m). Assim, o espectro eletromagnético é dividido em diferentes regiões dependendo do comprimento e frequência das ondas, conforme a Figura 1.



Fonte: Ten Caten (2021).

Há distinção, entretanto, quanto a fonte de energia detectada. Quando o sol atua como fonte de radiação, os sensores detectam a energia refletida pelos objetos. Em contrapartida, quando a Terra atua como fonte de energia os sensores detectam a energia emitida pelos objetos que nela se encontram e a detecção ocorre na faixa de espectro termal. Além disso, existem sensores que produzem sua própria energia, que é o caso dos radares (Florenzano, 2007).

Na superfície terrestre, cada alvo característico irá interagir de maneira distinta de acordo com o espectro eletromagnético. Alvos como a vegetação refletem uma proporção maior de onda emitidas no infravermelho próximo se comparado à faixa do visível. Essa distinção é importante pelo fato de que, quando têm-se como objetivo o destaque de determinado objeto, utiliza-se regiões do espectro eletromagnético onde a reflectância (proporção de energia refletida) é maior.

2.4.2 Resolução espacial e temporal

A resolução espacial de um sensor diz respeito à sua capacidade de distinguir objetos no espaço. Quanto menor a resolução espacial, em unidades métricas, será possível discriminar objetos menores. Já a resolução temporal, também chamada de tempo de revisita, diz respeito à frequência em que uma imagem, na mesma localização, será obtida (Florenzano, 2007).

2.4.3 Resolução espectral

Já a resolução espectral, é o número e a dimensão de intervalos de comprimentos de ondas específicos, descrevendo a capacidade de um sensor de ser sensível a diferentes faixas do espectro eletromagnético. Se a faixa espectral for mais estreita, maior é a possibilidade de um sensor distinguir variações de energia refletida pelo objeto. Geralmente, se um sensor possuir mais canais (ou bandas), maior a faixa que este imageia e, conseqüentemente, maior sua resolução espectral (Jensen, 2009).

2.4.4 Resolução Radiométrica

Por fim, a resolução radiométrica descreve a capacidade de discriminar os dados obtidos a partir da intensidade da energia refletida ou emitida. Essa discriminação é reproduzida em escala de cinza. Portanto, quanto mais tons forem possíveis de ser reproduzidos para cada canal, maior a resolução radiométrica.

A resolução radiométrica é dada em bits e, a partir desse valor, utilizando um conversor analógico digital, determina-se o Número Digital (ND) dos pixels, que representa a escala de cinza em cada uma das bandas. A escala de resolução de ND é dada em números naturais e a sua faixa é dada a partir da Equação 2.1, onde “N” representa o número possível de tons de cinza e “n” o número de bits do sensor. Entretanto, estes dados brutos dos sensores precisam ser pré-processados com o intuito de obter os valores de reflectância ou radiância física (Jensen, 2009).

$$N = 2^n \quad (2.2)$$

2.4.5 Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens consiste em operações ou transformações numéricas para diversas finalidades. Este processo é fundamental para a realização de uma análise espacial assertiva, evitando a perda de informações e erros. Em sensoriamento, as principais etapas do processamento digital de imagens são: pré-processamento, realce, segmentação e classificação (Florenzano, 2007).

O pré-processamento das imagens é o tratamento preliminar com o intuito de realizar o georreferenciamento adequado e as correções radiométricas. Nessa etapa, é importante que não haja modificação substancial nos dados de origem. O georreferenciamento busca atrelar com a maior precisão possível cada píxel da imagem com sua respectiva localização no espaço sobre o elipsoide de revolução enquanto as correções. Já a calibração radiométrica tem a intenção de remover ruídos (erros) introduzidos pelo sistema sensor ou pelo ambiente (Jensen, 2005).

O realce tem como objetivo aumentar a qualidade visual das imagens a fim de melhorar a interpretação dos dados. Dentre as principais técnicas de realce utilizadas em sensoriamento remoto é possível destacar: ampliação linear do contraste, operações aritméticas e algébricas, transformação por componentes principais, transformação por Intensity-Hue-Saturation (IHS), filtragem espacial, geração de composições coloridas e integração de dados (Florenzano, 2007).

A segmentação é uma técnica computacional que permite a distinção de regiões espectralmente homogêneas. Este procedimento pode ser feito a fim de obter as amostras que serão utilizadas na classificação. Na aplicação da segmentação podem ser definidos 2 limiares: a similaridade e as áreas (máximas e mínimas). A similaridade diz respeito ao quão próximo os valores de píxels serão no processo de distinção, ou seja, quanto maior o valor de similaridade, mais próximos os valores dos agrupados píxels serão. Já as áreas dizem respeito ao tamanho máximo e mínimo dos agrupamentos (Florenzano, 2007).

A classificação de imagens permite a atribuição de significado a um píxel em função da sua propriedade numérica. Dependendo dos alvos a serem analisados existem respostas espectrais diferentes. A partir dessa distinção é possível agrupar e caracterizar/rotular os valores em grupos. Na classificação não supervisionada os píxels são alocados em classes sem que o analista tenha conhecimento, a fim de agrupá-las e obter o comportamento espectral dos alvos. Já a classificação supervisionada se baseia, a partir de um conhecimento do comportamento espectral dos alvos, na determinação de amostras para a distinção das classes (Novo, 2008).

Conforme Novo (2001, p. 293):

Dentre os aspectos fundamentais a serem avaliados pelo analista na classificação supervisionada destacam-se: 1) a escolha do melhor conjunto de bandas espectrais para o objeto de interesse; 2) a localização precisa de áreas de “treinamento”; 3) a determinação do relacionamento entre o tipo de objeto e o nível digital das bandas escolhidas; 4) a extrapolação desse relacionamento para toda a cena; 5) a avaliação da precisão da classificação realizada.

2.4.6 A série Landsat

A série Landsat, que se estende de 1972 até a atualidade, foi e continua sendo determinante para os avanços do sensoriamento remoto como um todo. Com mais de 50 anos de dados, o projeto contribuiu diretamente no desenvolvimento de inúmeras pesquisas, especialmente em relação ao impacto das ações antropogênicas no meio ambiente e no clima (Wulder et al., 2022).

Um grande marco em relação aos sensores remotos em órbita terrestre deu-se através do Landsat-4 (1982) e Landsat-5 (1984). Estes satélites embarcavam os sensores MSS (Multispectral Scanner System) e TM (Thematic Mapper), que foram capazes de: introduzir o mapeamento das bandas espectrais na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), ampliar a resolução radiométrica para 8 bits nas bandas do visível, infravermelho próximo (NIR) e SWIR, além de consolidar o mapeamento termal da superfície terrestre.

Outros satélites em destaque, que deram continuidade e aprimoraram os mapeamentos terrestres na série, foram o Landsat-8 (2013) e Landsat-9 (2021), realizando mapeamento em 12 e 14 bits respectivamente, embarcando os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor).

2.4.7 Geotecnologias

As Geotecnologias abrangem um conjunto de tecnologias que podem realizar a coleta, processamento, análise e disponibilização de dados georreferenciados. A sua manipulação é indispensável para gerar informações e auxiliar nas tomadas de decisão. Dentre as principais geotecnologias é possível destacar o Sistema de Informação Geográfica (SIG), a cartografia digital, o uso para sensoriamento remoto, dentre diversos outros (ROSA, 2017).

O SIG é um modelo matemático dinâmico, que conta com um banco de dados geográfico, utilizado para a análise de dados de diferentes fontes. Geralmente, um SIG é composto por interface com o usuário, entrada e integração de dados gráficos e tabulares, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem de dados geográficos (LIU, 2006).

Um dos principais softwares GIS da atualidade é o Quantum GIS, ou simplesmente QGIS. A plataforma gratuita e de código aberto permite a visualização, manipulação e análise de dados espaciais, contando com a integração de várias funcionalidades e sendo capaz de alocar diversos formatos de dados. O programa possui ferramentas de cartografia que permitem a criação e edição de mapas. Ademais, por ser de código aberto, é possível o

desenvolvimento de diversos plugins que provêm recursos adicionais à ferramenta. (Graser; Sutton; Bernasocchi, 2025; QIG DEVELOPMENT TEAM, 2025).

Outra aplicação de SIG amplamente utilizada atualmente no sensoriamento remoto é o Google Earth Engine (GEE), uma plataforma online que combina computação em nuvem e processamento em supercomputadores para análise de grandes volumes de dados geoespaciais. Por meio do GEE, é possível visualizar, processar e manipular diversas imagens de satélite e conjuntos de dados disponíveis em seu repositório, facilitando estudos ambientais, monitoramento territorial e análises espaciais em larga escala (Gorelick, 2017).

2.5 PROCESSO DE URBANIZAÇÃO DE PORTO VELHO

Porto Velho é a capital do estado de Rondônia. Possui 460.434 habitantes de acordo com o Censo de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). É a maior capital brasileira em extensão, com mais de 34 mil quilômetros quadrados, entretanto a área urbana do distrito sede representa menos de 1% de todo o território (SEPOG, 2022).

A ótica da urbanização em vistas única e exclusivamente dimensionais e escalonares, referindo apenas ao aumento do número e do tamanho das cidades é insuficiente. Como destaca Becker (2015), duas dimensões distintas são manifestadas: a do espaço territorial, que corresponde ao crescimento, multiplicação e arranjo dos núcleos urbanos, e a do espaço social, referindo-se aos valores e comportamento da vida moderna, onde é promovida a integração econômica, ideológica e cultural. Em relação a cidade de Porto Velho, a dimensão do espaço social foi deixada repetidas vezes de lado para suprir demandas externas.

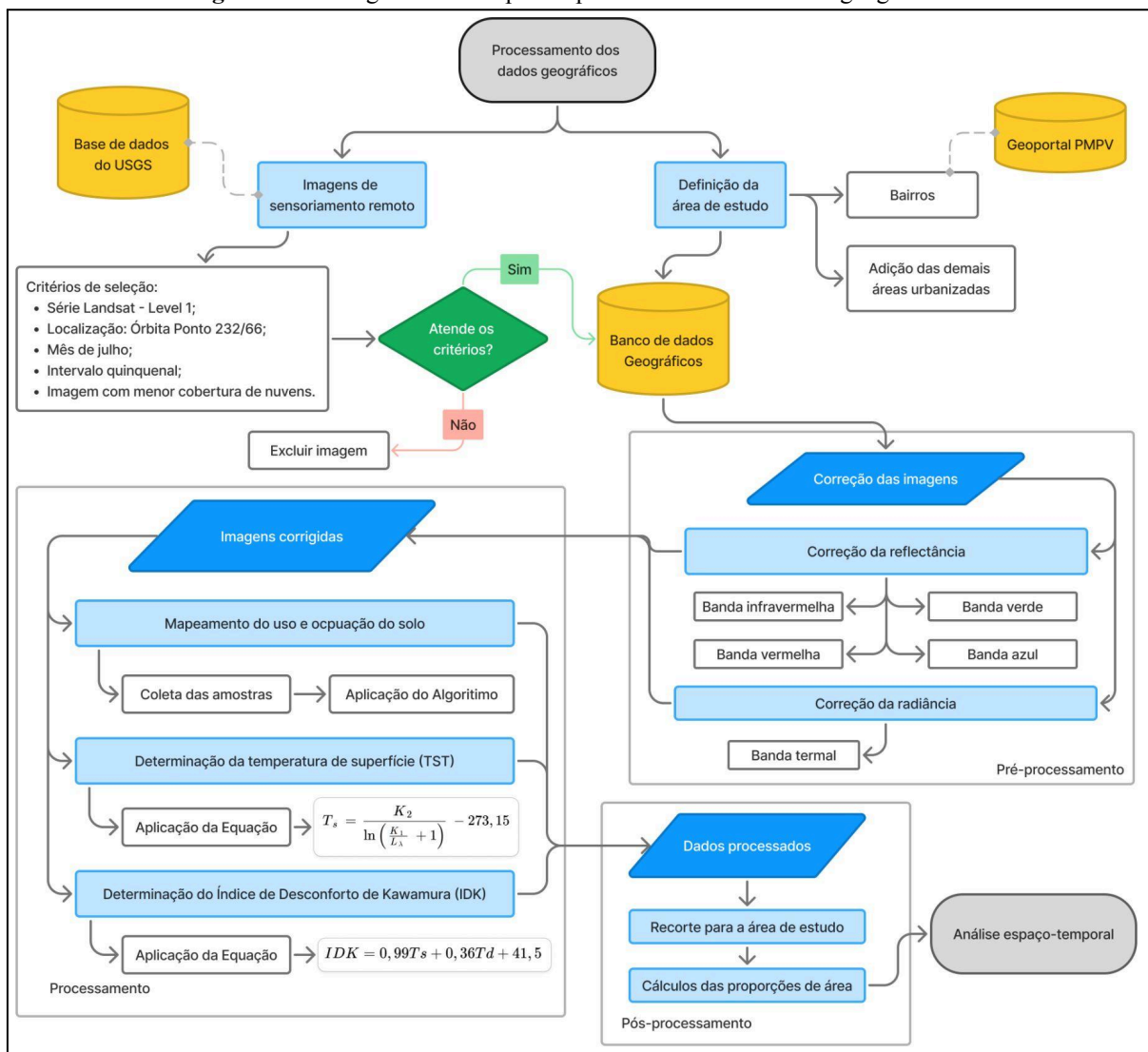
A cidade, desde sua origem, passou por diversos ciclos econômicos a fim de suprir demandas e complementar o crescimento do centro-sul do país (Nascimento, 2016). A origem e crescimento do espaço urbano deu-se através de picos, acompanhadas de políticas públicas associadas a um evento externo à região. Porém, em nenhum dos ciclos foi notada continuidades positivas na infraestrutura da capital rondoniense, servindo como crescimento momentâneo e sem mudanças significativas. Assim, a cidade possui papel periférico, à função da produção nacional (Nascimento e Silva, 2024).

Como a infraestrutura urbana não foi planejada no sentido de alocar o crescimento promovido pelos ciclos, observou-se o crescimento da cidade em áreas periféricas em relação ao núcleo urbano, provocada pelo inchaço migratório de Porto Velho (Fonseca, 2017). Esse passivo contribuiu significativamente para a acentuação do clima urbano na capital.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da presente pesquisa dividiram-se em 4 partes, sendo: a caracterização da área de estudo, o uso da técnica de sensoriamento remoto, a determinação do uso e ocupação do solo e cálculo do Índice de Desconforto de Kawamura (Ono e Kawamura, 1991). O fluxograma geral dos procedimentos realizados na metodologia está representado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma das etapas de processamento dos dados geográficos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.1 MÉTODO DE ANÁLISE

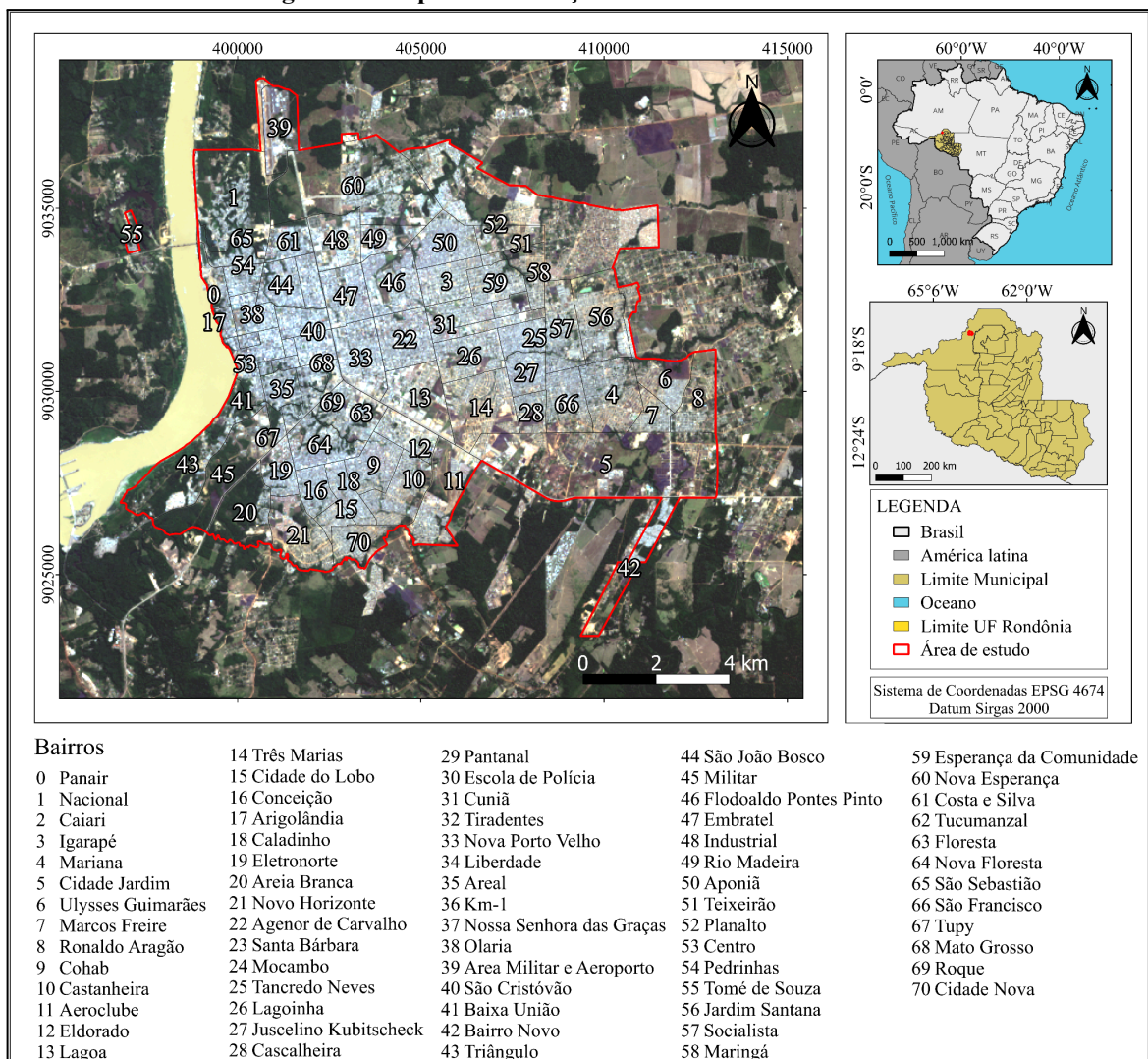
O método de análise adotado foi dedutivo, por se tratar de uma análise geral a fim de compreender um fenômeno específico, no caso o aumento do desconforto térmico em Porto

Velho. Além disso, a pesquisa é de natureza quantitativa, buscando quantificar e classificar o IDK, com base no Sistema Clima Urbano proposto por Monteiro (1976; 2015).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Porto Velho é a capital do estado de Rondônia, localizando-se entre os paralelos 8°43'S e 8°49'S e meridianos 63°55'O e 63°47'O. Inserida na Amazônia sul-ocidental no bioma Amazônico, às margens do Rio Madeira, o clima da região é o Equatorial Semiúmido Amazônico Central (Eq'cam), com cinco meses secos e temperatura média do mês mais frio variando de 22,5°C e 26,8°C, classificado de acordo com Novais (2023).

Figura 3 – Mapa de localização da cidade de Porto Velho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), IBGE (2025), GeoPortal PMPV (2025).

A cidade de Porto Velho é composta por 71 bairros de acordo com a Lei n° 840/1989, que definiu inicialmente o perímetro dos bairro e as Leis n° 885/1990, n° 927/1990, n° 1130/1993, n° 1155/1994, n° 1355/1999, n° 1404/2000, n° 1408/2000, n° 1707/2006, n°

467/2012 e nº 2224/2015, que a complementaram e a alteraram com o passar dos anos, conforme mapa elaborado pela Prefeitura do Município de Porto Velho (2020). Totalizando 130,92 km², a área de estudo localiza-se na zona urbana da cidade, conforme a Figura 3, capital de Rondônia. A base de dados utilizada para formar o perímetro da camada foram os bairros, obtido através do geosserviço WFS (Web Feature Service) disponibilizado no GeoPortal PMPV. Ademais, utilizou-se análise visual para complementar áreas urbanas que não constavam em nenhuma das bases e ajustar a topologia das geometrias conforme imagem referência Landsat-8 de 2024 no software Quantum GIS (QGIS), na sua versão 3.40.7 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2025).

3.3 TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO

Para a determinação do IDK utilizou-se as imagens Landsat-5 e Landsat-8 que estão disponibilizadas pelo Serviço Geológico Americano (USGS, 2025), podendo ser acessadas através do portal Earth Explorer pelo link: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Os referidos satélites foram selecionados em função da série temporal (ST) disponibilizada pela combinação entre eles (1985 a 2024), especialmente em relação aos sensores termais, e devido a disponibilidade de dados em adequada resolução temporal, radiométrica e espacial para a análise proposta. O Quadro 2 especifica as imagens escolhidas de cada satélite.

Quadro 2 - Informações sobre as imagens utilizadas.

Data de aquisição	Horário (GMT-4)	Satélite	Bandas e resoluções espectrais	Res. Espacial	Órbita/ponto
29/07/1985	9:50:32	Landsat-5	B1: Azul - 0,45 a 0,52 μm (TM) B2: Verde - 0,5 a 0,6 μm (TM) B3: Vermelho - 0,63 a 0,69 μm (TM) B4: Infravermelho próximo - 0,76 a 0,90 μm (TM) B6: Termal - 10,4 a 12,5 μm (TM)	30 e 120 m (B6)	232/66
08/07/1989	9:48:13				
09/07/1995	9:25:47				
06/07/2000	9:57:31				
04/07/2005	10:08:20				
02/07/2010	10:11:16				
16/07/2015	10:20:16	Landsat-8	B2: Azul - 0,45 a 0,51 μm (OLI) B3: Verde - 0,53 a 0,59 μm (OLI) B4: Vermelho - 0,64 a 0,67 μm (OLI) B5 - Infravermelho próximo - 0,85 a 0,88 μm (OLI) B10: Termal - 10,6 a 11,19 μm (TIRS)	30 e 100 m (B10)	
29/07/2020	10:20:39				
08/07/2024	10:20:05				

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), USGS (2025).

As imagens foram escolhidas a partir da menor cobertura de nuvens e, assim, optou-se pelo mês de julho, num intervalo de tempo quinquenal. Dentro da série temporal, as exceções

foram os anos de 1990, onde não encontrou-se imagem adequada para a análise, e 2024, ano em que o processamento foi realizado.

Em relação ao uso e ocupação do solo, utilizou-se as bandas do canal VISNIR (Visível - RGB e Infravermelho Próximo - NIR) para os sensores TM no Landsat-5 e OLI no Landsat-8. Para a análise da temperatura de superfície e do IDK foi utilizada a banda termal de ambos os sensores dos satélites, a fim de definir a temperatura de superfície.

3.4 CORREÇÃO DAS IMAGENS

A correção das imagens foi feita utilizando a ferramenta de computação em nuvem Google Earth Engine (GEE) na versão 1.5.12 - Javascript. Com isso, as correções radiométricas foram aplicadas para a coleção de dados brutos do sensor (Level 1) a fim de determinar a reflectância e radiância a partir do Número digital (ND) que representa o valor do pixel observado, aplicando os conceitos de álgebra de mapas. Os dados utilizados para a correção, além do ND, fazem parte dos metadados de cada imagem.

Como primeira etapa, foi realizada a correção da reflectância nas bandas RGB do Landsat. Para isso, foi aplicada a Equação 3.1 nas imagens do Landsat-5 e para o Landsat-8 foi aplicada a Equação 3.2 com as devidas constantes distintas para cada imagem.

$$Ref = (Mp * ND - Ap) / Sen(\theta_{sd} * \pi/180) \quad (3.1)$$

$$Ref = (\pi * ND * d^2) / (E_{sun} * cos(\theta_s)) \quad (3.2)$$

Em que:

- ND: Número digital bruto;
- Mp: Fator multiplicativo reescalado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, sendo “x” a banda desejada);
- Ap: Fator aditivo reescalado da reflectância para banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, sendo “x” a banda desejada.);
- θ_s : Ângulo de elevação solar (SUN_ELEVATION);
- d: Distância entre o sol e a Terra (EARTH_SUN_DISTANCE);
- E_{sun} : Irradiância solar estratosférica média;
- θ_{sd} : Ângulo de azimute solar (SUN_AZIMUTH).

Depois disso, a fim de determinar a temperatura de superfície (TS) foi necessário calcular a radiância espectral no topo da atmosfera ($L\lambda$). A partir das Equações 3.3 e 3.4, foram calculadas as radiâncias para o Landsat-5, banda 6, e Landsat-8, banda 10, respectivamente.

$$L\lambda = [(L\lambda_{max} - L\lambda_{min}) / DN_{max}] * ND + L_{min} \quad (3.3)$$

$$L\lambda = MI * ND + AI \quad (3.4)$$

Em que:

- ND_{max}: Valor máximo do número digital bruto (255);
- L λ _{max} e L λ _{min}: Constantes de calibração de cada banda (RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 e RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 respectivamente);
- MI: Fator multiplicativo reescalado da radiância (RADIANCE_MULT_BAND_10);
- AI: Fator aditivo reescalado da radiância (RADIANCE_ADD_BAND_10).

3.5 DETERMINAÇÃO DO USO E COBERTURA

Para a determinação do uso e cobertura do solo utilizou-se a classificação supervisionada no QGIS. Primeiramente, foram coletadas as amostras na forma de polígono vetorial com respostas espectrais representativas para cada alvo. Os alvos utilizados no mapeamento foram: 1 - Água, 2 - Vegetação Densa, 3 - Vegetação rala/solo exposto e 4 - Área urbanizada. Depois disso, a partir das respostas espectrais e das imagens com as bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, foi realizada a classificação no nível de pixel.

A coleta das amostras, realizada de forma independente para cada imagem da série temporal, foi feita utilizando o *plugin* do QGIS Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), na sua versão 8.5.0 (Congedo, 2021). Utilizou-se a ferramenta *ROI pointer*, onde, a partir do apontamento de um píxel, o programa cria um polígono que abrange pixels circundantes conforme o nível de similaridade, utilizando a técnica de segmentação. Os parâmetros de grau de similaridade e áreas máximas e mínimas do polígono são controláveis e foram ajustados de maneira que as amostras cumprissem os requisitos de chave de interpretação de alvos utilizando análise visual.

Para a classificação, utilizou-se o complemento do QGIS dzetsaka: classification tool, na sua versão 4.2.2 (Karasiak, 2016). O algoritmo utilizado foi o modelo de mistura gaussiana, que é um modelo estatístico baseado em distribuição gaussiana amplamente utilizado e validado no sensoriamento remoto, especialmente para uso e cobertura do solo em áreas urbanas (Melo, Moraes e Machado, 2003; Tao et al., 2015; Holloway e Mengersen, 2018).

3.6 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

A temperatura de superfície (TS) em graus célsius foi calculada no GEE, a partir dos dados de radiância devidamente corrigidos, utilizando a Equação 3.5.

$$TS = K2/[\ln (K1 / L\lambda + 1)] - 273,15 \quad (3.5)$$

Em que:

- $L\lambda$: Radiância espectral no topo da atmosfera;
- K1: Constante de conversão térmica específica da banda (K1_CONSTANT_BAND_x, sendo “x” a banda desejada);
- K2: Constante de conversão térmica específica da banda (K2_CONSTANT_BAND_x, sendo “x” a banda desejada).

3.7 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESCONFORTO DE KAWAMURA

Depois disso, calculou-se os valores de pressão parcial do vapor d’água (Pv) utilizando a Equação 3.6, seguida da Temperatura de Orvalho (Td), determinada a partir da Equação 3.7, considerando o valor constante da pressão parcial do vapor d’água quando a temperatura do ar for 0°C (eo) igual a 6,1078 hPA. Por fim, utilizou-se a Equação 3.8 para calcular o valor do IDK. Ambas as equações foram calculadas no Google Earth Engine. Os scripts utilizados para todo o processamento digital encontram-se no Apêndice A para as imagens do Landsat-5 e no Apêndice B para os dados do Landsat-8.

$$Pv = 6,1078 e^{17,3 Ts/(237,3+Ts)} \quad (3.6)$$

$$Td = 237,3 \ln(Pv/eo) / [17,2688 \ln (Pv/eo)] \quad (3.7)$$

$$IDK = 0,99 Ts + 0,36 Td + 41,5 \quad (3.8)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos objetivos propostos e da aplicação da metodologia descrita na presente pesquisa, serão apresentados os resultados, seguidos das discussões referentes ao uso e ocupação do solo, temperatura de superfície e o grau de desconforto térmico.

4.1 MUDANÇA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

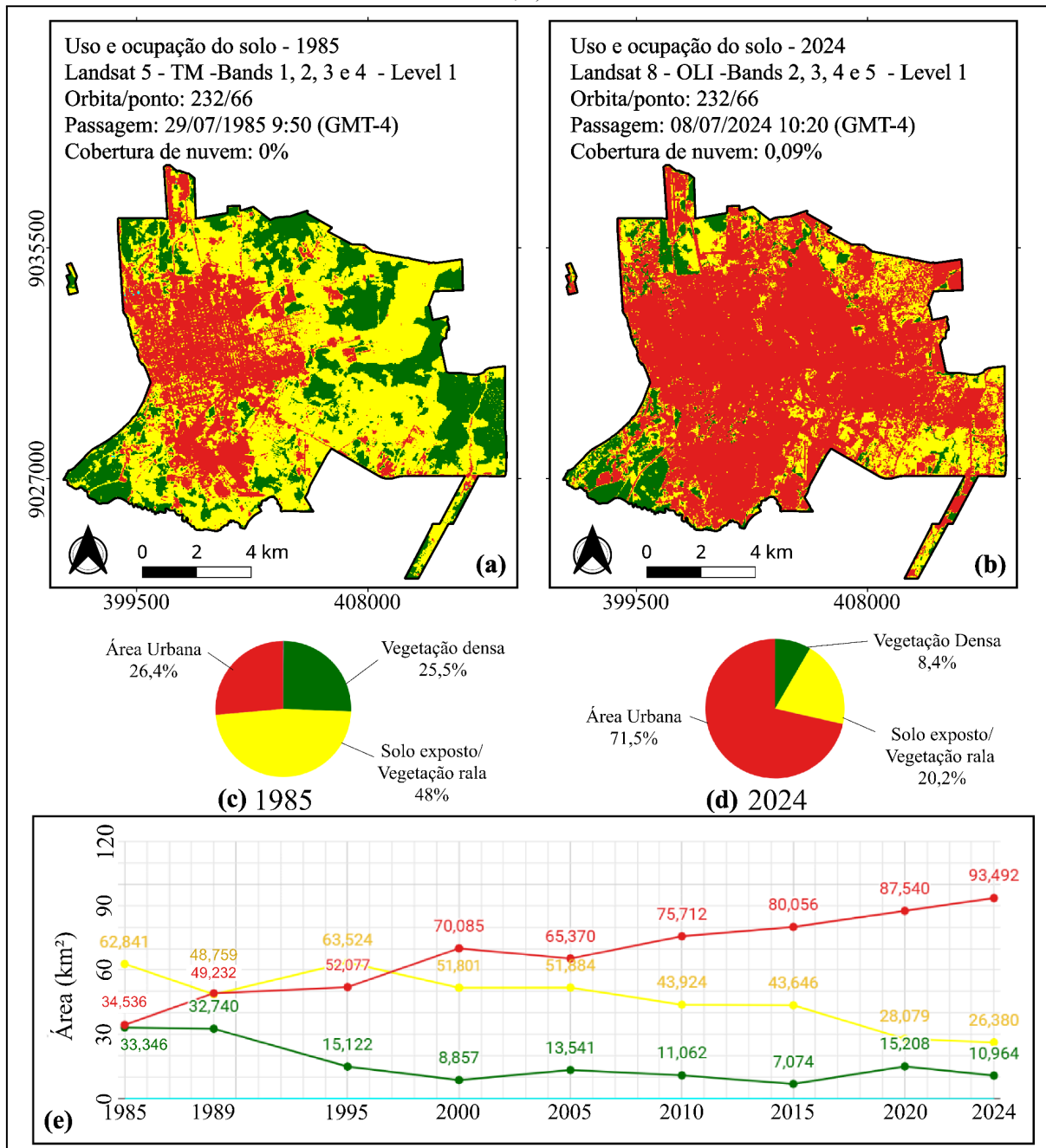
Por meio da classificação supervisionada foi possível gerar os dados de uso e ocupação do solo em toda a série histórica. Pode-se observar na Figura 4 os mapas dos anos de 1985 e 2024 com essas informações, bem como os gráficos de setor ilustrando as proporções de cada uso para os dois anos. Além disso, o gráfico de linhas apresenta a área, em km², de cada um dos rótulos dentro da série temporal estudada.

A partir destes dados, observou-se aumento da área urbanizada em detrimento das áreas com solo exposto/vegetação rala. Fonseca (2017) descreve que a disposição da ocupação pode ser justificada pelo avanço sobre a estrutura fundiária além do núcleo urbano já estabelecido, herdada do período de colonização deflagrado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Em toda a série de dados o crescimento ocorreu da zona central para a zona leste da cidade, fato este justificado pela presença de áreas militares nas zonas norte e sul que serviram de bloqueio para expansão da mancha urbana desde o começo da década de 1980 (Nascimento, 2024). Entretanto, esse crescimento aconteceu, inicialmente, de forma estritamente fundiária, dando origem a extensas áreas vazias subutilizadas inseridas dentro da malha urbana formal (Fonseca, 2017). O processo de ocupação dessas áreas refletiu na morfologia horizontalizada de Porto Velho (Nascimento, Santos e Silva, 2012).

O crescimento mais proeminente da área urbanizada dentro da área de estudo deu-se entre 1985 e 2010. Neste período, a classificação de uso urbano subiu de 26,4% (34,536 km²) para 57,86% (75,712 km²). O aumento foi consequência da consolidação da ocupação dos espaços urbanos nos bairros centrais e da expansão para os bairros periféricos, que pode ser justificado pelo aumento dos fluxos migratórios devido, a priori, a exploração da madeira e do ouro no Rio Madeira e, a posteriori, pela implantação das duas usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, contemplando um dos principais investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento - PAC (Fonseca, 2017).

Figura 4 – Mapas de uso e ocupação do solo nos anos de (a) 1985 e (b) 2024 e gráficos de proporção de área (c, d, e).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em relação à vegetação densa, observa-se uma supressão vegetal significativa entre os anos de 1989 e 1995, principalmente na zona leste, havendo redução de 25,02% para 11,56% da área de estudo. A partir disso, os valores oscilaram entre 7,5 e 15 km² (5,4 a 11,56%). Essa redução inicial pode ser justificada pelos processos de colonização de cunho tecnocrático. Já a estabilização pode ser reflexo da implementação do Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia (PLANAFLORO), que implantou em 1992 o Zoneamento Socioeconômico Ecológico e marcou a terceira fase de colonização induzida em Porto Velho (Santos, 2001)

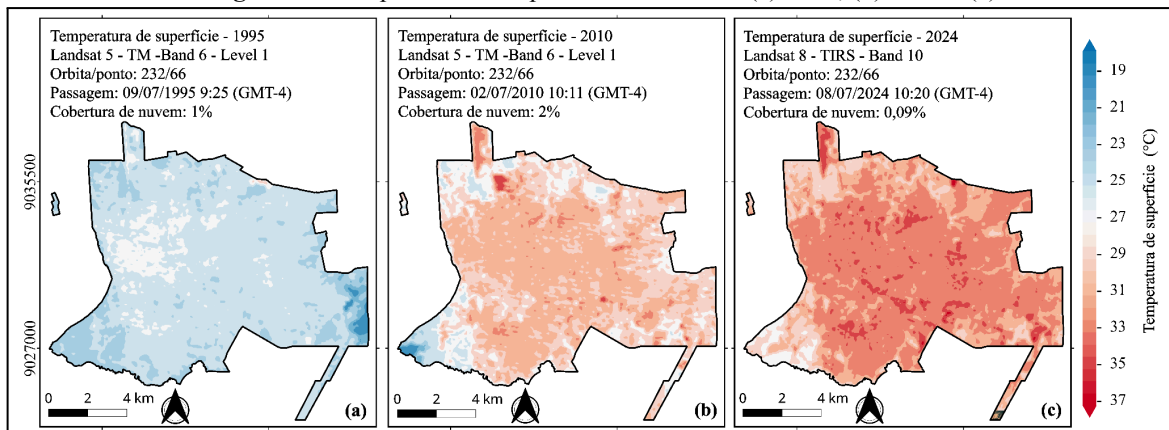
Segundo Santos (2001, p.113, apud Nascimento et al. 2024), o programa visava:

- a) reformulação das agências locais; b) conservação da biodiversidade rondoniana; c) proteção aos limites das áreas de reserva indígena; d) desenvolvimento, de modo integrado, da colonização agrícola sustentada e dos sistemas de manejo florestal; e) priorização de investimentos em infraestrutura e serviços para melhoria dos programas em áreas já ocupadas; e f) adequação da rede institucional local.

4.2 ANÁLISE DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

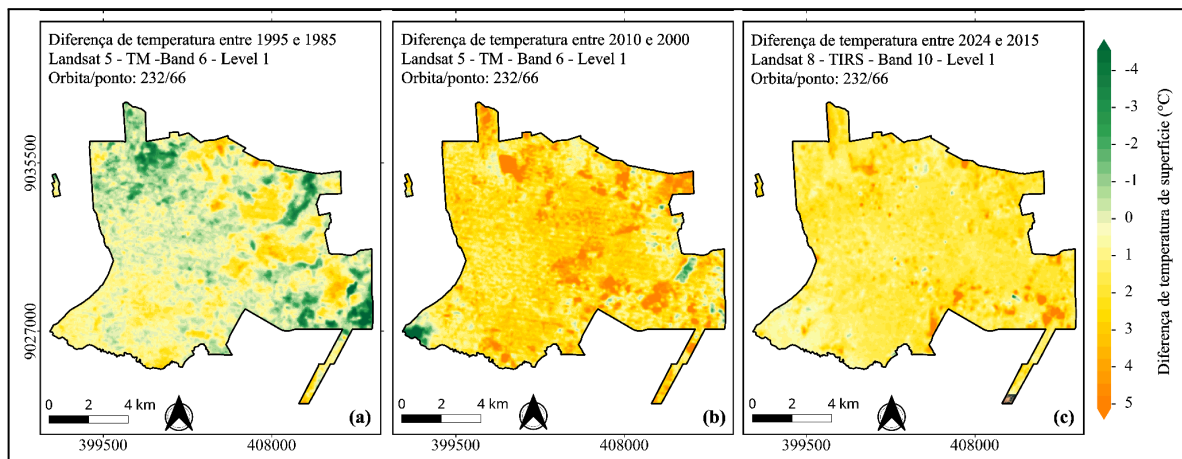
Como resultado do processamento digital das imagens foi possível espacializar a temperatura de superfície conforme a Figura 5. A Tabela 1 representa os valores máximos, médios e mínimos. A fim de analisar as mudanças de temperatura na série temporal, foram calculadas as diferenças de TS entre os anos (a) 1995 e 2010, (b) 2010 e 2000 e (c) 2024 e 2015 (Figura 6) e seus valores máximos, médios e mínimos (Tabela 2).

Figura 5 – Temperatura de superfície nos anos de (a) 1995, (b) 2010 e (c) 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 6 – Diferença de temperatura de superfície entre os anos (a) 1995 e 1985, (b) 2010 e 2000 e (c) 2024 e 2015.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos e médios de temperatura de superfície para os anos de 1995, 2010 e 2024.

1995			2010			2024		
Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
13,6	23,6	28,1	12,6	28,6	34,2	26,2	31,2	36,6

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Tabela 2 – Diferenças entre mínimas, máximas e médias de temperatura de superfície entre os anos 1995-1985, 2010-2000 e 2024-2015.

1995-1985			2010-2000			2024-2015		
Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
-9,6	0,18	5,6	-11,3	2,26	9,09	-4,5	1,62	7,7

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

No ano de 1995 foram observadas temperaturas de superfície amenas, com os bairros centrais apresentando os maiores valores. Contudo, a diferença entre as temperaturas das zonas urbanas ($\approx 26^{\circ}\text{C}$), e as temperaturas de zonas adjacentes ($\approx 21^{\circ}\text{C}$) não eram tão expressivas, apresentando baixa amplitude térmica.

Em 2010 foram registradas temperaturas expressivamente altas, se comparado com o ano de 1995. Neste ano, na área de estudo, observou-se o fenômeno da ilha de calor urbana (ICU) de forma mais intensificada, uma vez que é nítida a distinção de TS da área urbanizada ($\approx 30^{\circ}\text{C}$), que cobre maior parte da área de estudo, em relação a área com vegetação densa nos bairros Triângulo, Militar e Areia Branca na zona sul e Nacional na zona norte (24°C a 23°C).

Ainda no mesmo ano, em áreas vegetadas dentro da área urbana foram observadas ilhas de frescor em Áreas de Preservação Permanente (APP), com temperaturas de até 4°C menores que as adjacências. Além disso, observou-se *hotspots* provenientes da ação de queimada para limpeza de terreno no bairro Nova Esperança da zona norte e nos bairros Tiradentes e Três Marias na zona leste.

Entretanto, o pior cenário em relação a temperatura de superfície se dá em 2024. O fenômeno da ICU registrado foi o mais severo entre os 3 anos. A TS geral na área urbanizada variou entre 32°C e 33°C , abrangendo a maioria dos bairros da cidade. Até as áreas densamente vegetadas apresentaram valores de temperatura expressivamente mais altos que nos anos anteriores (26°C a 26°C). As ilhas de frescor apresentaram temperaturas entre 27°C e 29°C nas mesmas zonas de APP, que foram severamente degradadas.

O ano de 2024, adicionalmente, marcou o surgimento de *hotspots* de temperatura no interior do perímetro urbano da cidade na série temporal analisada. Além da presença de *hotspots* nas zonas periurbanas, provenientes de limpeza de terrenos, observou-se localidades

onde a TS atingiu valores entre 34°C e 35°C. Esses focos deram-se em grandes construções de baixa elevação, com destaque para o shopping da cidade, no bairro Flodoaldo Pontes Pinto, supermercados, hipermercados e lojas de departamento, nos bairros Lagoa, Nossa Senhora das Graças.

A intensificação do fenômeno das ICU com o passar dos anos nas capitais amazônicas não é exclusividade da capital portovelhense. O estudo de Bezerra, Moraes e Soares (2018) demonstra a ocorrência de ilhas de calor no centro de Belém, no Pará, observando aumento da TST de até 5,5°C nas zonas centrais entre os anos de 2006 e 2016. Queiroz, Souza e Silva (2025) estudaram a TST no bairro do Coroado, em Manaus e, mesmo numa área bem restrita, observou-se amplitude de 8,7°C em setembro de 2015, entre as 10:00 e 11:00 horas. A tendência é observada, ainda, em Rio Branco, onde Nascimento, Carvalho e Gobo (2023) concluíram que houve aumento considerável nas TST mínimas (7,5°C) e máximas (5,1°C) no perímetro urbano analisado entre os anos de 1990 a 2020.

4.3 ANÁLISE DO DESCONFORTO TÉRMICO

Por meio dos dados de temperatura de superfície, através da aplicação da equação do Índice de Desconforto de Kawamura, especializou-se o conforto térmico para a área de estudo. A Figura 7 representa os mapas de IDK para a área de estudo. Além disso, as proporções de área para cada uma das classificações de conforto térmico estão expostas na Figura 8.

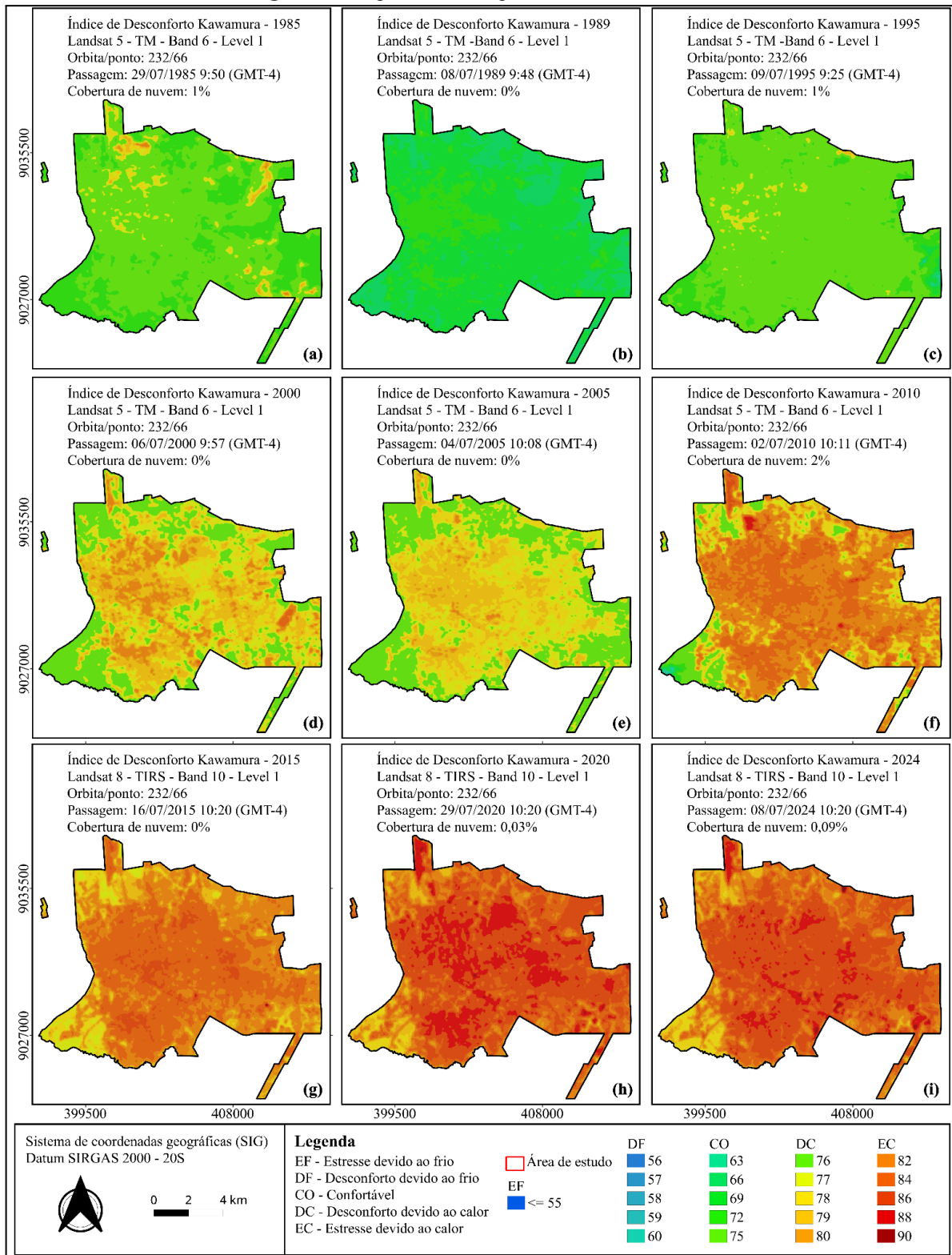
Nos três primeiros anos analisados (1985, 1989 e 1995) observou-se que mais de 85% da área de estudo apresentavam situação de conforto térmico. O restante da proporção foi classificado como desconforto devido ao calor e localizou-se, em maior parte, em áreas de solo exposto com cicatriz de queima.

Entretanto, nos anos de 2000 e 2005 é possível observar alteração significativa no conforto térmico se comparado aos anos anteriores. Neste período, mais de 75% da área de estudo foi classificada como desconforto e estresse devido ao calor. O recorte espacial deflagra influência clara da urbanização no aumento do estresse térmico, principalmente ao observar o aumento significativo de cerca de 18 km² da área urbana de 1995 para 2000.

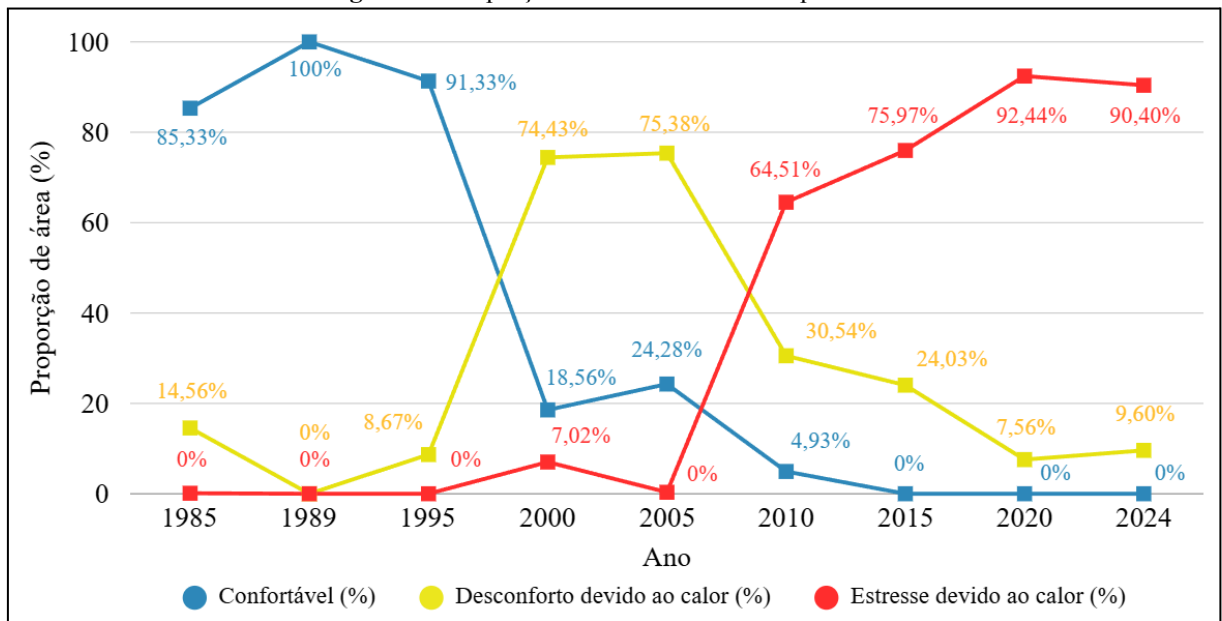
O ano de 2010 marcou o início de uma sequência de sucessivos aumentos em zonas com estresse devido ao calor, que substituíram zonas com desconforto devido ao calor. A classe em questão não havia demonstrado grande expressividade previamente. Entretanto, a partir desse ano a proporção de área com essa classificação foi de 64,51% da área de estudo,

com incrementando 11,46% para 2015 e 16,47%, posteriormente, para 2020, ano que representou a maior proporção de área com estresse devido ao calor.

Figura 7 – Mapa do IDK do perímetro urbano de Porto Velho.

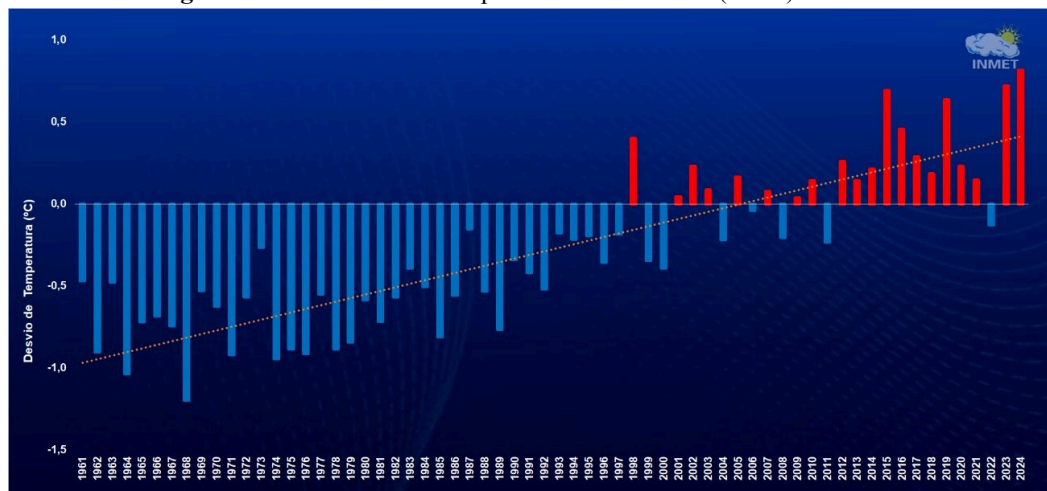


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Figura 8 – Proporção de áreas classificadas por ano.

Fonte: Próprio Autor (2025).

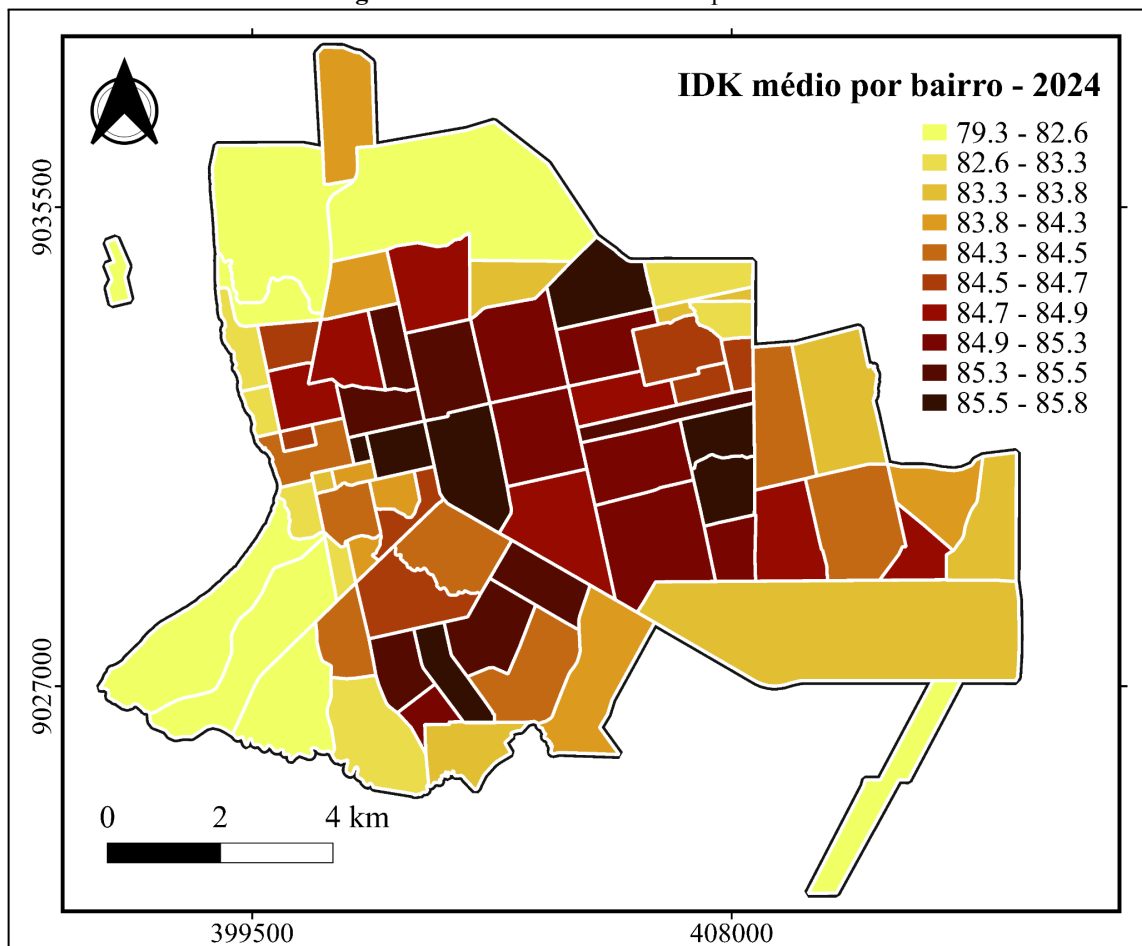
Dentro da série temporal, nos 3 últimos anos analisados (2015, 2020 e 2024) é possível observar que mesmo em regiões onde há presença de vegetação densa a classificação foi de desconforto devido ao calor, diferente do que se observa em 2010 e nos anos anteriores. Esse agravamento pode ser consequência do efeito global das mudanças climáticas na temperatura de superfície. A Figura 8, com dados do Instituto Nacional de Meteorologia, ilustra as anomalias de temperatura observadas, de acordo com a média histórica de 1991 – 2020, de Temperatura Média do Ar (TMA) no Brasil por ano (INMET, 2025). Nota-se que, a partir do ano de 2011 todos os anos na ST estudada apresentaram temperaturas acima da média.

Figura 8 – Anomalias de Temperatura Média do Ar (TMA) no Brasil.

Fonte: INMET (2025)

Sobre o recorte espacial para o ano de 2024, praticamente todos os bairros contidos na base de dados oficiais apresentaram valores médios classificados como Estresse devido ao calor (EC) a partir do IDK. As exceções são os bairros Triângulo e Areia Branca, classificados como Desconforto devido ao calor (DC), muito próximos ao limiar de EC, onde a maior parte da cobertura do solo constitui-se de vegetação densa. Os Bairros Triângulo e Tomé de Sousa (Vila DNIT), com essa mesma característica espacial, apresentaram valores ligeiramente acima do limiar, a Figura 9 descreve os valores médios de IDK por bairro, com a simbologia distribuída por quartis.

Figura 9 – Valores médios de IDK por bairro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os maiores valores de desconforto térmico médio se dão nos bairros centrais e semiperiféricos. Isso ocorre principalmente devido à intensa urbanização, caracterizada pelo adensamento populacional e excesso de impermeabilização do solo com materiais de construção. Krüger et al. (2024) analisaram o impacto da alteração da superfície urbana para áreas impermeáveis no conforto térmico utilizando o UTCI (Universal Thermal Comfort

Index). A partir do estudo eles concluíram que os maiores aumentos para áreas com alto grau de desconforto térmico ocorreram em Cuiabá, Porto Velho e Manaus, dentre as cidades brasileiras estudadas, em consoante com a as maiores mudanças do uso do solo para áreas impermeabilizadas nos perímetros urbanos estudados (Manaus - 62%, Porto Velho - 51% e Cuiabá - 43%).

Outro fator preponderante para a redução do conforto térmico é a baixa cobertura vegetal, que é expressiva apenas nas Áreas de Proteção Permanente (APP's) e terrenos baldios e sem utilização. Nessas áreas, conforme Tejas et al. (2017), observa-se a ocorrência das ilhas de fresco. Entretanto, os autores destacam que, em virtude do efeito de avanço da urbanização sem a preocupação com a preservação dessas áreas, pode haver a descaracterização desses igarapés, como é o caso do Igarapé Belmont.

Sobre os efeitos do processo de ocupação, Silva et al. (2018) observaram aumento substancial do desmatamento no território de Porto Velho de 1997 a 2006. Os autores observaram, também, aumento significativo da temperatura média anual após a década de 1990, onde houve acréscimo de 18,6% no desmatamento rondoniense.

Observa-se, em outras cidades amazônicas, fenômenos semelhantes aos observados em Porto Velho. Os resultados obtidos por Nascimento, Carvalho e Gobo (2023) demonstraram diminuição da cobertura vegetal e aumento do adensamento urbano nas áreas centrais e em áreas com empreendimentos imobiliários recentes em Rio Branco. Além disso, constatou-se elevação na temperatura de superfície e do Índice de Desconforto de Kawamura (IDK) nessas mesmas áreas.

Na pesquisa de Moreira et al. (2023) estudou-se o conforto térmico a partir do Índices de Temperatura Efetiva (ITE) e Índice de Calor (IC) em diferentes sítios na cidade de Macapá-AP. As áreas mais arborizadas não apresentaram desconforto com os índices avaliados. Entretanto, nos horários mais quentes, os sítios com predominância de área antropizada ficaram fora da faixa de conforto térmico.

A presença de ilhas de calor urbanas na segunda maior cidade do estado de Rondônia, Ji-Paraná, foi investigada por Antonucci et al. (2024) no ano de 2017, relacionando a incidência do fenômeno com o conforto térmico, a partir de dados observacionais da estação mantida pelo Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). O estudo identificou a ocorrência de intensa ilha de calor no limítrofe urbano da cidade. Embora o conforto térmico prevaleça na maior parte do ano, o desconforto e o estresse por calor são predominantes durante as horas de maior insolação.

5 CONCLUSÃO

O clima urbano é o resultado da união de diversos fatores distintos que interagem entre si e causam efeitos significativos na sociedade. Com isso, o presente estudo teve por objetivo analisar espacialmente o desconforto térmico entre os anos de 1985 e 2024 em Porto Velho-RO por meio das geotecnologias. Além disso, buscou-se realizar o mapeamento de uso e ocupação do solo e a espacialização da temperatura de superfície para avaliar o efeito da expansão da área urbana na sensação térmica dos indivíduos.

A partir da metodologia aplicada foi possível concluir que houve a supressão das zonas classificadas como solo exposto/vegetação rala, em decorrência do avanço da expansão urbana representando 71,5% da área em 2024, na qual em 1985 era de 26,4%. Observou-se aumento na temperatura da superfície em toda área de estudo, com a média aumentando de 23,42°C para 31,2°C. Sobre o conforto térmico notou-se forte influência do processo de urbanização no aumento em toda a série temporal para o aumento das classes que representam sensação de desconforto e estresse devido ao calor, sendo agravado, a partir de 2015, pelas mudanças climáticas.

As tendências observadas para Porto Velho correspondem a de outras cidades Amazônicas com características climáticas semelhantes, como Vilhena, Manaus, Belém, Rio Branco e Macapá. Há, portanto, o aumento do desconforto térmico conforme o passar do tempo em áreas com intensa antropização e baixa arborização.

O uso das geotecnologias, pelo Sensoriamento Remoto e SIG, se mostrou como um método eficiente para obter os dados de uso e cobertura do solo, temperatura de superfície e conforto térmico, permitindo realizar análises em relação à correspondência de cada informação.

Os resultados obtidos estabelecem um panorama geral da evolução do desconforto térmico e, em paralelo, das alterações no uso e ocupação do solo e nas variações de temperatura de superfície em Porto Velho, na intenção de identificar as principais causas das mudanças e suas respectivas consequências. Ademais, os dados obtidos podem servir de subsídio para o poder público na tomada de decisões com a intenção de mitigar os efeitos do agravamento da expressiva redução do conforto térmico na cidade.

A partir das conclusões é possível sugerir algumas temáticas a serem avaliadas em futuras pesquisas.

1. Estabelecer relação entre o Índice de Desconforto de Kawamura e as Zonas Climáticas Locais.

2. Avaliar a correspondência entre os valores e sensações de desconforto térmico obtido através das geotecnologias em relação aos dados de campo, a fim de calibrar o índice para a Região Norte do Brasil.
3. Comparar o uso de diferentes índices de térmico com o Índice de Desconforto de Kawamura para a cidade de Porto Velho.
4. Analisar o impacto de diferentes materiais de construção civil no conforto térmico em ambientes internos e externos.

REFERÊNCIAS

- ANTONUCCI et al. Efeitos da Urbanização e a Relação com o Conforto Térmico em Observações de Superfície no Sul da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n 39. 2024.
- ALVES, E. D. L. Ilha de Calor ou Ilha de Energia Térmica: um conceito aberto à discussão. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 110, p. 124-129, 2010.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L. de; TORRES, S. C. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007. ISBN: 9788571773592
- BECKER, Bertha K. **As Amazônias de Bertha K Becker: Ensaio sobre a geografia e sociedade da região amazônica**. In: VIEIRA, Ima Célia Guimarães (org.). 03 vol. Rio de Janeiro: Garamond, 2015.
- BEZERRA, Paulo Eduardo Silva; DE MORAES, Eiky Tatsuya Ishikawa; SOARES, Ismael Ramalho da Costa. Análise da Temperatura de Superfície e do índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 70, n. 3, p. 803–818, 2018. DOI: 10.14393/rbcv70n3-45701. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45701>. Acesso em: 31 out. 2025.
- BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jul. 2001.
- CAMPOS FILHO, C. M. **Cidades Brasileiras: seu controle ou caos, o que os cidadãos brasileiros devem fazer para a humanização das cidades**. São Paulo: Nobel, 1989.
- CAPUTO, C. R.; AMORIM, M. C. de C. T. A formação de ilhas de calor em cidade pequena: o estudo de Osvaldo Cruz/SP/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, 2021. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v29i0.73597>.
- COLTRI, P. P. et al. Influência do Uso e Cobertura do Solo nas Ilhas de Calor Local e Regional no Município de Piracicaba, São Paulo. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis. Anais do XIV SBSR, Natal, 2009.
- CONTI, J. B. **Clima e Meio Ambiente**. 7ª edição. São Paulo: Editora Atual, 2011.
- CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>. 2021
- DAMASCENO, Charlene Oliveira; MARTINS, Maria Carla Barreto Santos. Urbanização e impactos ambientais no município de Macaé: uma análise climatológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, n. 21, p. 409–427, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18955.
- DENALDI, Rosana; FERRARA, Luciana Nicolau. A dimensão ambiental da urbanização em favelas. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, e01950, 2018.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FERNANDES, M. E.; MASIERO, E. Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais. Urbe: **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, e20190247, 2020.

FERREIRA, Hugo; JÚNIOR, José Carlos. O conceito de estrutura térmica espacial urbana no Sistema Clima Urbano de Monteiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, p. 715–729, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.15337.

FIALHO, Edson Soares; FERNANDES, Ludmila Alves; CORREA, Wesley de Souza Campos. Climatologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Técnicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v0i0.65748.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. x, p. 24-41, out. 1996.

FONSECA, G. P. S.; SOUZA, S. C.; ZAMPARONI, C. A. G. P. Variabilidade Climática em áreas da Amazônia Mato-grossense. **Revista Amazônia Legal de estudos sócio- jurídico-ambientais**. Cuiabá, ano 1, nº 2, p.13-25. Jul- dez de 2007.

FONSECA, D. H. C. A Cidade Sem Terras: Configuração E Expansão Da Estrutura Fundiária De Porto Velho, Sob a ótica Da Urbanização Informal E Espontânea. **Dissertação (Mestrado) – Pernambuco**, 2017.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007.

GRASER, Anita; SUTTON, Tim; BERNASOCCHI, Marco. The QGIS project: spatial without compromise. **Patterns**, v. 6, n. 7, p. 101265, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patter.2025.101265>

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros – MG. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 73–91, 2009.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**. 2017. Elsevier. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Estruturas Territoriais. **Informações técnicas e legais para a utilização dos dados publicados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. 46 p. (Coleção Ibgeana; Notas metodológicas n. 01/2025).

_____. Coordenação de Estruturas Territoriais; Coordenação Técnica do Censo Demográfico. **Atualização dos dados da publicação “População e domicílios: primeiros resultados”** (segunda apuração). Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 24 p. (Coleção Ibgeana; Nota metodológica n. 01/2023).

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Trad. José Carlos Epiphânio, Antonio R. Formaggio, Athos R. Santos, Bernardo F. T. Rudorff. Cláudia M. Almeida e Lênio S. Galvão. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KARASIAK, N. **Dzetsaka QGIS Classification plugin**. 2016. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. DOI: 10.5281/zenodo.2552284.

KRÜGER, E. et al. The impact of urbanization on heat stress in Brazil: A multi-city study. **Urban Climate**, v. 53, 101827, 2024. DOI: 10.1016/j.uclim.2024.101827.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, 2016.

LIMA, Thiago Luiz; GALVANI, Emerson; VASCONCELLOS, Pérola Castro. Ilha de calor urbana na zona norte de São Paulo com quantificação do MP2.5. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, n. 21, p. 785–811, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18382.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Campo Grande: UNIDERP, 2006.

MENDONÇA, Helen da Silva et al. Ciclo diurno do conforto térmico humano em Maceió-AL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. spe, p. 847–860, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-77863550011>.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano**. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, 1975.

MONTEIRO, C. A de F. **Teoria e clima urbano**. 1. ed. São Paulo: USP, 1976.

MONTEIRO, C. A. de F. A Climatologia Geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. In: MONTEIRO, C. A.; SANT’ANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F.; ZAVATTINI, J. A. (orgs.). **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. 1. ed. Campinas: Alínea, 2015. p. 61-153.

MONTENEGRO, Rosa Livia Gonçalves; RIBEIRO, Luiz Carlos de Santana. Planejamento urbano em áreas impactadas por Grandes Projetos de Investimentos (GPIS): uma análise sobre o Estado de Rondônia. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S. l.], v. 11, 2019.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE, São José dos Campos - SP, 2002. Disponível em: http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf.

MOREIRA, Pedro Hugo Oliveira; COSTA, Antonio Carlos Lola da; SILVA JÚNIOR, João de Athaydes; CUNHA, Alan Cavalcanti da. Variações sazonais do índice de temperatura efetiva (ITE) e índice de calor (IC) com o uso do solo em zona urbana na Amazônia Oriental. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 93, p. 01–17, 2023. DOI: 10.14393/RCG249365649.

NASCIMENTO, Cláudia Pinheiro. As singularidades do processo de urbanização da Amazônia: uma leitura a partir das cidades de Porto Velho (RO) e Marabá (PA). **Tese** (Doutorado). Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Tópico Úmido, Belém, 2016.

NASCIMENTO, Cláudia Pinheiro; SANTOS, Carlos; SILVA, Maurício. Porto Velho: A produção do espaço urbano de Rondônia (1980/2010). **REVISTA GEOGRAFAR**, [S. l.], v. 7, n. 1, 2012. DOI: 10.5380/geografar.v7i1.22447. 2012.

NASCIMENTO, Cláudia Pinheiro; SILVA, Maurício. A cidade de Porto Velho e as transformações no espaço urbano: uma análise a partir da sua formação socioespacial. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 18, n. 2, p. 161–186, ago. 2024.

NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira; BARROS, Juliana Ramalho. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia – GO/2001. 2009. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 119-134, 2009. DOI: 10.5216/bgg.v29i1.7112.

NASCIMENTO, F. I. C do; CARVALHO, A. B.; GOBO, J. P. A. Diferenças espaciais na temperatura de superfície e conforto térmico no perímetro urbano de Rio Branco-Acre. v.1, 2023, Guarapuava. **Anais do Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. Guarapuava: UNICENTRO, p.1-15, 2023.

NICHI, Jaqueline; FASSINA, Caroline Malagutti; SOEIRA, Marcelo Rezende Calça. O clima como novo comum urbano: conforto térmico na agenda do direito à cidade. **Revista Extraprensa**, v. 17, n. 1, p. 155–173, 2023. DOI: 10.11606/extraprensa2024.219263.

NOVAIS, G. T. **Climas do Brasil. Classificação Climática e Aplicações**. 1. ed. Porto Alegre: Totalbooks, 2023.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuem & Co. LTD., 1978.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA, T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 1, p. 39–47, 1991.

PORTO VELHO. **Evolução da Mancha Urbana de Porto Velho 1976–2019**. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão, Porto Velho, 2022.

PORTO VELHO. **GeoPortal PMPV**. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEMPOG) - Subsecretaria de planejamento (SUPLAN). Porto Velho, 2025.

PORTO VELHO. **Mapa dos Bairros de Porto Velho**. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão (SEMPOG), Departamento de Planejamento Institucional e Gestão Estratégica (DPGE). Porto Velho, 2020.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2025. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

QUEIROZ, M. S. de; SOUZA, K. C. de; SILVA, G. M. da. **Análise do Microclima Urbano do Bairro do Coroadó, Manaus, Amazonas**. Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), [S. l.], v. 27, n. 1, p. 43–62, 2025. DOI: 10.35701/rcgs.v27.1018. Disponível em: [//rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/1018](http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/1018).

ROLNIK, R. **Estatuto da Cidade: instrumento para as cidades que sonham crescer com justiça e beleza**. In: SAULE JÚNIOR, N.; ROLNIK, R. Estatuto da Cidade: novos horizontes para a reforma urbana. São Paulo: Pólis, 2001. (Cadernos Pólis; 4).

RORIZ, M. **Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo**. 1. ed. Curitiba: ENCAC-COTEDI, 2003.

ROSA, Roberto. **Análise Espacial em Geografia**. Revista da ANPEGE, [S. l.], v. 7, n. 01, p. 275–289, 2017. DOI: 10.5418/RA2011.0701.0023. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/6571>.

SANTOS, C. **A fronteira do Guaporé**. Porto Velho: EDUFRO, 2001. 202 p.

SILVA, M. J. G. da et al. **Efeito da ocupação do solo sobre o clima de Porto Velho, Rondônia, Brasil**. R. Ra'e Ga, Curitiba, v. 43 Temático de Geotecnologias, p. 232-251, Fev. 2018. DOI: 10.5380/raega.

SOBRAL, H. **Heat island in São Paulo, Brazil: Effects on health**. Critical Public Health, v. 15, n. 2, p. 147–156, 2005.

SONNEMAKER, João Baptista. **Meteorologia**. 3. ed. São Paulo: ASA, 2009. ISBN 978-85-86262-238-8.

TEJAS, G. T. et al. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio do sensoriamento remoto na cidade de Porto Velho/RO (1985-2011). **Confins** Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia, [S.l.], n. 32, 2017. DOI: 10.4000/confins.12191

TEN CATEN, A.; DINIZ DALMOLIN, R. S.; BENEDET DA SILVA, E.; TACIARA ZBOROWSKI HORST HEINEN, T.; SAFANELLI, J. L. **Avanços na observação e no conhecimento do solo via o sensoriamento próximo**. Agropecuária Catarinense, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 72–78, 2021. DOI: 10.52945/rac.v34i1.1048.

THOM, E. C. **The Discomfort Index**. Weatherwise, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959. DOI: 10.1080/00431672.1959.9926960.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 5, Bandas 1, 2, 3 e 6, e Landsat 8, Bandas 2, 3, 4 e 10**. Earth Explorer, 2025. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

WULDER, M.A. et al. **Fifty years of Landsat science and impact**. Remote Sensing of Environment. Volume 280. 2022. ISSN: 0034-4257. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>.

ZAVATTINI, J. A. Dinâmica atmosférica e análise rítmica: a contribuição do brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro à França de Pédelaborde e à Itália de Pinna. In: MONTEIRO, C. A. et al. (orgs.). **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015. p. 167-192.

APÊNDICE A - Script utilizado no processamento digital de imagens em ambiente GEE para o Landsat-5.

```
// INICIO DO SCRIPT
// Função para obter a imagem com menor porcentagem de nuvens para um ano
específico
function getImageWithLeastClouds(year) {
  var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C02/T1') // Landsat 5
  Nível 1 (bruto)
    .filter(ee.Filter.calendarRange(7, 7, 'month')) // Mantém apenas julho
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 232)) // Filtra apenas imagens do Path
  232
    .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 66)) // Filtra apenas imagens do Row 066
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 100)) // Limita a menos de 100% de
  nuvens
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year, year, 'year')); // Filtra pelo ano
  desejado

  // Ordenar as imagens pela porcentagem de nuvem e pegar a imagem com menor
  nuvem
  var sortedCollection = collection.sort('CLOUD_COVER');
  var leastCloudImage = sortedCollection.first(); // Pega a primeira imagem
  com menor nuvem

  return leastCloudImage;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//////////////////////////////////// CRIAÇÃO DA COLEÇÃO DE IMAGENS (1985, 1990, 1995, 2000,
2005, 2010) //////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

// Obter a imagem com menor nuvem para os anos 1985, 1989, 1995, 2000, 2005 e
2010
var image1985 = getImageWithLeastClouds(1985);
var image1989 = getImageWithLeastClouds(1989);
var image1995 = getImageWithLeastClouds(1995);
var image2000 = getImageWithLeastClouds(2000);
var image2005 = getImageWithLeastClouds(2005);
var image2010 = getImageWithLeastClouds(2010);

// Exibir as imagens no mapa
Map.centerObject(image1985, 10);
Map.addLayer(image1985, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 1985 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image1989, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 1989 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image1995, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 1995 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image2000, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 2000 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image2005, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 2005 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image2010, {bands: ['B3', 'B2', 'B1'], min: 0, max: 255},
'Landsat 5 - 2010 (Menor Nuvem)', false);
```

```

// Imprimir as imagens filtradas com menor nuvem para cada ano
print('Código da imagem com menor nuvem de 1985:',
image1985.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 1989:',
image1989.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 1995:',
image1995.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 2000:',
image2000.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 2005:',
image2005.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 2010:',
image2010.get('system:index'));

// Criar uma coleção com as 6 imagens
var colecao_1985_2010 = ee.ImageCollection([image1985, image1989, image1995,
image2000, image2005, image2010]);
print('Coleção de imagens (1985-2010):', colecao_1985_2010);

// CORREÇÃO DA REFLECTÂNCIA
//-----
// Função genérica que aplica a equação a uma imagem
//-----

//1985
//CONSTANTES
var ref_mb1_1985 = 0.0011183; var ref_mb2_1985 = 0.0024341; var ref_mb3_1985
= 0.0022689; var ref_mb4_1985 = 0.0027461; var ref_ad1_1985 = -0.00365; var
ref_ad2_1985 = -0.007662; var ref_ad3_1985 = -0.004812; var ref_ad4_1985 =
-0.00748; var sun_elev_1985 = 44.11597043; var e_sun_d_1985 = 1.0152642;
//Constantes como banda
var const_1985 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_1985).rename('ref_mb1_1985'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_1985).rename('ref_mb2_1985'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_1985).rename('ref_mb3_1985'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_1985).rename('ref_mb4_1985'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_1985).rename('ref_ad1_1985'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_1985).rename('ref_ad2_1985'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_1985).rename('ref_ad3_1985'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_1985).rename('ref_ad4_1985'),

  ee.Image.constant(sun_elev_1985).rename('sun_elev_1985'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_1985).rename('e_sun_d_1985')
]).toFloat();

// --- Adiciona também as bandas ND (banda original)

var image1985_with_constants = image1985.addBands(const_1985);
// expressão

// REF_B1_1985
var REF_B1_1985 = image1985_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image1985_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': image1985_with_constants.select('ref_mb1_1985'),
    'ref_ad': image1985_with_constants.select('ref_ad1_1985'),
    'sun': image1985_with_constants.select('sun_elev_1985'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_1985');

```

```

// REF_B2_1985
var REF_B2_1985 = imagem1985_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagem1985_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': imagem1985_with_constants.select('ref_mb2_1985'),
    'ref_ad': imagem1985_with_constants.select('ref_ad2_1985'),
    'sun': imagem1985_with_constants.select('sun_elev_1985'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_1985');

// REF_B3_1985
var REF_B3_1985 = imagem1985_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagem1985_with_constants.select('B3'),
    'ref_mb': imagem1985_with_constants.select('ref_mb3_1985'),
    'ref_ad': imagem1985_with_constants.select('ref_ad3_1985'),
    'sun': imagem1985_with_constants.select('sun_elev_1985'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B3_1985');

// REF_B4_1985
var REF_B4_1985 = imagem1985_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagem1985_with_constants.select('B4'),
    'ref_mb': imagem1985_with_constants.select('ref_mb4_1985'),
    'ref_ad': imagem1985_with_constants.select('ref_ad4_1985'),
    'sun': imagem1985_with_constants.select('sun_elev_1985'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B4_1985');

// Empilha todas as bandas REF em uma imagem
var imagem1985_ref = ee.Image([REF_B1_1985, REF_B2_1985, REF_B3_1985,
REF_B4_1985]);

// Agora você pode adicionar no Map
Map.addLayer(imagem1985_ref,
  {bands: ['REF_B3_1985', 'REF_B2_1985', 'REF_B1_1985'], min:0, max:0.3},
  'Landsat 5 - 1985 Corrigida', false);

// Constantes 1989
var ref_mb1_1989 = 0.0011214; var ref_mb2_1989 = 0.0024409; var ref_mb3_1989
= 0.0022752; var ref_mb4_1989 = 0.0027538; var ref_ad1_1989 = -0.00366; var
ref_ad2_1989 = -0.007684; var ref_ad3_1989 = -0.004825; var ref_ad4_1989 =
-0.007501; var sun_elev_1989 = 41.79082868; var e_sun_d_1989 = 1.0166796;
// Constantes 1995
var ref_mb1_1995 = 0.0012792; var ref_mb2_1995 = 0.0026734; var ref_mb3_1995
= 0.0022752; var ref_mb4_1995 = 0.0027537; var ref_ad1_1995 = -0.00366; var
ref_ad2_1995 = -0.007684; var ref_ad3_1995 = -0.004825; var ref_ad4_1995 =
-0.007501; var sun_elev_1995 = 37.52874355; var e_sun_d_1995 = 1.0166687;
// Constantes 2000
var ref_mb1_2000 = 0.0012793; var ref_mb2_2000 = 0.0026736; var ref_mb3_2000
= 0.0022753; var ref_mb4_2000 = 0.0027539; var ref_ad1_2000 = -0.003818; var
ref_ad2_2000 = -0.007917; var ref_ad3_2000 = -0.004825; var ref_ad4_2000 =
-0.007501; var sun_elev_2000 = 43.41675782; var e_sun_d_2000 = 1.0167001;
// Constantes 2005

```

```

var ref_mb1_2005 = 0.0012793; var ref_mb2_2005 = 0.0026736; var ref_mb3_2005
= 0.0022753; var ref_mb4_2005 = 0.0027540; var ref_ad1_2005 = -0.003818; var
ref_ad2_2005 = -0.007917; var ref_ad3_2005 = -0.004825; var ref_ad4_2005 =
-0.007501; var sun_elev_2005 = 45.29823172; var e_sun_d_2005 = 1.0167064;
// Constantes 2010
var ref_mb1_2010 = 0.0012793; var ref_mb2_2010 = 0.0026735; var ref_mb3_2010
= 0.0022753; var ref_mb4_2010 = 0.0027539; var ref_ad1_2010 = -0.003818; var
ref_ad2_2010 = -0.007916; var ref_ad3_2010 = -0.004825; var ref_ad4_2010 =
-0.007501; var sun_elev_2010 = 45.75810333; var e_sun_d_2010 = 1.0166877;

// --- 1989 ---
var const_1989 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_1989).rename('ref_mb1_1989'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_1989).rename('ref_mb2_1989'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_1989).rename('ref_mb3_1989'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_1989).rename('ref_mb4_1989'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_1989).rename('ref_ad1_1989'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_1989).rename('ref_ad2_1989'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_1989).rename('ref_ad3_1989'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_1989).rename('ref_ad4_1989'),

  ee.Image.constant(sun_elev_1989).rename('sun_elev_1989'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_1989).rename('e_sun_d_1989')
]).toFloat();

var imagel1989_with_constants = imagel1989.addBands(const_1989);

// REF_B1_1989
var REF_B1_1989 = imagel1989_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1989_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': imagel1989_with_constants.select('ref_mb1_1989'),
    'ref_ad': imagel1989_with_constants.select('ref_ad1_1989'),
    'sun': imagel1989_with_constants.select('sun_elev_1989'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_1989');

var REF_B2_1989 = imagel1989_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1989_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': imagel1989_with_constants.select('ref_mb2_1989'),
    'ref_ad': imagel1989_with_constants.select('ref_ad2_1989'),
    'sun': imagel1989_with_constants.select('sun_elev_1989'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_1989');

var REF_B3_1989 = imagel1989_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1989_with_constants.select('B3'),
    'ref_mb': imagel1989_with_constants.select('ref_mb3_1989'),
    'ref_ad': imagel1989_with_constants.select('ref_ad3_1989'),
    'sun': imagel1989_with_constants.select('sun_elev_1989'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B3_1989');

var REF_B4_1989 = imagel1989_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',

```

```

{
  'B': imagel989_with_constants.select('B4'),
  'ref_mb': imagel989_with_constants.select('ref_mb4_1989'),
  'ref_ad': imagel989_with_constants.select('ref_ad4_1989'),
  'sun': imagel989_with_constants.select('sun_elev_1989'),
  'pi': Math.PI
}).rename('REF_B4_1989');

var imagel989_ref = ee.Image([REF_B1_1989, REF_B2_1989, REF_B3_1989,
REF_B4_1989]);
Map.addLayer(imagel989_ref, {bands:
['REF_B3_1989','REF_B2_1989','REF_B1_1989'], min:0, max:0.3}, 'Landsat 5 -
1989 Corrigida', false);

// --- 1995 ---
var const_1995 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_1995).rename('ref_mb1_1995'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_1995).rename('ref_mb2_1995'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_1995).rename('ref_mb3_1995'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_1995).rename('ref_mb4_1995'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_1995).rename('ref_ad1_1995'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_1995).rename('ref_ad2_1995'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_1995).rename('ref_ad3_1995'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_1995).rename('ref_ad4_1995'),

  ee.Image.constant(sun_elev_1995).rename('sun_elev_1995'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_1995).rename('e_sun_d_1995')
]).toFloat();

var imagel1995_with_constants = imagel1995.addBands(const_1995);

var REF_B1_1995 = imagel1995_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1995_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': imagel1995_with_constants.select('ref_mb1_1995'),
    'ref_ad': imagel1995_with_constants.select('ref_ad1_1995'),
    'sun': imagel1995_with_constants.select('sun_elev_1995'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_1995');

var REF_B2_1995 = imagel1995_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1995_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': imagel1995_with_constants.select('ref_mb2_1995'),
    'ref_ad': imagel1995_with_constants.select('ref_ad2_1995'),
    'sun': imagel1995_with_constants.select('sun_elev_1995'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_1995');

var REF_B3_1995 = imagel1995_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': imagel1995_with_constants.select('B3'),
    'ref_mb': imagel1995_with_constants.select('ref_mb3_1995'),
    'ref_ad': imagel1995_with_constants.select('ref_ad3_1995'),
    'sun': imagel1995_with_constants.select('sun_elev_1995'),
    'pi': Math.PI
  }

```

```

    }).rename('REF_B3_1995');

var REF_B4_1995 = image1995_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image1995_with_constants.select('B4'),
    'ref_mb': image1995_with_constants.select('ref_mb4_1995'),
    'ref_ad': image1995_with_constants.select('ref_ad4_1995'),
    'sun': image1995_with_constants.select('sun_elev_1995'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B4_1995');

var image1995_ref = ee.Image([REF_B1_1995, REF_B2_1995, REF_B3_1995,
REF_B4_1995]);
Map.addLayer(image1995_ref, {bands:
['REF_B3_1995', 'REF_B2_1995', 'REF_B1_1995'], min:0, max:0.3}, 'Landsat 5 -
1995 Corrigida', false);

// --- 2000 ---
var const_2000 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_2000).rename('ref_mb1_2000'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_2000).rename('ref_mb2_2000'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_2000).rename('ref_mb3_2000'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_2000).rename('ref_mb4_2000'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_2000).rename('ref_ad1_2000'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_2000).rename('ref_ad2_2000'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_2000).rename('ref_ad3_2000'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_2000).rename('ref_ad4_2000'),

  ee.Image.constant(sun_elev_2000).rename('sun_elev_2000'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_2000).rename('e_sun_d_2000')
]).toFloat();

var image2000_with_constants = image2000.addBands(const_2000);

var REF_B1_2000 = image2000_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2000_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': image2000_with_constants.select('ref_mb1_2000'),
    'ref_ad': image2000_with_constants.select('ref_ad1_2000'),
    'sun': image2000_with_constants.select('sun_elev_2000'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_2000');

var REF_B2_2000 = image2000_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2000_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': image2000_with_constants.select('ref_mb2_2000'),
    'ref_ad': image2000_with_constants.select('ref_ad2_2000'),
    'sun': image2000_with_constants.select('sun_elev_2000'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_2000');

var REF_B3_2000 = image2000_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2000_with_constants.select('B3'),

```

```

    'ref_mb': image2000_with_constants.select('ref_mb3_2000'),
    'ref_ad': image2000_with_constants.select('ref_ad3_2000'),
    'sun': image2000_with_constants.select('sun_elev_2000'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B3_2000');

var REF_B4_2000 = image2000_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2000_with_constants.select('B4'),
    'ref_mb': image2000_with_constants.select('ref_mb4_2000'),
    'ref_ad': image2000_with_constants.select('ref_ad4_2000'),
    'sun': image2000_with_constants.select('sun_elev_2000'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B4_2000');

var image2000_ref = ee.Image([REF_B1_2000, REF_B2_2000, REF_B3_2000,
REF_B4_2000]);
Map.addLayer(image2000_ref, {bands:
['REF_B3_2000', 'REF_B2_2000', 'REF_B1_2000'], min:0, max:0.3}, 'Landsat 5 -
2000 Corrigida', false);

// --- 2005 ---
var const_2005 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_2005).rename('ref_mb1_2005'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_2005).rename('ref_mb2_2005'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_2005).rename('ref_mb3_2005'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_2005).rename('ref_mb4_2005'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_2005).rename('ref_ad1_2005'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_2005).rename('ref_ad2_2005'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_2005).rename('ref_ad3_2005'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_2005).rename('ref_ad4_2005'),

  ee.Image.constant(sun_elev_2005).rename('sun_elev_2005'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_2005).rename('e_sun_d_2005')
]).toFloat();

var image2005_with_constants = image2005.addBands(const_2005);

var REF_B1_2005 = image2005_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2005_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': image2005_with_constants.select('ref_mb1_2005'),
    'ref_ad': image2005_with_constants.select('ref_ad1_2005'),
    'sun': image2005_with_constants.select('sun_elev_2005'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_2005');

var REF_B2_2005 = image2005_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2005_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': image2005_with_constants.select('ref_mb2_2005'),
    'ref_ad': image2005_with_constants.select('ref_ad2_2005'),
    'sun': image2005_with_constants.select('sun_elev_2005'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_2005');

```

```

var REF_B3_2005 = image2005_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2005_with_constants.select('B3'),
    'ref_mb': image2005_with_constants.select('ref_mb3_2005'),
    'ref_ad': image2005_with_constants.select('ref_ad3_2005'),
    'sun': image2005_with_constants.select('sun_elev_2005'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B3_2005');

var REF_B4_2005 = image2005_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2005_with_constants.select('B4'),
    'ref_mb': image2005_with_constants.select('ref_mb4_2005'),
    'ref_ad': image2005_with_constants.select('ref_ad4_2005'),
    'sun': image2005_with_constants.select('sun_elev_2005'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B4_2005');

var image2005_ref = ee.Image([REF_B1_2005, REF_B2_2005, REF_B3_2005,
REF_B4_2005]);
Map.addLayer(image2005_ref, {bands:
['REF_B3_2005', 'REF_B2_2005', 'REF_B1_2005'], min:0, max:0.3}, 'Landsat 5 -
2005 Corrigida', false);

// --- Constantes como banda ---
var const_2010 = ee.Image([
  ee.Image.constant(ref_mb1_2010).rename('ref_mb1_2010'),
  ee.Image.constant(ref_mb2_2010).rename('ref_mb2_2010'),
  ee.Image.constant(ref_mb3_2010).rename('ref_mb3_2010'),
  ee.Image.constant(ref_mb4_2010).rename('ref_mb4_2010'),

  ee.Image.constant(ref_ad1_2010).rename('ref_ad1_2010'),
  ee.Image.constant(ref_ad2_2010).rename('ref_ad2_2010'),
  ee.Image.constant(ref_ad3_2010).rename('ref_ad3_2010'),
  ee.Image.constant(ref_ad4_2010).rename('ref_ad4_2010'),

  ee.Image.constant(sun_elev_2010).rename('sun_elev_2010'),
  ee.Image.constant(e_sun_d_2010).rename('e_sun_d_2010')
]).toFloat();

// --- Adiciona as bandas de constantes à imagem original ---
var image2010_with_constants = image2010.addBands(const_2010);

// --- Cálculo das bandas REF ---
var REF_B1_2010 = image2010_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2010_with_constants.select('B1'),
    'ref_mb': image2010_with_constants.select('ref_mb1_2010'),
    'ref_ad': image2010_with_constants.select('ref_ad1_2010'),
    'sun': image2010_with_constants.select('sun_elev_2010'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B1_2010');

var REF_B2_2010 = image2010_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2010_with_constants.select('B2'),
    'ref_mb': image2010_with_constants.select('ref_mb2_2010'),

```

```

    'ref_ad': image2010_with_constants.select('ref_ad2_2010'),
    'sun': image2010_with_constants.select('sun_elev_2010'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B2_2010');

var REF_B3_2010 = image2010_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2010_with_constants.select('B3'),
    'ref_mb': image2010_with_constants.select('ref_mb3_2010'),
    'ref_ad': image2010_with_constants.select('ref_ad3_2010'),
    'sun': image2010_with_constants.select('sun_elev_2010'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B3_2010');

var REF_B4_2010 = image2010_with_constants.expression(
  '(ref_mb * B - ref_ad) / sin(sun * pi / 180)',
  {
    'B': image2010_with_constants.select('B4'),
    'ref_mb': image2010_with_constants.select('ref_mb4_2010'),
    'ref_ad': image2010_with_constants.select('ref_ad4_2010'),
    'sun': image2010_with_constants.select('sun_elev_2010'),
    'pi': Math.PI
  }).rename('REF_B4_2010');

// --- Empilha todas as bandas REF em uma única imagem ---
var image2010_ref = ee.Image([REF_B1_2010, REF_B2_2010, REF_B3_2010,
REF_B4_2010]);

// --- Adiciona no mapa ---
Map.addLayer(image2010_ref,
  {bands: ['REF_B3_2010', 'REF_B2_2010', 'REF_B1_2010'], min:0, max:0.3},
  'Landsat 5 - 2010 Corrigida', false);

// CORREÇÃO DA RADIÂNCIA
var colecao_RAD = colecao_1985_2010.map(function(image) {

  // --- Constantes radiométricas
  var RAD_maxb6 = 15.303;
  var RAD_minb6 = 1.238 ;
  var B6_max = 255;

  // --- Criação das bandas constantes ---
  var prop_to_bands = image

  // B6
  .addBands(ee.Image.constant(RAD_minb6).rename('RAD_minb6'))
  .addBands(ee.Image.constant(RAD_maxb6).rename('RAD_maxb6'))
  .addBands(ee.Image.constant(B6_max).rename('B6_max'));

  // --- Expressões de correção para cada banda ---

  var B6_corr = prop_to_bands.expression(
    '((RAD_maxb6 - RAD_minb6) / B6_max) * B6 + RAD_minb6', {
      'B6': image.select('B6'),
      'RAD_maxb6': prop_to_bands.select('RAD_maxb6'),
      'RAD_minb6': prop_to_bands.select('RAD_minb6'),
      'B6_max': prop_to_bands.select('B6_max')
    }
  ).rename('B6_corr');

```

```

    // --- Retorna imagem com todas as bandas corrigidas ---
    return image
      .addBands(B6_corr);
  });

var bands_corr_1985 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(0));
var bands_corr_1989 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(1));
var bands_corr_1995 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(2));
var bands_corr_2000 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(3));
var bands_corr_2005 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(4));
var bands_corr_2010 =
ee.Image(colecao_RAD.toList(colecao_RAD.size()).get(5));

//Cálculo da Temperatura de superfície TS

var TSC = colecao_RAD.map(function(image) {

  var K1 = ee.Number(image.get('K1_CONSTANT_BAND_6'));
  var K2 = ee.Number(image.get('K2_CONSTANT_BAND_6'));

  var constantes = image
    .addBands(ee.Image.constant(K1).rename('K1'))
    .addBands(ee.Image.constant(K2).rename('K2'))

  var TSC = constantes.expression(
    '(K2 / (log( (K1/B6_corr) + 1 ))) - 273.15', {
      'K2': constantes.select('K2'),
      'K1': constantes.select('K1'),
      'B6_corr': image.select('B6_corr')
    }
  ).rename('TSC');

  return image.addBands(TSC).select('TSC');
});

Map.addLayer(TSC.first(), {min:0, max:30}, 'TSC_1985', false);

var TSC_2000 = ee.Image(TSC.toList(TSC.size()).get(3));
var TSC_2005 = ee.Image(TSC.toList(TSC.size()).get(4));
var TSC_2010 = ee.Image(TSC.toList(TSC.size()).get(5));

Map.addLayer(TSC_2000, {min:0, max:30}, 'TSC_2000', false);
Map.addLayer(TSC_2005, {min:0, max:30}, 'TSC_2005', false);
Map.addLayer(TSC_2010, {min:0, max:30}, 'TSC_2010', false);

//Cálculo do IDK

```

```

var IDK = TSC.map(function(image) {

    var ppva = image.expression(
    '6.1078 * pow(2.71828, (17.3 * TSC) / (237.3 + TSC))',{
    'TSC':image.select('TSC')
    });

    var td = ppva.expression(
    '(237.3 * log(ppva /6.1078)) / (17.2688 - log(ppva / 6.1078))',{
    'ppva':ppva
    });

    var idk = td.expression(
    '(0.99 * tsc) + (0.36 * td )+ 41.5',{
    'tsc':image.select('TSC'),
    'td':td
    }).rename('IDK');

    return image.addBands(idk).select('IDK');
});

var IDK_1985 = IDK.first()
var IDK_1989 = ee.Image(IDK.toList(IDK.size()).get(1));
var IDK_1995 = ee.Image(IDK.toList(IDK.size()).get(2));
var IDK_2000 = ee.Image(IDK.toList(IDK.size()).get(3));
var IDK_2005 = ee.Image(IDK.toList(IDK.size()).get(4));
var IDK_2010 = ee.Image(IDK.toList(IDK.size()).get(5));

Map.addLayer(IDK_1985, {min:0, max:90}, 'IDK_1985', false);
Map.addLayer(IDK_1989, {min:0, max:90}, 'IDK_1989', false);
Map.addLayer(IDK_1995, {min:0, max:90}, 'IDK_1995', false);
Map.addLayer(IDK_2000, {min:0, max:90}, 'IDK_2000', false);
Map.addLayer(IDK_2005, {min:0, max:90}, 'IDK_2005', false);
Map.addLayer(IDK_2010, {min:0, max:90}, 'IDK_2010', false);

Export.image.toDrive({
    image: IDK_1985.clip(roi), // recorta à região
    description: 'IDK_1985', // nome da tarefa
    folder: 'desconforto_termico', // pasta no seu Google Drive
    region: roi, // região de interesse
    scale: 10, // resolução espacial (em metros)
    maxPixels: 1e13 // limite de pixels
});

Export.image.toDrive({
    image: image2010_ref.clip(roi), // recorta à região
    description: 'VISNIR_corrigena_2010', // nome da tarefa
    folder: 'desconforto_termico', // pasta no seu Google Drive,
    crs: 'EPSG:31980',
    region: roi, // região de interesse
    scale: 10, // resolução espacial (em metros)
    maxPixels: 1e13 // limite de pixels
});

```

```
// FIM DO SCRIPT
```

APÊNDICE B - Script utilizado no processamento digital de imagens em ambiente GEE para o Landsat-8.

```
//INICIO DO SCRIPT
// Função para obter a imagem com menor porcentagem de nuvens para um ano
específico
function getImageWithLeastClouds(year) {
  var collection = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1') // Landsat 8
  Nível 1 (bruto)
  .filter(ee.Filter.calendarRange(7, 7, 'month')) // Mantém apenas julho
  .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 232)) // Filtra apenas imagens do Path
  232
  .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 66)) // Filtra apenas imagens do Row 066
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 100)) // Limita a menos de 100% de
  nuvens
  .filter(ee.Filter.calendarRange(year, year, 'year')); // Filtra pelo ano
  desejado

  // Ordenar as imagens pela porcentagem de nuvem e pegar a imagem com menor
  nuvem
  var sortedCollection = collection.sort('CLOUD_COVER');
  var leastCloudImage = sortedCollection.first(); // Pega a primeira imagem
  com menor nuvem

  return leastCloudImage;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//CRIÇÃO DA COLEÇÃO DE IMAGES (2015, 2020 E
2024////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

// Obter a imagem com menor nuvem para os anos 2015, 2020 e 2024
var image2015 = getImageWithLeastClouds(2015);
var image2020 = getImageWithLeastClouds(2020);
var image2024 = getImageWithLeastClouds(2024);

// Exibir as imagens no mapa
Map.centerObject(image2015, 10);
Map.addLayer(image2015, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 8000, max: 13000},
'Landsat 8 - 2015 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image2020, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 8000, max: 13000},
'Landsat 8 - 2020 (Menor Nuvem)', false);
Map.addLayer(image2024, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 8000, max: 13000},
'Landsat 8 - 2024 (Menor Nuvem)', false);

// Imprimir as imagens filtradas com menor nuvem para cada ano
print('Código da imagem com menor nuvem de 2015:',
image2015.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 2020:',
image2020.get('system:index'));
print('Código da imagem com menor nuvem de 2024:',
image2024.get('system:index'));

// Criar uma coleção com as 3 imagens
var colecao_2015_2020_2024 = ee.ImageCollection([image2015, image2020,
image2024]);
```

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE
(°C)////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

// Aplicação da correção de radiância em cada imagem da coleção
var colecao_RAD = colecao_2015_2020_2024.map(function(image) {
  return image.expression(
    '0.00033420 * B10 + 0.10000', {
      'B10': image.select('B10') // Banda 10 (SWIR 1/Termal)
    }).rename('DN');
});

// Exibir as imagens processadas no mapa
// Para isso foi feita a correspondência entre os índices da coleção
imagecollection e equation collection
Map.addLayer(colecao_RAD.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2015.get('system:index'))).first(), {min: 0.1028651276511904, max:
0.1033549179956896, palette: ['black','white']}, 'Correção da radiância -
2015', false);
Map.addLayer(colecao_RAD.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2020.get('system:index'))).first(), {min: 8.92, max: 10.09, palette:
['black','white']}, 'Correção da radiância - 2020', false);
Map.addLayer(colecao_RAD.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2024.get('system:index'))).first(), {min: 8.92, max: 10.09, palette:
['black','white']}, 'Correção da radiância - 2024', false);

//Aplicação da equação de temperatura de superfície em graus celsius
var colecao_TSC = colecao_RAD.map(function(image) {
  return image.expression(
    '(1321.0789 / log(774.8853 / DN) + 1) - 273.15', {
      'DN': image.select('DN') // Digital Number
    }).rename('TSC');
});

var tsc_2015 = colecao_TSC.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2015.get('system:index'))).first()
var tsc_2020 = colecao_TSC.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2020.get('system:index'))).first()
var tsc_2024 = colecao_TSC.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2024.get('system:index'))).first()

Map.addLayer(tsc_2015, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TSC - 2015',false);
Map.addLayer(tsc_2020, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TSC - 2020',false);
Map.addLayer(tsc_2024, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TSC - 2024',false);

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////CALCULO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
TERRESTRE////////////////////////////////////

```

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

/////////      BANDA 2

var colecao_REFLE_B2 = colecao_2015_2020_2024.map(function(image){

    // Recupera as propriedades como números
    var ref_mb2 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_2'));
    var ref_ad2 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_2'));
    var s_elev = ee.Number(image.get('SUN_ELEVATION'));

    // Converte os valores escalares(propriedades) para bandas constantes (para
operar na expressão)
    var prop_to_bands = image
        .addBands(ee.Image(ref_mb2).rename('ref_mb2'))
        .addBands(ee.Image(ref_ad2).rename('ref_ad2'))
        .addBands(ee.Image(s_elev).rename('s_elev'));

    // Aplica a equação
    var DN_B2 = prop_to_bands.expression(
        '(ref_mb2 * B2 - ref_ad2) / sin(s_elev * 0.01745)', {
            'ref_mb2': prop_to_bands.select('ref_mb2'),
            'B2': prop_to_bands.select('B2'),
            'ref_ad2': prop_to_bands.select('ref_ad2'),
            's_elev': prop_to_bands.select('s_elev')
        }
    ).rename('DN_B2');

    return image.addBands(DN_B2); // Adiciona a banda calculada à imagem
original
});

/////////      BANDA 3

var colecao_REFLE_B3 = colecao_2015_2020_2024.map(function(image){

    // Recupera as propriedades como números
    var ref_mb3 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_3'));
    var ref_ad3 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_3'));
    var s_elev = ee.Number(image.get('SUN_ELEVATION'));

    // Converte os valores escalares(propriedades) para bandas constantes (para
operar na expressão)
    var prop_to_bands = image
        .addBands(ee.Image(ref_mb3).rename('ref_mb3'))
        .addBands(ee.Image(ref_ad3).rename('ref_ad3'))
        .addBands(ee.Image(s_elev).rename('s_elev'));

    // Aplica a equação
    var DN_B3 = prop_to_bands.expression(
        '(ref_mb3 * B3 - ref_ad3) / sin(s_elev * 0.01745)', {
            'ref_mb3': prop_to_bands.select('ref_mb3'),
            'B3': prop_to_bands.select('B3'),
            'ref_ad3': prop_to_bands.select('ref_ad3'),
            's_elev': prop_to_bands.select('s_elev')
        }
    ).rename('DN_B3');

    return image.addBands(DN_B3); // Adiciona a banda calculada à imagem
original
});

```

```

    }
    ).rename('DN_B3');

    return image.addBands(DN_B3); // Adiciona a banda calculada à imagem
original
});

/////////      BANDA 4

var colecao_REFLE_B4 = colecao_2015_2020_2024.map(function(image) {

    // Recupera as propriedades como números
    var ref_mb4 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_4'));
    var ref_ad4 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_4'));
    var s_elev = ee.Number(image.get('SUN_ELEVATION'));

    // Converte os valores escalares(propriedades) para bandas constantes (para
operar na expressão)
    var prop_to_bands = image
        .addBands(ee.Image(ref_mb4).rename('ref_mb4'))
        .addBands(ee.Image(ref_ad4).rename('ref_ad4'))
        .addBands(ee.Image(s_elev).rename('s_elev'));

    // Aplica a equação
    var DN_B4 = prop_to_bands.expression(
        '(ref_mb4 * B4 - ref_ad4) / sin(s_elev * 0.01745)', {
            'ref_mb4': prop_to_bands.select('ref_mb4'),
            'B4': prop_to_bands.select('B4'),
            'ref_ad4': prop_to_bands.select('ref_ad4'),
            's_elev': prop_to_bands.select('s_elev')
        }
    ).rename('DN_B4');

    return image.addBands(DN_B4); // Adiciona a banda calculada à imagem
original
});

/////////      BANDA 5

var colecao_REFLE_B5 = colecao_2015_2020_2024.map(function(image) {

    // Recupera as propriedades como números
    var ref_mb5 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_MULT_BAND_5'));
    var ref_ad5 = ee.Number(image.get('REFLECTANCE_ADD_BAND_5'));
    var s_elev = ee.Number(image.get('SUN_ELEVATION'));

    // Converte os valores escalares(propriedades) para bandas constantes (para
operar na expressão)
    var prop_to_bands = image
        .addBands(ee.Image(ref_mb5).rename('ref_mb5'))
        .addBands(ee.Image(ref_ad5).rename('ref_ad5'))
        .addBands(ee.Image(s_elev).rename('s_elev'));

    // Aplica a equação
    var DN_B5 = prop_to_bands.expression(
        '(ref_mb5 * B5 - ref_ad5) / sin(s_elev * 0.01745)', {
            'ref_mb5': prop_to_bands.select('ref_mb5'),

```

```

        'B5': prop_to_bands.select('B5'),
        'ref_ad5': prop_to_bands.select('ref_ad5'),
        's_elev': prop_to_bands.select('s_elev')
    }
    ).rename('DN_B5');

    return image.addBands(DN_B5); // Adiciona a banda calculada à imagem
    original
});

var b5_2015 =
ee.Image(colecao_REFLE_B5.toList(colecao_REFLE_B5.size()).get(0));
var b4_2015 =
ee.Image(colecao_REFLE_B4.toList(colecao_REFLE_B4.size()).get(0));
var b3_2015 =
ee.Image(colecao_REFLE_B3.toList(colecao_REFLE_B3.size()).get(0));
var b2_2015 =
ee.Image(colecao_REFLE_B2.toList(colecao_REFLE_B2.size()).get(0));

var visnir_2015 = ee.Image([b5_2015.select('DN_B5'), b4_2015.select('DN_B4'),
b3_2015.select('DN_B3'), b2_2015.select('DN_B2')]);
Map.addLayer(visnir_2015, '', 'visnir 2015');

var b5_2020 =
ee.Image(colecao_REFLE_B5.toList(colecao_REFLE_B5.size()).get(1));
var b4_2020 =
ee.Image(colecao_REFLE_B4.toList(colecao_REFLE_B4.size()).get(1));
var b3_2020 =
ee.Image(colecao_REFLE_B3.toList(colecao_REFLE_B3.size()).get(1));
var b2_2020 =
ee.Image(colecao_REFLE_B2.toList(colecao_REFLE_B2.size()).get(1));

var visnir_2020 = ee.Image([b5_2020.select('DN_B5'), b4_2020.select('DN_B4'),
b3_2020.select('DN_B3'), b2_2020.select('DN_B2')]);
Map.addLayer(visnir_2020, '', 'visnir 2020');

var b5_2024 =
ee.Image(colecao_REFLE_B5.toList(colecao_REFLE_B5.size()).get(2));
var b4_2024 =
ee.Image(colecao_REFLE_B4.toList(colecao_REFLE_B4.size()).get(2));
var b3_2024 =
ee.Image(colecao_REFLE_B3.toList(colecao_REFLE_B3.size()).get(2));
var b2_2024 =
ee.Image(colecao_REFLE_B2.toList(colecao_REFLE_B2.size()).get(2));

var visnir_2024 = ee.Image([b5_2024.select('DN_B5'), b4_2024.select('DN_B4'),
b3_2024.select('DN_B3'), b2_2024.select('DN_B2')]);
Map.addLayer(visnir_2024, '', 'visnir 2024');

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////CALCULO DO NDVI, PROPORÇÃO DE VEGETAÇÃO E
EMISSIVIDADE////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

////////// NDVI //////////

////2015

// Calcular o NDVI entre as bandas B5 (NIR) e B4 (Red) usando a função
expression()
var ndvi_2015 = visnir_2015.expression(
  '(B5 - B4) / (B5 + B4)', {
    'B5': visnir_2015.select('DN_B5'),
    'B4': visnir_2015.select('DN_B4')
  }
).rename('NDVI');

// Exibir o NDVI no mapa
//Map.addLayer(ndvi_2015, {min: 0, max: 0.38, palette: ['#ccffce',
'#077000']}, 'NDVI - 2015',false);

////2020
// Calcular o NDVI entre as bandas B5 (NIR) e B4 (Red) usando a função
expression()
var ndvi_2020 = visnir_2020.expression(
  '(B5 - B4) / (B5 + B4)', {
    'B5': visnir_2020.select('DN_B5'),
    'B4': visnir_2020.select('DN_B4')
  }
).rename('NDVI');

// Exibir o NDVI no mapa
//Map.addLayer(ndvi_2020, {min: 0, max: 0.38, palette: ['#ccffce',
'#077000']}, 'NDVI - 2020',false);

////2024
var b5_2024 =
colecão_REFLE_B5.select('DN_B5').filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2024.get('system:index'))).first();
var b4_2024 =
colecão_REFLE_B4.select('DN_B4').filter(ee.Filter.eq('system:index',
image2024.get('system:index'))).first();

// Calcular o NDVI entre as bandas B5 (NIR) e B4 (Red) usando a função
expression()
var ndvi_2024 = visnir_2024.expression(
  '(B5 - B4) / (B5 + B4)', {
    'B5': visnir_2024.select('DN_B5'),
    'B4': visnir_2024.select('DN_B4')
  }
).rename('NDVI');

// Exibir o NDVI no mapa
Map.addLayer(ndvi_2015, {min: 0, max: 0.38, palette: ['#ccffce', '#077000']},
'NDVI - 2015',false);
Map.addLayer(ndvi_2020, {min: 0, max: 0.38, palette: ['#ccffce', '#077000']},
'NDVI - 2020',false);
Map.addLayer(ndvi_2024, {min: 0, max: 0.38, palette: ['#ccffce', '#077000']},
'NDVI - 2024',false);

////////// Proporção de Vegetação e emissividade //////////

```

```

/// 2015
// Reduz a imagem para extrair valores máximos e mínimos respectivamente
var max_ndvi_2015 = ndvi_2015.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.max(),
    geometry:ndvi_2015.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

var min_ndvi_2015 = ndvi_2015.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.min(),
    geometry:ndvi_2015.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

var pv_2015 = ndvi_2015.expression(
  '((ndvi-min_ndvi)/(ndvi-max_ndvi))**2',
  {'ndvi':ndvi_2015.select('NDVI'),
   'min_ndvi':ee.Image.constant(min_ndvi_2015), //transforma valor min em
bandas para operar no comando
   'max_ndvi':ee.Image.constant(max_ndvi_2015) //transforma valor max em
bandas para operar no comando
  }
);

// Calcula a emissividade
var emiss_2015 = pv_2015.multiply(0.004).add(0.986);

// Adiciona as acamadas
Map.addLayer(pv_2015, {min: 0, max: 15, palette: ['#ccffce', '#077000']}, 'PV
- 2015',false);
Map.addLayer(emiss_2015, {min: 0.98, max: 1.1, palette: ['#ccffce',
'#077000']}, 'Emissividade - 2015',false);

/// 2020
var max_ndvi_2020 = ndvi_2020.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.max(),
    geometry:ndvi_2020.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

var min_ndvi_2020 = ndvi_2020.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.min(),
    geometry:ndvi_2020.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

```

```

var pv_2020 = ndvi_2020.expression(
  '((ndvi-min_ndvi)/(ndvi-max_ndvi))**2',
  {'ndvi':ndvi_2020.select('NDVI'),
   'min_ndvi':ee.Image.constant(min_ndvi_2020),
   'max_ndvi':ee.Image.constant(max_ndvi_2020)
  }
);

var emiss_2020 = pv_2020.multiply(0.004).add(0.986);

Map.addLayer(pv_2020, {min: 0, max: 15, palette: ['#ccffce', '#077000']}, 'PV
- 2020',false);
Map.addLayer(emiss_2020, {min: 0.98, max: 1.1, palette: ['#ccffce',
'#077000']}, 'Emissividade - 2020',false);

/// 2024
var max_ndvi_2024 = ndvi_2024.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.max(),
    geometry:ndvi_2024.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

var min_ndvi_2024 = ndvi_2024.reduceRegion(
  {
    reducer:ee.Reducer.min(),
    geometry:ndvi_2024.geometry(),
    scale:30,
    bestEffort: true
  }
).getNumber('NDVI');

var pv_2024 = ndvi_2024.expression(
  '((ndvi-min_ndvi)/(ndvi-max_ndvi))**2',
  {'ndvi':ndvi_2024.select('NDVI'),
   'min_ndvi':ee.Image.constant(min_ndvi_2024),
   'max_ndvi':ee.Image.constant(max_ndvi_2024)
  }
);

var emiss_2024 = pv_2024.multiply(0.004).add(0.986);

Map.addLayer(pv_2024, {min: 0, max: 15, palette: ['#ccffce', '#077000']}, 'PV
- 2024',false);
Map.addLayer(emiss_2024, {min: 0.98, max: 1.1, palette: ['#ccffce',
'#077000']}, 'Emissividade - 2024',false);

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////CALCULO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE
TERRESTRE////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

//2015
var tst_2015 = tsc_2015.expression(

```

```

    '(tsc/(1+(0.0015*tsc/1.4388)*log(emiss)))',{
      'tsc':tsc_2015,
      'emiss':emiss_2015
    });

Map.addLayer(tst_2015, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TST - 2015',false);

//2020
var tst_2020 = tsc_2020.expression(
  '(tsc/(1+(0.0015*tsc/1.4388)*log(emiss)))',{
    'tsc':tsc_2020,
    'emiss':emiss_2020
  });

Map.addLayer(tst_2020, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TST - 2020',false);

//2024
var tst_2024 = tsc_2024.expression(
  '(tsc/(1+(0.0015*tsc/1.4388)*log(emiss)))',{
    'tsc':tsc_2024,
    'emiss':emiss_2024
  });

Map.addLayer(tst_2024, {min: 20, max: 40, palette: ['blue','yellow','red']},
'TST - 2024',false);

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////CALCULO DO
IDK////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

//2015
var ppva_2015 = tst_2015.expression(
  '6.1078 * pow(2.71828, (17.3 * tst) / (237.3 + tst))',{
    'tst':tst_2015
  });

var td_2015 = ppva_2015.expression(
  '(237.3 * log(ppva / 6.1078)) / (17.2688 - log(ppva / 6.1078))',{
    'ppva':ppva_2015
  });

var idk_2015 = tst_2015.expression(
  '(0.99 * tst) + (0.36 * td) + 41.5',{
    'tst':tst_2015,
    'td':td_2015
  });

Map.addLayer(idk_2015, {min: 66, max: 82, palette: ['blue','#00ff00','red']},
'IDK - 2015',false);

//2020
var ppva_2020= tst_2020.expression(
  '6.1078 * pow(2.71828, (17.3 * tst) / (237.3 + tst))',{
    'tst':tst_2020
  });

```

```

var td_2020 = ppva_2020.expression(
  '(237.3 * log(ppva /6.1078)) / (17.2688 - log(ppva / 6.1078))',{
    'ppva':ppva_2020
  });

var idk_2020 = tst_2020.expression(
  '(0.99 * tst) + (0.36 * td )+ 41.5',{
    'tst':tst_2020,
    'td':td_2020
  });

Map.addLayer(idk_2020, {min: 66, max: 82, palette: ['blue','#00ff00','red']},
  'IDK - 2020',false);

//2024
var ppva_2024= tst_2024.expression(
  '6.1078 * pow(2.71828, (17.3 * tst) / (237.3 + tst))',{
    'tst':tst_2024
  });

var td_2024 = ppva_2024.expression(
  '(237.3 * log(ppva /6.1078)) / (17.2688 - log(ppva / 6.1078))',{
    'ppva':ppva_2024
  });

var idk_2024 = tst_2024.expression(
  '(0.99 * tst) + (0.36 * td )+ 41.5',{
    'tst':tst_2024,
    'td':td_2024
  });

Map.addLayer(idk_2024, {min: 66, max: 82, palette: ['blue','#00ff00','red']},
  'IDK - 2024',false);

Export.image.toDrive({
  image: visnir_2024.clip(roi), // recorta à região
  description: 'VISNIR_corrigida_2024', // nome da tarefa
  folder: 'desconforto_termico', // pasta no seu Google Drive
  region: roi, // região de interesse
  scale: 10, // resolução espacial (em metros)
  maxPixels: 1e13 // limite de pixels
});
//FIM DO SCRIPT

```