



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

RAFAELY SCHWAAB SAMPAIO

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: CONTRIBUIÇÃO PARA O
MICROCLIMA DE ÁREA DE EXPANSÃO URBANA EM CLIMA TROPICAL**

**Cuiabá - MT
2024**

RAFAELY SCHWAAB SAMPAIO

**ANÁLISE DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: CONTRIBUIÇÃO PARA O
MICROCLIMA DE ÁREA DE EXPANSÃO URBANA EM CLIMA TROPICAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Maria de Moura Santos

**Cuiabá - MT
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S192a Sampaio, Rafaely Schwaab.

Análise de Índices de Conforto Térmico: Contribuição para o Microclima de Área de Expansão Urbana em Clima Tropical [recurso eletrônico] / Rafaely Schwaab Sampaio. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 67 f., il. color., pdf). -- 2024.

Orientadora: Flávia Maria de Moura Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Conforto térmico. 2. Geoestatística. 3. Urbanização. 4. Variáveis climáticas. I. Santos, Flávia Maria de Moura, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO: CONTRIBUIÇÃO PARA O MICROCLIMA DE ÁREA DE EXPANSÃO URBANA EM CLIMA TROPICAL

AUTORA: MESTRANDA RAFAELY SCHWAAB SAMPAIO

Dissertação defendida e aprovada em **24 de maio de 2024**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

- 1. Profa. Dra. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS** (Presidente Banca / **Orientadora**)
- 2. Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA** (Membro Interna)
- 3. Prof. Dr. JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS** (Membro Externo)

Cuiabá, 24/05/2024.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 29/05/2024, às 13:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 29/05/2024, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 10/06/2024, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jonathan Willian Zangeski Novais**, **Usuário Externo**, em 09/07/2024, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6886271** e o código CRC **640141AE**.

Referência: Processo nº 23108.037328/2024-64

SEI nº 6886271

A Deus, pelo Dom da vida,
aos meus pais, Semilda e Antônio,
por todo apoio, amor e confiança.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por serem minha inspiração, meu apoio inabalável e por tornarem possível a realização deste sonho. Vocês são os verdadeiros pilares da minha jornada da vida. Amo vocês.

A Prof.^a Dr.^a Flávia Maria de Moura Santos por sua orientação e sua amizade.

Ao meu querido tio, Epaminondas. Pelo apoio, incentivo, puxões de orelha e gargalhadas.

A todo corpo docente, coordenação e servidores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. obrigada por todo apoio e conhecimento transmitido, vocês foram essenciais para a realização deste trabalho.

Aos irmãos do grupo de pesquisa (Área de Expansão Leste), vocês são incríveis. (Roberta, Pauline e Henrique)

A panela da Física Ambiental, pela amizade construída nestes dois anos de trabalho. (Thamiris, André, Lucélio e Fernando)

Ao Marlon, presente que o PGFA me deu. Se tornou amigo, confidente e companheiro de caminhada, agradeço por todo apoio. Amo você.

A Capes pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

O tempo anda só de ida.
(Manoel de Barros)

RESUMO

Através deste trabalho buscou-se examinar o conforto térmico dos habitantes de uma área de expansão urbana em Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, investigando como a atividade humana influencia o microclima local. A metodologia incluiu a coleta de dados microclimáticos por meio de um transecto móvel durante 4 dias. Com base nesses dados, os índices de conforto, como IC, IDT e ITU, foram calculados. Foi utilizado o método de Krigagem Ordinária através do Plugin Smart-map no software QGIS, para mapear a temperatura e a umidade relativa do ar, interpolando os dados amostrais. Além disso, foram gerados mapas que identificam o tipo de material utilizado nas superfícies dos telhados e da pavimentação, possibilitando associar os impactos que cada tipo de material promove no entorno imediato, conforme os padrões de albedo pré estabelecido nas literaturas. A somatória dos mapas com os índices de conforto proporcionou uma análise abrangente do conforto térmico na área de estudo, levando em conta não apenas a sensação térmica, mas também os potenciais riscos à saúde e à produtividade dos moradores e, a partir disto, foram propostas alternativas de curto, médio e longo prazo para melhorar o microclima urbano da área de estudo.

Palavras-chave: Variáveis Climáticas, Geoestatística, Conforto Térmico, Urbanização.

ABSTRACT

This study aimed to examine the thermal comfort of residents in an urban expansion area in Cuiabá, the capital of the state of Mato Grosso, investigating how human activity influences the local microclimate. The methodology included collecting microclimatic data through a mobile transect over 4 days. Based on this data, comfort indices such as IC, IDT, and ITU were calculated. The Ordinary Kriging method was used through the Smart-map Plugin in the QGIS software to map air temperature and humidity, interpolating the sample data. Additionally, maps were generated identifying the type of material used on roof and pavement surfaces, allowing to associate the impacts each type of material has on the immediate surroundings, according to pre-established albedo standards in the literature. The integration of maps with comfort indices provided a comprehensive analysis of thermal comfort in the study area, considering not only thermal sensation but also the potential risks to residents' health and productivity. From this, short, medium, and long-term alternatives were proposed to improve the urban microclimate of the study area.

Keywords: Climate variables, Geostatistics, Thermal Comfort, Urbanization.

LISTA DE FIGURAS

1	Crescimento populacional de Cuiabá ao longo do século.	17
2	Relação inversamente proporcional UR x TAR.	24
3	Elementos do semivariograma.	31
4	Evolução da Área de Expansão Urbana Leste.	34
5	Mapa de localização da área de estudo.	35
6	Organograma de coletas.	36
7	Equipamento utilizado na coleta das informações.	37
8	Representação da fixação do equipamento de coleta no veículo. (a) visão lateral do veículo; (b) visão frontal do veículo; (c) posicionamento do equipamento no teto do veículo.	38
9	Regressão Linear Simples da Temperatura do ar.	39
10	Regressão Linear Simples da Umidade Relativa do ar.	39
11	Etapas de importação dos dados e limitação da área de estudo no Plug-in Smart-Map.	42
12	Etapas de configuração de parâmetros e interpolação no Plug-in Smart-Map. . .	42
13	Mapa de materiais utilizados nas superfícies da área de estudo.	44
14	Mapas de Temperatura do ar (Matutino).	47
15	Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Matutino).	48
16	Mapas de Temperatura do ar (Vespertino).	50
17	Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Vespertino).	51
18	Mapas de Temperatura do ar (Noturno).	53
19	Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Noturno).	54
20	Índice de Calor (IC) calculado referente a todas as amostras coletadas.	55
21	Índice de Desconforto Térmico (IDT) calculado referente a todas as amostras coletadas.	56
22	Índice de Temperatura e Umidade (ITU) calculado referente a todas as amostras coletadas.	57

LISTA DE TABELAS

1	Valores de albedo e emitância de diversas superfícies.	26
2	Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos às pessoas, de acordo com o Índice de Calor.	28
3	Nível de desconforto térmico em função do IDT.	29
4	Faixas de sensação térmica ITU.	30
5	Relação entre material da superfície e albedo.	45
6	Relação percentual do tipo de cobertura da superfície da área de estudo.	45
7	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período matutino.	47
8	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período matutino.	48
9	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período vespertino.	50
10	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período vespertino.	51
11	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período noturno.	53
12	Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período noturno.	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEU	Área de Expansão Urbana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Calor
IDT	Índice de Desconforto Térmico
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
ONU	Organização das Nações Unidas
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano
TAR	Temperatura do ar
UR	Umidade Relativa do ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problemática	15
1.2	Justificativa	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Conforto humano em espaços abertos	19
2.2	Clima	20
2.3	O microclima urbano	21
2.4	Temperatura e Umidade relativa do Ar no meio urbano	23
2.5	Coberturas de superfícies e sua influência	25
2.6	Análise de conforto ambiental	26
2.6.1	Índice de calor (IC)	27
2.6.2	Índice de Desconforto Térmico (IDT)	28
2.6.3	Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	29
2.7	Krigagem	30
2.7.1	Semivariograma	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Caracterização da área de estudo	33
3.2	Coleta dos dados	35
3.2.1	Equipamento	36
3.2.2	Transecto	37
3.3	Tratamento dos dados	38
3.4	Índice de conforto térmico (IC, IDT e ITU)	40
3.5	Elaboração mapa de materiais das superfícies	40
3.6	Elaboração dos mapas (Krigagem)	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44

4.1	Análise das superfícies da área de estudo	44
4.2	Período Matutino	46
4.3	Período Vespertino	49
4.4	Período Noturno	52
4.5	Índices de Conforto: IC, IDT e ITU	55
4.6	Análise das superfícies da área de estudo	58
4.7	Melhoramentos	59
4.7.1	Curto Prazo	59
4.7.2	Médio Prazo	59
4.7.3	Longo Prazo	60
5	CONCLUSÃO	61
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	62
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problemática

O processo de urbanização do Brasil, é caracterizado como tardio e acelerado, este teve seu início em meados dos anos 1950 a 1960, e seu fim entre os anos de 2000 a 2010. Nas últimas décadas, a sociedade implementou a ideia de que o meio rural era sinônimo da ausência de oportunidade, de estagnação e retrocesso, indo em sentido contrário ao pregado acerca do meio urbano, este, visto como favorável às oportunidades e ao desenvolvimento. Entretanto, esta perspectiva escondia todas as incertezas, abandono e discriminação que o homem rural encontraria ao migrar do campo para a cidade.

Toda a difusão desse ideal construído sobre o que era a vida nas cidades, é marcado pelo êxodo rural, que teve seu ápice por volta das décadas de 70-80, onde aproximadamente 12.5 milhões de pessoas mudaram-se para os centros urbanos. Este fenômeno fez com que cerca de 30% da população rural migrasse, em sua maioria, em busca de trabalho e melhores condições de vida. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (2018), estima-se que até 2050, aproximadamente 92,4% da população residirá o meio urbano.

A alteração da dinâmica populacional entre o rural e o urbano, na maior parte dos casos, é acompanhado da escassez de planejamento urbano adequado, que tenha um olhar mais atento as possíveis problemáticas, o que resulta em disfunções nos âmbitos social, econômico e ambiental. Dentre os problemas resultantes do crescimento acelerado dos núcleos urbanos, tem-se: ocupação de lugares inadequados para residência e atividades de comércio (que apresentam risco ambiental), impermeabilização do solo acentuada, diminuição da cobertura vegetal, degradação do meio ambiente e das fontes de recursos naturais, que têm implicado, cada vez mais, em: alteração do ciclo hidrológico, poluição em diversas escalas, alteração do albedo da superfície natural, inundações, diminuição dos maciços verdes, aumento da temperatura local, entre outros.

Reconhece-se que, o desconforto térmico é mais frequente nas proximidades dos trópicos, entretanto, nota-se que esse desconforto é mais evidente nos núcleos urbanizados, devido ao fenômeno das “Ilhas de calor”. Em razão as diversas alterações da paisagem urbana, as variáveis como Temperatura do ar, Umidade Relativa do ar, cor e rugosidade das superfícies, tem sofrido mudanças significativas que influenciam o microclima local, tornando o desconforto uma condição cada vez mais frequente.

A falta de ambiência térmica constante tem desenvolvido condições climáticas impróprias para a população, que resultam em perda da qualidade de vida do homem citadino. Isso implica

em respostas fisiológicas que podem comprometer a saúde e a capacidade de trabalho gerando stress ao corpo (fadiga) e comprometimento do rendimento das atividades desenvolvidas.

Os pré-requisitos do ser humano para estar conforto térmico, são, essencialmente, relacionadas ao bom funcionamento do organismo. O corpo é capaz de ser submetido a condição de stress ou fadiga por um tempo limitado. Contudo, tornar este cenário um hábito ou rotina, pode acarretar esgotamento físico e mental, bem como danos cerebrais mais severos, como o acidente vascular cerebral (AVC).

Estudos apontam (FROTA & SCHIFFER (2006); AYOADE (1991)) que o homem deve liberar o mínimo de calor, apenas o suficiente para que o corpo mantenha-se em 37°C. Ou seja, quando as trocas de calor ocorrem sem muitos esforços, a percepção do indivíduo é que seu corpo está confortável e seu rendimento será máximo. Isto posto, considera-se que o conforto térmico é uma questão de saúde, sendo a homeotermia necessária para garantir que as trocas de calor do homem com o meio não sejam extremas, ou seja, sem causar desgaste físico. Assim, um espaço urbano aberto que seja confortável e que atenda as condições fisiológicas de seus habitantes, é um espaço em que a homeotermia seja garantida.

No que tange o Estado de Mato Grosso, o processo de urbanização foi considerado tardio relacionado ao do Brasil, onde seu início se deu em meados das décadas de 1960-1970, devido as políticas públicas para o desenvolvimento e “ocupação dos vazios” do Norte e Centro-oeste do país. Na década de 1960, com a implementação de Brasília, teve-se o fortalecimento da rede urbana e a abertura de estradas para as regiões mais periféricas do Brasil, neste período Cuiabá teve um crescimento populacional acelerado, alcançando 57.860 habitantes. Em 1970, a cidade praticamente dobrou sua população, chegando a marca de 100.865 habitantes; em 1980, cerca de 212.984 habitantes; em 1991, 402.813 habitantes.

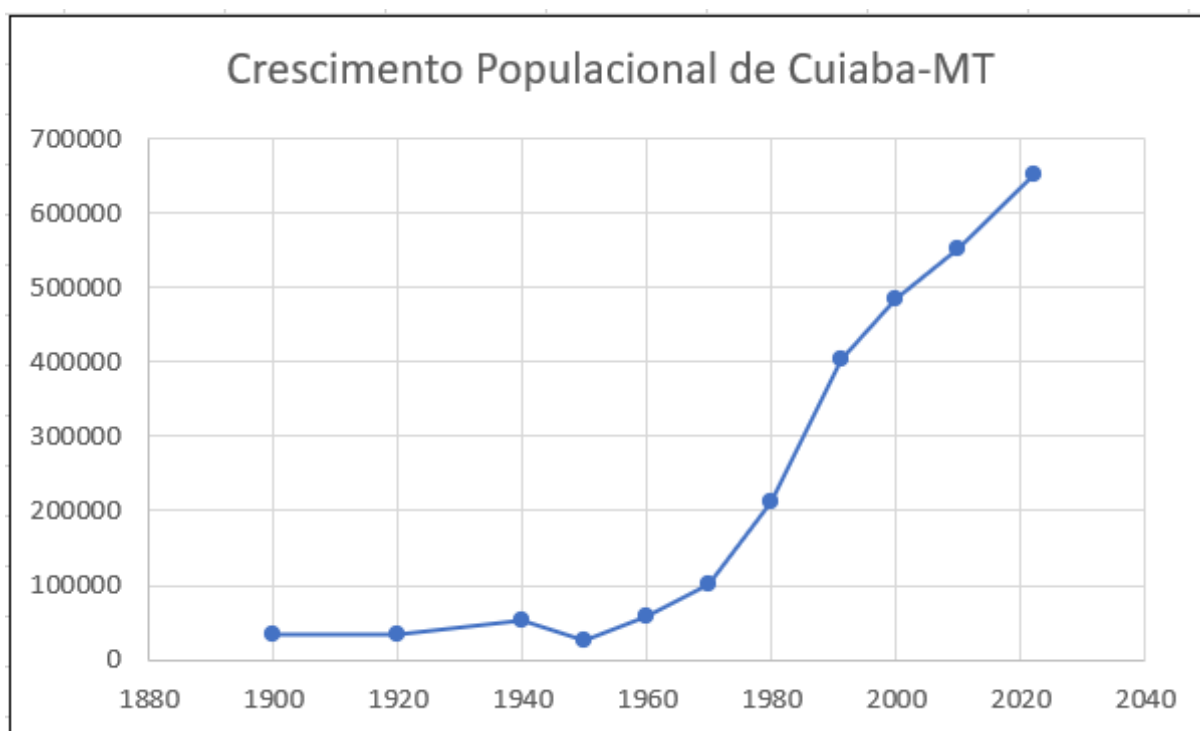
O crescimento populacional de Cuiabá, fez com que o espaço urbano também fosse aumentado, passando de 1.2 mil hectares para 25.1 mil hectares, entre os anos de 1970 e 2000. Bem como o número de bairros, antes 18, passaram a ser 115. Esta expansão indiscriminada do uso do solo veio desacompanhada de legislações efetivas, que resultaram no aumento dos bairros periféricos (áreas de expansão), na ausência de saneamento básico, na degradação de áreas de proteção ambiental, em problemas de trânsito, especulação imobiliária, desconforto térmico, entre outros.

Considerando a problemática exposta e o crescente contingente populacional das cidades, em especial de Cuiabá-MT, é imprescindível que o conforto, saúde e bem-estar coletivo sejam garantidos, visto que o processo de urbanização contínuo tem influenciado na qualidade de vida urbana, revelando-se a necessidade de um estudo acerca do desconforto real da população, de modo a auxiliar as próximas políticas públicas a serem desenvolvidas.

1.2 Justificativa

Atualmente, de acordo com o Senso de 2022 (IBGE, 2022), Cuiabá tem 650.877 residentes, conforme Figura (1), com perspectiva de que em 2060 o estado alcance a marca de 4.433.798 habitantes. Visto isso, vale ressaltar que a urbanização é um processo inevitável, assim, faz-se necessário o levantamento de todas as problemáticas envolvidas, permitindo traçar estratégias para garantir que as políticas públicas sejam adequadas e capazes de nortear o crescimento, prevenindo maiores danos, principalmente em se tratando de questões de saúde pública.

Figura 1: Crescimento populacional de Cuiabá ao longo do século.



Fonte: Autor.

O levantamento de dados e elaboração de mapas que exponham a situação real de conforto humano de uma região (de expansão urbana), é de suma importância, principalmente para tornar o conteúdo dos estudos de domínio público, em especial, para a população, que é normalmente leiga sobre o assunto, dando-os autonomia para posicionarem-se sobre o tema de maneira fundamentada, em audiências e/ou assembleias públicas.

Além disso, o material da pesquisa pode ser usado como base para corroborar para o melhoramento das Leis de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e Planos Diretores. No caso de Cuiabá, a última alteração na LUOS do município foi em Novembro de 2015, há aproximadamente uma década. Já o Plano Diretor da cidade tem cerca de 17 anos, documento este, que deve ser revisto

no máximo a cada 10 (dez) anos, segundo o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), ou seja, está extremamente defasado. Desta maneira, estudos que abordem este tema, podem corroborar no delineamento das diretrizes específicas para o desenvolvimento estratégico da cidade de forma mais assertiva. Dado isto, este trabalho tem como Objetivo Geral a análise do nível de conforto humano em um recorte de uma área de expansão urbana da cidade de Cuiabá. Tendo em vista a complexidade do tema, nesta pesquisa, os Objetivos Específicos são:

- (a) Realizar o levantamento das variáveis microclimáticas da região, através de um Transecto Móvel (Temperatura do ar, Umidade Relativa do ar e Coordenadas UTM);
- (b) Calcular os índices: Índice de Calor (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU);
- (c) Desenvolver o mapa de materiais das superfícies da região;
- (d) Calcular a proporção percentual de superfície para cada material;
- (e) Desenvolver os mapas de Temperatura do ar por meio da geostatística (Krigagem);
- (f) Desenvolver os mapas de Umidade Relativa do ar por meio da geostatística (Krigagem);
- (g) Classificar o nível de conforto da região;
- (h) Propor alternativas para o melhoramento do conforto, a curto, médio e longo prazo;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conforto humano em espaços abertos

Conforme destacado por Barbirato et al. (2007), os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do início do século anterior e tinham como objetivo primordial investigar como as condições termohigrógrafas influenciavam a produtividade laboral. O conceito de conforto é muito amplo, em aspectos e aplicações. Em síntese, conforto pode ser entendido como a sensação de satisfação das necessidades individuais, proporcionando bem-estar. Além disso, pode ser objeto de mensuração, classificação e normatização (FREITAS, 2005).

Para Schmid (2005), o conforto ambiental é uma condição em que se engloba uma variedade de fatores físicos do ambiente, como temperatura, som, iluminação e odores. Estes são reconhecidos como determinantes tanto do bem-estar quanto da experiência humana. Uma compreensão aprofundada desses elementos e sua gestão adequada são fundamentais para a criação de ambientes que promovam o conforto e a qualidade de vida dos ocupantes.

Vale ressaltar que apesar da diversidade de interpretações e classificações do conforto ambiental na arquitetura e no urbanismo, é comum dividir este conceito, para fins de estudo, em suas dimensões psicológicas e físicas. As dimensões psicológicas do conforto ambiental dizem respeito à satisfação do usuário com o espaço e à sua identificação com o ambiente. Por outro lado, as dimensões físicas (ou fisiológicas) do conforto ambiental abrangem todos os sentidos e se subdividem em conforto térmico (ou higrotérmico), visual ou lumínico, acústico, olfativo e palatal (relativo à qualidade do ar), e qualidade ergonômica (FRANÇA, 2018).

Neste contexto, concentraremos nossa análise principalmente no conforto ambiental físico em sua vertente térmica, embora considerações adicionais possam ser feitas em relação aos outros requisitos físicos de conforto ambiental ao longo do estudo. De acordo com Frota e Schiffer (2006), o corpo humano tem exigências de conforto térmico para o bom funcionamento do organismo, pois o homem tem a necessidade de liberar calor para que sua temperatura interna se mantenha em 37°C, garantindo a homeotermia. E, quando essas trocas de calor entre o meio externo e o corpo humano acontecem sem maiores esforços, a sensação de conforto térmico ocorre e a capacidade de trabalho do organismo, é máxima.

BURIOL et al. (2015) complementam ainda que, a saúde e o bem-estar coletivo está diretamente relacionado com ao clima urbano, sendo influenciada pelas variáveis climatológicas, como: temperatura do ar e umidade do ar, evaporação, velocidade do vento e radiação. Ayoade (1991) ressalta que a saúde, a disponibilidade de energia e o conforto dos seres humanos são impactados pelo clima de forma mais significativa do que por qualquer outro componente do

ambiente.

Cavalcante et al. (2017) enfatiza que avaliação e a interpretação do conforto térmico em ambientes externos podem desempenhar um papel crucial na melhoria da qualidade desses espaços, promovendo uma influência positiva sobre o uso, o comportamento dos usuários e o planejamento de novos espaços, bem como na qualidade de vida geral. Tal preocupação reflete o compromisso em proporcionar ambientes que contribuam para o bem-estar e a satisfação das pessoas.

2.2 Clima

O clima exerce uma influência significativa sobre as atividades antrópicas, enquanto o homem, por sua vez, desempenha um papel relevante na dinâmica climática por meio de suas diversas ações. Embora a influência da sociedade no clima em escala global permaneça objeto de debate entre os cientistas, há um consenso geral de que as atividades humanas têm a capacidade de alterar o clima em nível local. Um ambiente especialmente afetado por essas influências é o meio urbano, onde ocorrem práticas de modificação da paisagem por parte do homem, muitas vezes arbitrárias (AYOADE, 1991).

Um exemplo claro disso é a formação das chamadas ilhas de calor urbanas, que podem resultar em problemas de saúde, particularmente relacionados a doenças respiratórias, levando a um aumento nos custos do governo local com saúde pública. Além disso, tais modificações urbanas tendem a aumentar significativamente a exposição à radiação solar direta, reduzindo o albedo e consequentemente diminuindo a sensação de conforto térmico entre a população (MONTEIRO, 1976).

Preliminarmente, é relevante estabelecer a distinção entre os conceitos de clima e tempo (atmosférico). Ao passo que o tempo atmosférico se refere à média das condições específicas da atmosfera em um determinado local durante um período curto de tempo, o clima é uma recopilação da variabilidade dos padrões do tempo nesse mesmo local, ao longo de um período de tempo mais longo (AYOADE, 1991).

O clima abrange não apenas as condições médias, mas também as extremas, juntamente com a probabilidade de ocorrência e frequência de diferentes condições atmosféricas em cada região. Ressalta-se que o clima varia ao longo do espaço terrestre devido ao formato e distribuição dos continentes e oceanos, enquanto o tempo atmosférico varia ao longo do tempo cronológico (FREITAS, 2005).

O conceito de clima pode mudar, em escalas de abordagem macro, meso e microclimática.

Os climas naturais se referem às escalas macro e mesoclimáticas. Os climas urbanos, à escala microclimática (FREITAS, 2005a).

O clima desempenha um papel fundamental na moldagem das paisagens e na promoção da diversidade biológica em nosso planeta. Em ambientes urbanos, o microclima influencia diretamente o desenvolvimento das edificações e a formação de hábitos e costumes distintos. Essa influência climática é afetada por uma variedade de fatores locais, incluindo topografia, presença de vegetação, tipo de solo, capacidade térmica dos materiais presentes na superfície, proximidade de corpos d'água e equilíbrio entre áreas construídas e espaços abertos (BARBI-RATO; TORRES; SOUZA, 2011).

2.3 O microclima urbano

Os elementos primordiais para a configuração do microclima urbano incluem o sítio, a função e a morfologia urbana. O sítio representa a localização topográfica específica onde a cidade está situada, enquanto a função refere-se à principal atividade desenvolvida no ambiente urbano. Por sua vez, a morfologia urbana é constituída por diversos elementos, tais como solo, edifícios, lotes, quarteirões, fachadas, logradouros, traçados, ruas, praças, monumentos, vegetação e mobiliário urbano (LAMAS, 1992). Esses elementos interagem entre si para definir as características térmicas e climáticas do ambiente urbano, influenciando diretamente as condições microclimáticas da região.

De acordo com Santos (2013), os núcleos urbanos podem ser considerados como estruturas estritamente humanas, onde os seres humanos intervêm para modificar o ambiente de acordo com suas necessidades. As grandes cidades tem desenvolvido um clima urbano característico resultante da influência de vários fatores na camada de limite urbano, os quais afetam o clima em uma escala local. Isso gera uma atmosfera local com condições climáticas distintas, como temperatura e umidade relativa do ar, que diferem das observadas em áreas adjacentes. As características urbanas, incluindo o tipo e a intensidade do desenvolvimento e uso do solo, têm o potencial de alterar os elementos climáticos que compõem a atmosfera local.

Segundo Ganho (1999) e Oke (1982), as aglomerações urbanas, sejam elas singelas ou vultuosas, conseguem interferir nas características naturais do local, desenvolvendo seu próprio microclima. Este microclima reflete o efeito e influência das ações e da ocupação do homem sobre o entorno. Pavimentações, alterações na topografia, deflorestação, entre outras ações, promovem uma modificação do balanço térmico local, aumentando a incidência de radiação solar e alteram variáveis como a umidade, temperatura do ar, ventilação e precipitação.

A microrrugosidade, coloração (albedo), textura e impermeabilização das superfícies, com-

binadas com abrigos posicionados próximos ao solo, como edifícios e vegetação, constituem os elementos responsáveis por induzir diferenciações na magnitude das trocas energéticas e gasosas. Essas variações, por sua vez, têm o potencial de alterar o comportamento do ar do entorno (RIBEIRO, 1993).

Segundo NOVAIS et al. (2018), as ações antrópicas tem gerado danos ao ambiente, os quais interferem os ciclos naturais, e tão logo, alterando o comportamento de variáveis microclimáticas, como a temperatura e a umidade relativa do ar que, consequentemente, influenciam a qualidade ambiental urbana. Visto que são essas as principais responsáveis pelo conforto térmico e, ao mesmo passo que interferem nos processos metabólicos das espécies.

Desta maneira, o microclima urbano pode ser considerado, portanto, fruto da interferência de todos os fatores atuantes sobre o espaço. O qual pode ter seus efeitos notados, principalmente, pelas variações climáticas relacionadas ao conforto térmico, capazes de desordenar a vida social e comprometer a qualidade de vida dos habitantes (MONTEIRO, 1976).

Ribeiro (1993), disserta que extensão horizontal do microclima não é definida com exatidão. Onde alguns pesquisadores consideram limites de 100 metros, e outros adotam o intervalo entre 0,1 a 1000 metros, ressalta que já foram considerados valores de até 10 quilômetros para a extensão horizontal microclimática. Ainda assim, salienta que, a definição de limites rígidos para o microclima não apresenta resultados consideráveis, visto que a dimensão depende da natureza da superfície que lhe dá origem.

Para Oke (1982), em uma escala climática, o microclima é delimitado por um raio de influência de até 1 (um) quilômetro. No ambiente urbano, ao contrário do ambiente rural, as condições climáticas gerais sofreram modificações, resultando em um microclima característico das áreas urbanas, definido como “microclima urbano”.

Brandão (1996) também discorre sobre a alteração da paisagem natural e os seus efeitos nas variáveis microclimáticas:

O meio natural é substituído pelas áreas construídas, pela pavimentação asfáltica, pelo adensamento populacional etc. Essa remoção da cobertura natural, e a formulação do sítio urbano, aliado as intensas atividades socioeconômicas, proporcionam mudanças no balanço de energia entre a superfície e a atmosfera, afetando o regime hídrico das precipitações pluviais, aumento da temperatura, queda da qualidade do ar, entre outros. (BRANDÃO, 1996, p.85).

Conforme Mota (1999 apud Martins, 2022), a temperatura do ar está diretamente relacionada ao processo de urbanização, o qual influencia significativamente o ambiente urbano. Por exemplo, as ruas pavimentadas têm a capacidade de absorver calor durante o dia e liberá-lo durante a noite, contribuindo para o aumento da temperatura local. Além disso, a pavimentação urbana promove um escoamento acelerado da água da chuva, diminuindo a absorção e consequentemente, reduzindo a quantidade de água disponível no solo para evaporação. Isso resulta em uma diminuição do resfriamento da superfície terrestre, contribuindo ainda mais para o aumento da temperatura local. Esses efeitos demonstram a complexa interação entre a urbanização e o microclima urbano, destacando a importância de considerar fatores urbanos na compreensão das condições climáticas locais.

Maciel et al. (2014) discutem que muitas das intervenções no meio urbano ocorrem de maneira irregular, sem planejamento adequado, sem considerar o impacto das escolhas e decisões sobre seus moradores. E que isso, juntamente com o alto adensamento populacional, a diminuição das áreas verdes e a escolha de certos materiais, são capazes de alterar o microclima urbano, prejudicando o conforto ambiental. Consequentemente, ocorre o aumento da temperatura, a redução da umidade do ar e mudanças nos padrões de vento. O conforto nas áreas externas é comprometido, levando as pessoas a buscarem conforto nos espaços internos, o que aumenta a demanda por energia elétrica.

Embora existam numerosos estudos que abordam a influência das atividades humanas no microclima e seu impacto no conforto térmico, observa-se uma lacuna significativa na aplicação dessas pesquisas no planejamento e ordenamento urbano. A falta de implementação efetiva desses estudos reflete uma dificuldade em desenvolver metodologias que possam efetivamente contribuir para a melhoria da qualidade ambiental nas cidades. Este desafio é exacerbado pela necessidade de conscientizar a população, especialmente os gestores públicos, sobre a importância dessas questões (ELIASSON, 2000).

2.4 Temperatura e Umidade relativa do Ar no meio urbano

Como visto nos itens anteriores, a alteração das características naturais de um espaço, como impermeabilização do solo e alteração do albedo da superfície, tem a capacidade de alterar o balanço energético nas áreas urbanas. Desta forma, as temperaturas nos núcleos urbanos são consideravelmente mais elevadas, do que nas áreas rurais de mesma latitude. Verifica-se ainda que, as temperaturas aumentam a medida que aproxima-se do centro urbano. (MACIEL, 2011).

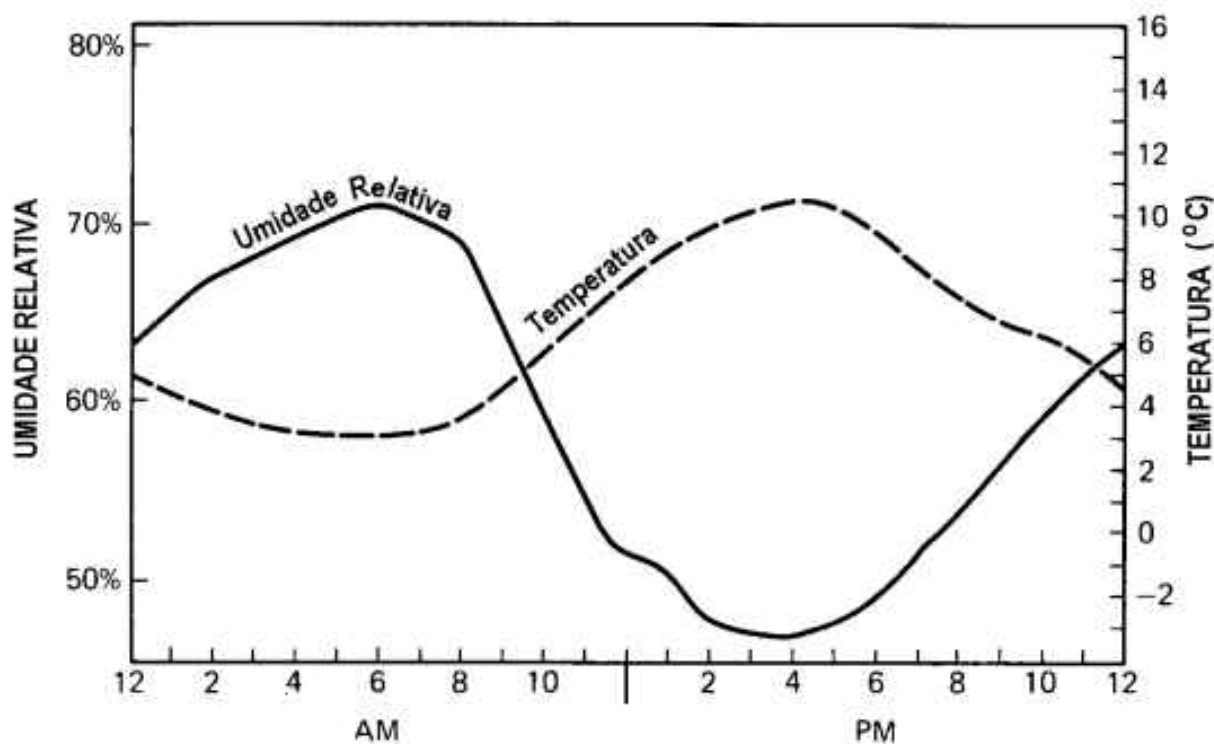
Durante o dia, as temperaturas máximas nas áreas rurais tendem a ser mais elevadas em comparação com as áreas urbanas. Isso ocorre devido à influência da poluição e das construções

urbanas, que dificultam a passagem direta da radiação solar, resultando em um menor saldo de radiação disponível no solo das cidades. Por outro lado, à noite, quando não há mais radiação solar direta, as áreas urbanas, compostas por materiais que retêm calor, começam a dissipar a energia acumulada durante o dia, enquanto as áreas rurais, com vegetação e maior ventilação, acumulam menos calor (MASCARÓ, 1996).

Desta maneira, durante a noite, as temperaturas mais elevadas serão vistas nas cidades. Outra diferença entre os espaços rurais e os urbanos é que a umidade relativa do ar é maior no campo do que na urbe, visto a maior permeabilidade do solo e da evapotranspiração das plantas. (MACIEL, 2011).

Segundo Mascaró (1996), em ambientes urbanos, a relação entre temperatura e umidade relativa do ar é influenciada pelas características do ambiente circundante. A quantidade de vapor de água presente na massa de ar é impactada pela temperatura do ar local. Nas áreas urbanas, onde as superfícies retêm e irradiam calor (radiação infravermelha) em grande quantidade, como nos centros urbanos, a temperatura local é elevada, o que resulta em um aumento da umidade absoluta e uma diminuição da umidade relativa do ar. A umidade local, portanto, é determinado pela interação entre a temperatura do ar (Figura 2) e a temperatura superficial do entorno.

Figura 2: Relação inversamente proporcional UR x TAR.



Fonte: Departamento de física, UFPR.

Esta variação da temperatura na região central em comparação com as áreas circundantes, conhecida como Ilha de Calor Urbana (ICU), apresenta um comportamento diversificado, influenciado pelo contexto urbano. A intensidade dessa ilha de calor, caracterizada pelo aumento significativo da temperatura urbana, atinge seu pico sobre a superfície e diminui gradualmente até quase desaparecer a uma altitude de 300 metros.

2.5 Coberturas de superfícies e sua influência

O desenvolvimento urbano implica em transformações tanto em termos quantitativos quanto qualitativos nas atividades urbanas, o que, por sua vez, gera a demanda por espaços adequados para sustentar essas atividades. Essas adaptações nos espaços frequentemente requerem a alteração da cobertura natural das superfícies, implementando o uso de concreto e pavimento asfáltico (MACIEL et al., 2014).

É imprescindível atentar-se ao material utilizado no recobrimento das superfícies das ruas e até mesmo das coberturas das edificações, visto que, dependendo das características físicas dos materiais implementados, são capazes de modificar o balanço de energético do local. (ROSSETI, NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2013).

O albedo é uma das características físicas mais importantes dos materiais, quando estamos analisando o microclima. Este, é a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície, sendo calculado como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade de radiação recebida (OLIVEIRA, 2014). KRÜGER e GONZALEZ (2016) definem albedo como a capacidade da superfície de absorver ou refletir energia para as superfícies do entorno imediato, com capacidade de influenciar as características do microclima e das condições de conforto térmico do pedestre.

Para descrever o albedo, pode-se usar termos qualitativos como “alto” e “baixo”, correspondendo as “cores refletivas/claras” e “cores absorventes/escuras”, respectivamente, ou termos quantitativos, ou seja, valores entre 0 e 1. A contribuição dos albedos mais baixos para as ilhas de calor pode ser significativa (Taha et al. 1990). O albedo para ondas curtas e radiação infravermelha próxima é um dos fatores mais importantes na microclimas. A sensibilidade do balanço de energia superficial e, portanto, das temperaturas da superfície e do ar, a esta variável é alta (TAHA; SAILOR; AKBARI; 1992). Segundo simulações de Taha et al. (1990) e Taha et al. (1988), mostraram que uma mudança de 0,01 no albedo pode produzir uma mudança de 0,2-0,25 °C na temperatura do ar a uma temperatura altura média de 5 metros acima da superfície.

Tabela 1: Valores de albedo e emitância de diversas superfícies.

Superfície	Albedo (%)	Emitância (%)
Asfalto	5-20	95
Concreto	10-35	71-90
Tijolo	20-40	90-92
Pedra	20-35	85-90
Madeira	40	90
Telhas	10-35	90
Chapas metálicas	10-16	13-28
Pintura branca ou clara	50-90	85-95
Pintura vermelha, marrom, verde	20-35	85-95
Pintura preta	2-15	90-98
Terra preta úmida	8-9	-
Terra preta seca	12-25	-
Campos verdes	3-15	-

Fonte: Adaptado de Mascaró, 1996.

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que o material Asfalto, que é amplamente presente no ambiente urbano, apresenta um albedo variando de 5 a 20%. Isso indica que apenas uma fração de 5 a 20% da radiação solar incidente é refletida pelo asfalto, enquanto o restante, de 80 a 95%, é absorvido pelo material. Esta radiação absorvida é posteriormente reemitida na forma de calor (radiação infravermelha). Da mesma forma ocorre com os demais materiais, nos percentuais indicados. Deve-se atentar ao uso dos materiais e ao respectivo efeito que ele causará no microclima do entorno imediato.

2.6 Análise de conforto ambiental

Segundo Queiroga (2019), a compreensão do conforto térmico desempenha um papel significativo na promoção da qualidade de vida e da saúde da população. Além de influenciar diretamente o comportamento das pessoas, essa compreensão também orienta o planejamento de espaços urbanos, destacando a importância de considerar aspectos térmicos na concepção e gestão de ambientes urbanos. Assim, uma abordagem holística do conforto térmico pode contribuir não apenas para o bem-estar individual, mas também para a criação de cidades mais saudáveis e sustentáveis.

De acordo com Monteiro (2018), tem-se observado uma ampla variedade de modelos e

índices foram desenvolvidos ao longo do século passado e continuam sendo propostos atualmente para avaliar a adequação entre as condições térmicas do corpo humano e as características microclimáticas de espaços abertos. Isso reflete a importância percebida pela comunidade científica em relação ao ambiente térmico e a necessidade de sua quantificação, devido a interdisciplinaridade estabelecida entre Meteorologia, Geografia, Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, os quais tem fornecido contribuições relevantes para o desenvolvimento adequado desses modelos e índices.

Os estudos relacionados ao conforto térmico tem como objetivo fundamental estabelecer metodologias para avaliar as condições mínimas para um ambiente termicamente adequado para a população desenvolver suas atividades. Essas investigações são fundamentadas, principalmente, na busca pela satisfação térmica do indivíduo com o ambiente, no aprimoramento de sua performance e na promoção da conservação de energia (VERGARA, 2001). Alguns métodos de avaliação serão expostos a seguir.

2.6.1 *Índice de calor (IC)*

Para Nóbrega e Lemos (2011), o Índice de Calor (IC) é um índice que relaciona o valor da temperatura do ar (°C) e a umidade relativa do ar (%) para determinar quanto calor que sentimos. Esse índice também é conhecido como temperatura aparente, relacionando a temperatura aparente com desconforto para os organismos. A fórmula é representada pela equação 2.1, onde o IC é o índice de calor, onde T é a temperatura do ar em graus Celsius e UR é a umidade relativa do ar em percentual:

$$\begin{aligned} IC = & -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times UR - 0.22475541 \times T \times UR \\ & - 6.83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1.22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR \quad (2.1) \\ & + 8.5282 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1.99 \times 10 \times T^2 \times UR^2 \end{aligned}$$

Esse índice foi criado por Steadman em 1979, relacionando valores de variáveis climatológicas com a sensação térmica sentida pelo organismo, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos às pessoas, de acordo com o Índice de Calor.

Índice de Calor (IC)	Nível de Alerta	Síndrome de Calor
< 27°C	Ausência de Alerta	-
27°C a 32°C	Atenção	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
32°C a 41.1°C	Muito Cuidado	Possibilidade de câimbras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
41.2°C a 54°C	Perigo	Câimbras, insolação e esgotamento prováveis. Possibilidade de dano cerebral (AVC) para exposições prolongadas com atividade física.
> 54°C	Extremo Perigo	Insolação e Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.

Fonte: Adaptado de National Weather Service Eather Forecast Office, NOAA.

2.6.2 *Índice de Desconforto Térmico (IDT)*

O Índice de Desconforto Térmico é uma métrica derivada da interação entre a umidade relativa do ar e a temperatura. Esse indicador desempenha um papel crucial na avaliação do conforto térmico em locais específicos, assim como em escala urbana. A precisão dessas medidas é essencial para determinar se um ambiente específico ou até mesmo uma cidade oferece condições térmicas confortáveis para sua população. Além disso, os valores desses índices estão diretamente associados aos níveis de alerta para condições térmicas extremas, podendo indicar a presença de sintomas fisiológicos adversos entre os habitantes expostos (CAVALCANTE et al., 2017).

A fórmula é representada pela equação 2.2 abaixo, onde IDT é o índice de desconforto térmico, onde T é a temperatura do ar em graus Celsius e UR é a umidade relativa do ar em percentual:

$$IDT = T - (0.55 - 0.0055 \times UR) \times (T - 14.5) \quad (2.2)$$

A Tabela 3 apresenta os intervalos que essa métrica é capaz de classificar.

Tabela 3: Nível de desconforto térmico em função do IDT.

IDT (°C)	Índice de Desconforto Térmico
IDT < 14.9	Desconfortável (frio)
15 < IDT < 19.9	Confortável
20 < IDT < 26.4	Conforto Parcial
IDT > 26.5	Desconfortável (calor)

Fonte: SILVA, et. al. (2009).

2.6.3 *Índice de Temperatura e Umidade (ITU)*

Conforme observado por Barbirato et al. (2007), o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é frequentemente adotado nos trópicos devido à sua praticidade e é um dos parâmetros utilizados para avaliar o estresse térmico em espaços urbanos ao ar livre. A fórmula é representada pela equação 2.3, onde ITU é o índice de desconforto térmico, onde T é a temperatura em graus Celsius e UR é a umidade relativa do ar em percentual:

$$ITU = (0.8 \times T) + \left(\frac{UR \times T}{500} \right) \quad (2.3)$$

Este índice estabelece três categorias de conforto térmico para ambientes externos: confortável, para temperaturas entre 21°C e 24°C; levemente desconfortável, para temperaturas entre 24°C e 26°C; e extremamente desconfortável, para temperaturas acima de 26°C. No entanto, o ITU não oferece uma classificação específica para valores abaixo de 21°C, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Faixas de sensação térmica ITU.

Faixas	ITU (°C)	Níveis de conforto
1	$21 < \text{ITU} < 24$	Confortável
2	$24 < \text{ITU} < 26$	Levemente desconfortável
3	$\text{ITU} > 26$	Extremamente desconfortável

Fonte: Adaptado de Nóbrega e Lemos (2011).

E, embora existam índices de conforto térmico mais complexos do que o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), este tem sido amplamente adotado devido à sua simplicidade, uma vez que se baseia exclusivamente em informações meteorológicas, como Temperatura e Umidade Relativa do ar (NOVAIS et al., 2018).

2.7 Krigagem

O termo Krigagem surgiu devido à Daniel G. Krige, sendo o pioneiro em implementar o uso de médias móveis para mitigar a superestimação sistemática de na indústria de mineração (CAMARGO, 2004). Krigagem é uma metodologia de interpolação de dados utilizada na geostatística, para a predição de dados espaciais. Esta abordagem viabiliza a análise da autocorrelação presente nos atributos de variáveis regionalizadas, as quais manifestam dependência espacial. Tais variáveis exibem certa continuidade ou dispersão espacial, possibilitando assim a utilização de dados amostrais coletados em pontos específicos para interpolar a estimativa de valores em pontos desconhecidos, onde a informação acerca da variável é ausente (HENGL, 2009).

O método de krigagem compreende a utilização de ponderadores, os quais são destinados a conduzir as estimativas a erros nulos e a reduzir a variância. A determinação desses ponderadores é realizada com base nas curvas ajustadas dos variogramas da amostragem espacial, e sua função primordial é determinar a contribuição dos dados amostrais na estimativa de novos valores (OLEA, 1999).

De forma sucinta, Camargo et al. (2004) delineiam as seguintes características da técnica de krigagem:

- (a) A krigagem é um método estatístico espacial que considera as propriedades de autocorrelação espacial das variáveis regionalizadas;
- (b) É esperada uma certa continuidade espacial nas variáveis regionalizadas, o que viabiliza

a utilização dos dados amostrais de determinados pontos para estimar valores em pontos onde a variável é desconhecida;

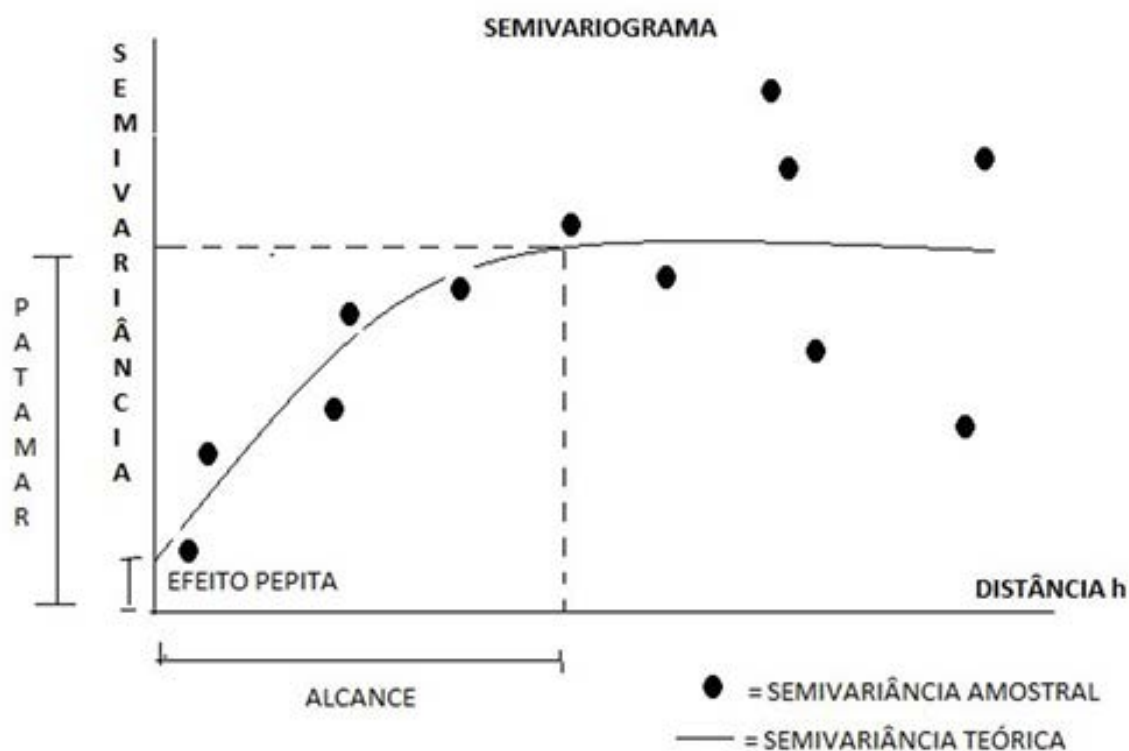
- (c) Quando a análise revela a ausência de continuidade espacial na variável na área de estudo, não há justificativa lógica para realizar a estimativa ou interpolação utilizando a krigagem.

A krigagem engloba uma série de métodos para predição de valores, como: Krigagem Simples, Ordinária, Universal, Indicativa, Disjunta, Cokrigagem e com Deriva Externa. Neste trabalho serão avaliadas as aplicações das técnicas de Krigagem Ordinária para a interpolação dos variáveis coletadas.

2.7.1 Semivariograma

O semivariograma é uma ferramenta imprescindível para o uso da metodologia de Krigagem, é através dele que é possível desenvolver um modelo para descrever a dependência espacial entre as amostras (CAMARGO, 1998). Preliminarmente, antes de efetuar a interpolação dos dados, faz-se necessário estimar alguns parâmetros do semivariograma, como: o alcance, o patamar e o efeito pepita.

Figura 3: Elementos do semivariograma.



Fonte: LUDGREN, SILVA e FERREIRA, 2017.

Camargo et al. (2004), descrevem o alcance como a distância máxima em que as amostras ainda apresentam correlação espacial. A partir dessa distância, o modelo não é capaz de estabelecer correlação entre as amostras, apresentando dependência espacial nula.

Considerando o fato de que a dependência espacial é uma característica primordial para que a krigagem apresente resultados confiáveis, é importantíssimo conhecer a limitação do modelo em relação as previsões das amostras.

Outro elemento do semivariograma é o efeito pepita, também conhecido como "*nugget*". Este índice apresenta a descontinuidade observada no semivariograma, parte da qual pode ser atribuída aos erros cometidos durante as medições. Por fim, o patamar, que é o valor da semi-variância em que os dados começam a perder sua estrutura espacial, após esse ponto, a variância é vista como um platô, onde torna-se contínua independente da distância (CARMARGO, 2004; LUDGREN, SILVA e FERREIRA, 2017).

Segundo Vilela (2004), é crucial que o modelo seja ajustado com precisão para garantir a confiabilidade da krigagem. Caso a estimação dos parâmetros não seja apropriada, a interpolação pode produzir resultados distorcidos. Em suma, o objetivo da krigagem ordinária é modelar tanto o efeito pepita quanto o efeito patamar para fornecer uma estimativa precisa e confiável dos valores desconhecidos em locais não amostrados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, localizada na região Centro-Oeste do Brasil. A cidade está situada na porção centro-sul do estado, especificamente nas coordenadas 15° 35' 46" de latitude sul e 56° 5' 48" de longitude oeste.

Com uma área total aproximada de 3.538,17 km², Cuiabá possui uma divisão espacial em que 254,57 km² correspondem à macrozona urbana e os restantes 3.283,60 km² constituem a área rural. O município encontra-se a uma altitude média de 165 metros e está localizado na província geomorfológica conhecida como Depressão Cuiabana.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante em Cuiabá é do tipo Aw, caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação seca, que ocorre de abril a outubro, e uma estação chuvosa, que se estende de novembro a março.

Nos últimos anos, tem-se observado um significativo crescimento urbano na cidade, marcado tanto pela construção de edifícios de grande altura, quanto pela expansão horizontal da malha urbana. Essa tendência está provocando alterações no comportamento térmico dos microclimas urbanos e das edificações, uma vez que os atributos da forma urbana estão sendo transformados.

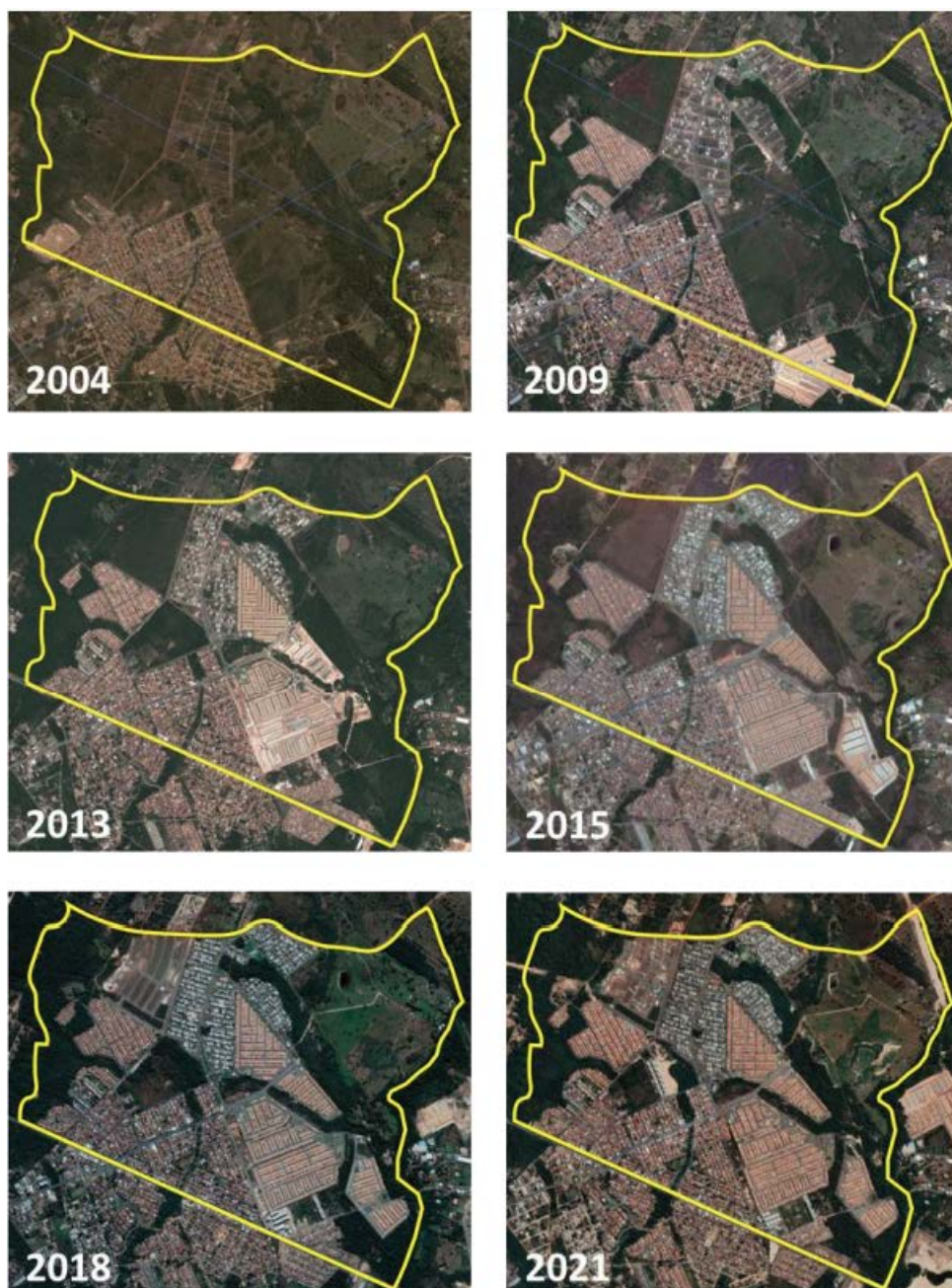
Na região urbana, certas áreas, que anteriormente tinham características rurais, têm sido designadas para expansão da ocupação urbana, conhecidas como Áreas de Expansão Urbana (AEUs). Segundo a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU)(CUIABÁ, 2013), o município conta com quatro AEUs localizadas nas regiões Norte, Sul, Leste e Oeste, as quais têm sido gradualmente ocupadas por novos empreendimentos imobiliários e até ocupações irregulares.

O Estudo realizado pelo SMDU (CUIABÁ, 2013), destacou a Área de Expansão Leste, composta por 49 bairros, delimitada ao sul pela Avenida das Torres, ao norte pela Rua Um, ao oeste pelo Córrego do Moinho e ao leste pelo Rio Coxipó, devido a acelerada ocupação ao longo dos anos.

A urbanização foi intensa nos últimos anos, deixando evidente o processo de ocupação do solo e substituição dos maciços verdes, consolidando o ambiente edificado. A expansão das áreas urbanas tem sido marcada pela transformação de espaços anteriormente verdes em ambientes construídos, como edifícios e ruas pavimentadas, que tem impactado diretamente na

disponibilidade de áreas permeáveis e na qualidade ambiental das regiões afetadas, conforme Figura 4.

Figura 4: Evolução da Área de Expansão Urbana Leste.

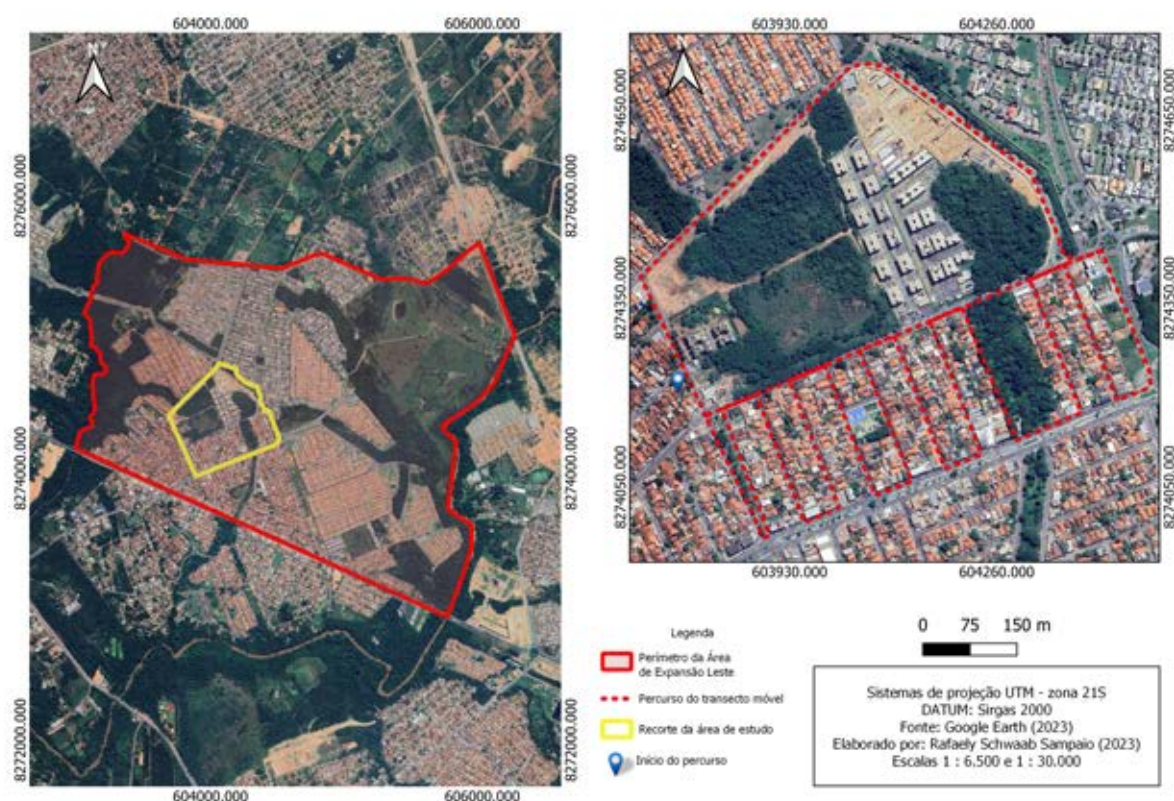


Fonte: MARTINS, 2022.

Isto exposto, o recorte da área de estudo é delimitado pelo perímetro representado na Figura 5. Este local foi escolhido propositalmente, devido sua composição espacial, com maciços verdes em porções diferentes do espaço, para que possibilite a análise da influência dos maciços verdes nas variáveis climáticas, temperatura do ar e umidade relativa do ar.

Ainda, vale ressaltar que este recorte pertence a Zona de Uso Misto (ZUM)(residencial e comercial), mas sua ocupação é predominantemente residencial, com habitações multifamiliar e unifamiliar. As atividades de comércio ficam mais próximas da região da Avenida das Palmeiras.

Figura 5: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2023.

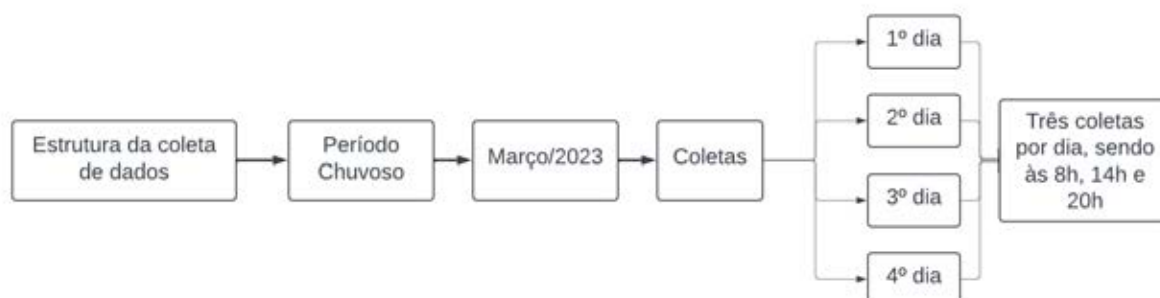
3.2 Coleta dos dados

O período selecionado para a coleta de dados foi o mês de Março, uma vez que esse período coincide com a estação chuvosa na região estudada. Durante essa época, é comum observar níveis elevados de umidade relativa do ar (UR), influenciados pelo aumento da precipitação. Considerando a capacidade da umidade relativa do ar em mitigar variações extremas de temperatura, espera-se que durante esse período não ocorram amplitudes térmicas significativas.

A coleta de dados ocorreu em março de 2023, durante quatro dias (24, 25, 27 e 28). Utilizando um transecto móvel, foram realizadas três medições diárias nos horários de 8h, 14h e 20h, conforme ilustrado na Figura 6. O objetivo foi registrar as variações térmicas ao longo do dia, considerando a inversão do balanço energético durante a noite. Os parâmetros coleta-

dos incluíram informações como temperatura do ar, umidade relativa e coordenadas UTM, que permitiram uma análise acerca do conforto térmico na área de estudo.

Figura 6: Organograma de coletas.



Fonte: Autor, 2023.

3.2.1 Equipamento

Como alternativa à utilização de instrumentos tradicionais, para aquisição dos dados experimentais inerentes às variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar deste estudo, foi utilizado um termohigrômetro projetado e desenvolvido pelo Grupo de Física Aplicada, Detectores e Automação (FADA) e Laboratório de Instrumentação I do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PPGFA)-IF-UFMT, apoiado pela FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso), por meio do Edital nº003/2021 Extensão Tecnológica - Conhecimento a Serviço da População, e, projeto “Monitorando o Clima - MT”.

O projeto visa a construção de estação micrometeorológica com chips sensores de custo médio, além do uso de impressoras 3D para a impressão do protótipo funcional. A estação foi equipada com o sensor modelo BME280, capaz de coletar umidade relativa do ar (faixa operante de 0 a 100%, precisão $\pm 3\%$) e temperatura do ar (faixa operante de -40 a 85°C , precisão $\pm 1^{\circ}\text{C}$), juntamente com um GPS, permitindo a coleta do posicionamento das variáveis (Tar e UR), estes estavam conectados a uma placa de desenvolvimento SBC (“Single Board Computer” - Computador de Placa Única) Raspberry Pi ZeroW que funciona como um processador, em sistema embarcado com sistema operacional linux (RPI OS) programado em linguagem Python e scripts Shell; tendo como fonte de alimentação um carregador portátil da marca KAIDI KD-956 10000 mAh.

Os dados foram registrados a cada dez segundos, gravados e disponibilizados no site do projeto (<https://gpfgma.ufmt.br/mclima/MT/colaboracao1/>) pelo registrador de dados (datalogger) também desenvolvido no projeto Monitorando o Clima – MT.

O abrigo projetado foi impresso com o auxílio de impressora 3D (impressora de fio quente) em material biodegradável PLA, no laboratório do PPGFA, e a ele hastes metálicas foram acrescentadas para sustentação da estação em sua instalação.

Figura 7: Equipamento utilizado na coleta das informações.



(a) Vista frontal do Equipamento e aparato de fixação.



(b) Vista lateral do Equipamento e aparato de fixação.

Fonte: Autor, 2023.

3.2.2 *Transecto*

Para realização do transecto móvel, fez-se necessário a construção de um aparato para fixação da estação micrometeorológica junto ao teto do veículo, a fim de garantir sua estabilidade e a segurança, durante o percurso. A fixação ao teto do veículo foi por meio de um kit de ventosas de dupla de sucção, Figura 7.

Figura 8: Representação da fixação do equipamento de coleta no veículo. (a) visão lateral do veículo; (b) visão frontal do veículo; (c) posicionamento do equipamento no teto do veículo.



Fonte: Autor, 2023.

Conforme Figura 8, o aparato foi projetado de maneira que o sensor ficasse posicionado à 48cm (quarenta e oito centímetros) de distância da superfície do teto do veículo, buscando evitar uma possível influência nas medidas de temperatura do ar do sensor, devido ao calor armazenado e refletivo pelo material do veículo.

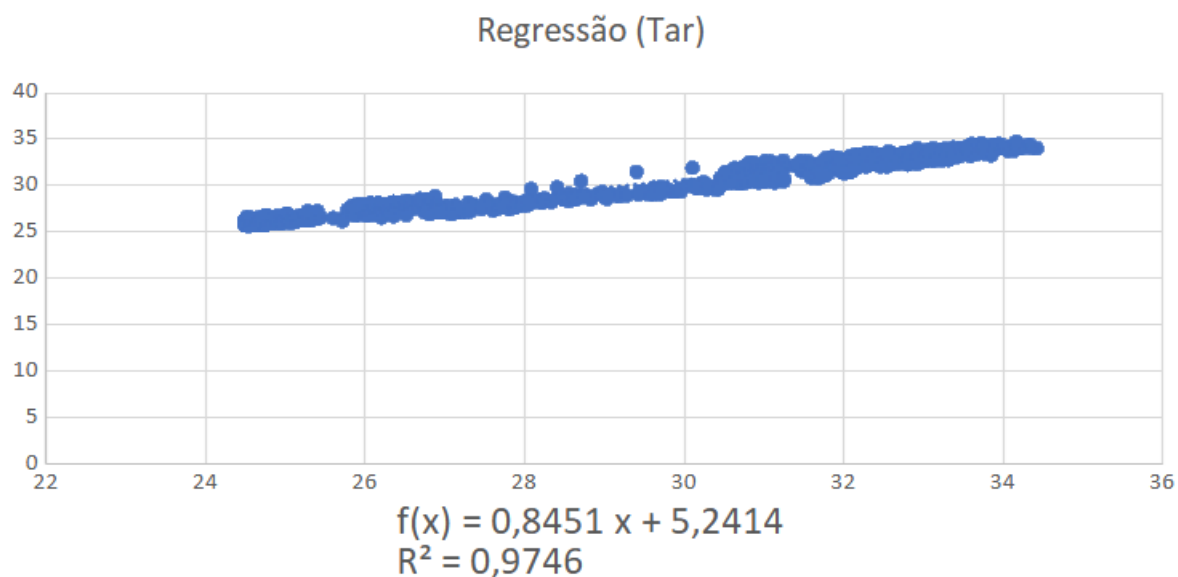
O veículo percorreu o trajeto a cerca de 20km/h (vinte quilômetros por hora), para que a velocidade dos ventos não interferisse na coleta dos dados, garantindo assim, maior precisão dos dados.

As coletas foram realizadas nos dias 24, 25, 27 e 28 de Março (período chuvoso) de 2023, totalizando quatro dias de coletas, as quais ocorreram às 8h, 14h e 20h. Permitindo um bom intervalo de dados, para análise do comportamento das variáveis.

3.3 Tratamento dos dados

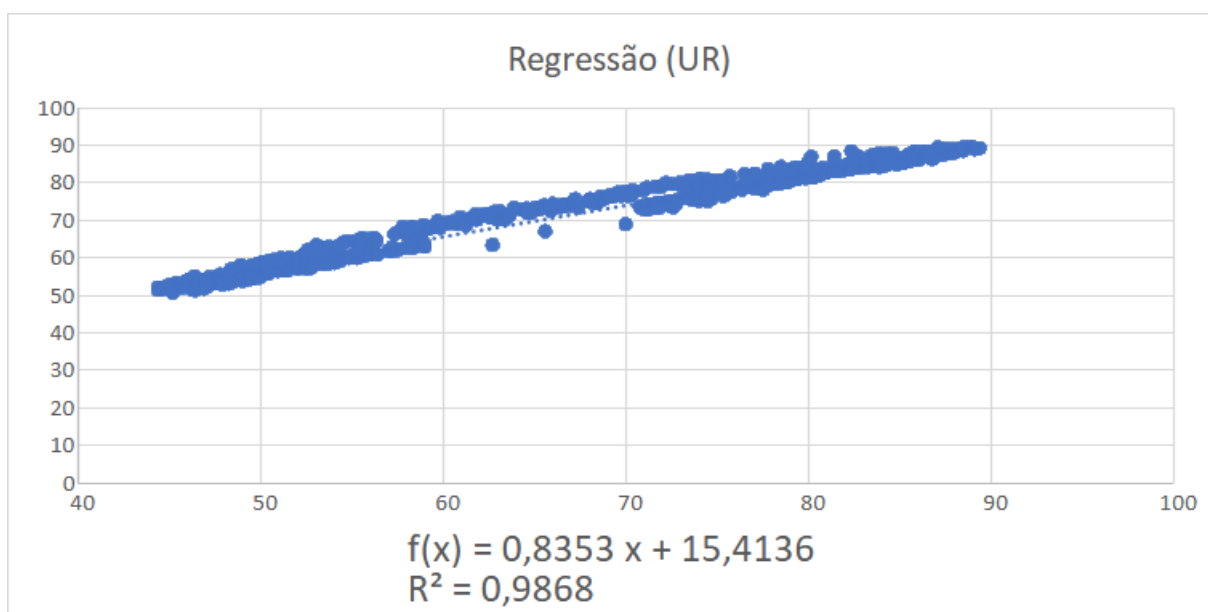
Após a finalização da coleta dos dados, fez-se necessário a utilização de um outro sensor referência, com calibramento prévio e precisão já conhecida, para que fosse possível calibrar os dados coletados pelo sensor utilizado no transecto. O sensor BME280 e o sensor Vaisala HMP155 (sensor de referência), ficaram fixados juntos na cobertura do prédio do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, coletando dados de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar durante 20 dias. Após a coleta, os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando o modelo de Regressão Linear Simples, evidenciando o Coeficiente de Correlação (r) e os Coeficientes de Determinação (R^2) entre as variáveis estudadas, conforme Figuras 9 e 10.

Figura 9: Regressão Linear Simples da Temperatura do ar.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 10: Regressão Linear Simples da Umidade Relativa do ar.



Fonte: Autor, 2023.

Com os resultados obtidos, foi possível verificar a relação linear das duas variáveis (X e Y), tendo como R^2 : 0.97 para a Temperatura do ar e R^2 : 0.98 para a Umidade Relativa do ar, mostrando um bom ajustamento dos dados. Além disso, com a equação de regressão linear de

cada um, foi possível a calibração dos dados coletados no transecto móvel.

3.4 Índice de conforto térmico (IC, IDT e ITU)

Para o cálculo do Índice de calor (IC), foi utilizada a metodologia de Steadman (1979), conforme equação (2.1). Após o cálculo do índice, foi utilizada a tabela de Níveis de alerta e possíveis sintomas fisiológicos, para averiguar o conforto ou desconforto do pedestre, conforme Tabela 2.

Para o cálculo do Índice de Desconforto Térmico - IDT, foi utilizado a metodologia de Thom (1959) citado por Monteiro e Alucci (2005), conforme Equação (2.2) em que o índice é função da temperatura máxima e umidade relativa do ar. Após o cálculo do índice, foi utilizada a tabela de Níveis de desconforto térmico em função do IDT, conforme Tabela 3.

O cálculo do Índice de Temperatura e Umidade-ITU, foi realizada conforme Equação (2.3) é utilizado para quantificar o “stress” em ambientes urbanos (BARBI-RATO et al., 2007). Após o cálculo do índice, foi utilizada a tabela de Níveis de desconforto térmico em função do ITU, conforme Tabela 4.

Para cada índice foi gerado um gráfico com os valores calculados de todas as amostras dos períodos: matutino, vespertino e noturno. Cada gráfico contém a legenda de suas respectivas faixas/níveis de conforto, conforme tabelas de referência apresentadas anteriormente, para facilitar a visualização.

3.5 Elaboração mapa de materiais das superfícies

Os mapas de materiais implementados nas superfícies, foi utilizado o software *QGIS Geographic Information System. Versão 3.22.1. Open Source Geospatial Foundation Project.*

Para realizar a análise das superfícies, foi necessário criar um novo *shapefile* para cada material identificado. Primeiramente, selecionou-se a categoria Polígono como tipo de geometria e definiu-se o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

Após a criação do *shapefile*, iniciou-se o processo de desenho dos polígonos baseando-se na visualização aérea da região, obtida via Google Earth. Essa etapa permitiu a identificação dos materiais de cobertura pela coloração específica de cada um. Com o *shapefile* ativo, utilizou-se as ferramentas de edição do QGIS para desenhar os polígonos diretamente sobre o mapa. Para cada polígono desenhado, a sessão de edição foi concluída clicando em *Stop Editing*, salvando-

se cada alteração. Esse procedimento foi repetido até que todas as áreas das superfícies fossem mapeadas, abrangendo telhados, ruas, áreas verdes e áreas vazias.

Os materiais identificados foram: telha cerâmica, telha metálica, telha de fibrocimento, grama verde, solo nu, cobertura asfáltica e árvores. Assim, foi possível criar o mapa de materiais utilizados nas superfícies da área de estudo (13), como são identificados os principais materiais das coberturas, pavimentação, etc.

Com todos os polígonos desenhados, o próximo passo foi calcular a área efetiva de cada material utilizando a função *CalcArea*. Para efetuar o cálculo das áreas, foi necessário abrir a tabela de atributos do shapefile. Isso foi feito clicando com o botão direito sobre o shapefile na tabela de conteúdo e selecionando *Open Attribute Table*. Em seguida, adicionou-se um novo campo para armazenar os valores das áreas clicando em *Table Options* e selecionando *Add Field*. Após a criação do novo campo, clicou-se com o botão direito na coluna correspondente e selecionou-se *Calculate Geometry*. Na janela que se abriu, escolheu-se a opção *CalcÁrea* como a propriedade a ser calculada. Definiu-se a unidade de medida como metros quadrados e finalizou-se as definições de cálculo clicando em *OK*. O QGIS então calculou automaticamente a área de cada polígono e preencheu o campo correspondente na tabela de atributos.

Com os valores das áreas calculados, foi possível elaborar uma tabela detalhando a área de cada material em relação à área total estudada, permitindo uma análise percentual da distribuição dos materiais na superfície analisada.

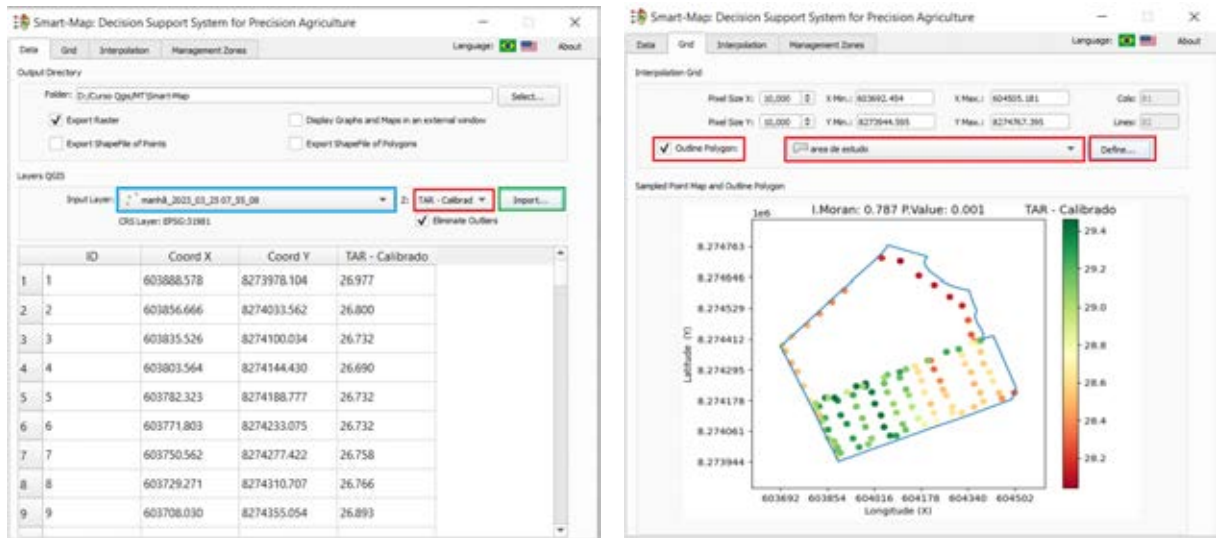
3.6 Elaboração dos mapas (Krigagem)

Para a elaboração dos mapas de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar a partir da geostatística, a partir da metodologia de Krigagem, fez-se necessária a utilização do software *QGIS Geographic Information System. Versão 3.22.1. Open Source Geospatial Foundation Project*. Bem como os *plug-ins*: QuickMapServices (versão 0.19.34) e Smart-Map (versão 1.3.2). Inicialmente, foram importados para o Qgis, os shapefiles: *UF_BRASIL.shp*, *Sedes Municipais_Brasil.shp* e *Cuiabá_setores_2021.shp*, ambos baixados do repositório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O plug-in QuickMapServices foi utilizado para importar o shapefile do GoogleMaps para o arquivo trabalhado. Posteriormente, foi possível importar os arquivos .csv, que continham os dados coletados no transecto móvel, previamente separados por períodos: Matutino, Vespertino e Noturno. Este arquivo era composto por cinco colunas, contendo: data, Temperatura do ar calibrada, Umidade Relativa do ar calibrada, Coordenada X (UTM) e Coordenada Y (UTM). A inserção deste arquivo no software gerou a malha de pontos necessária para realizar

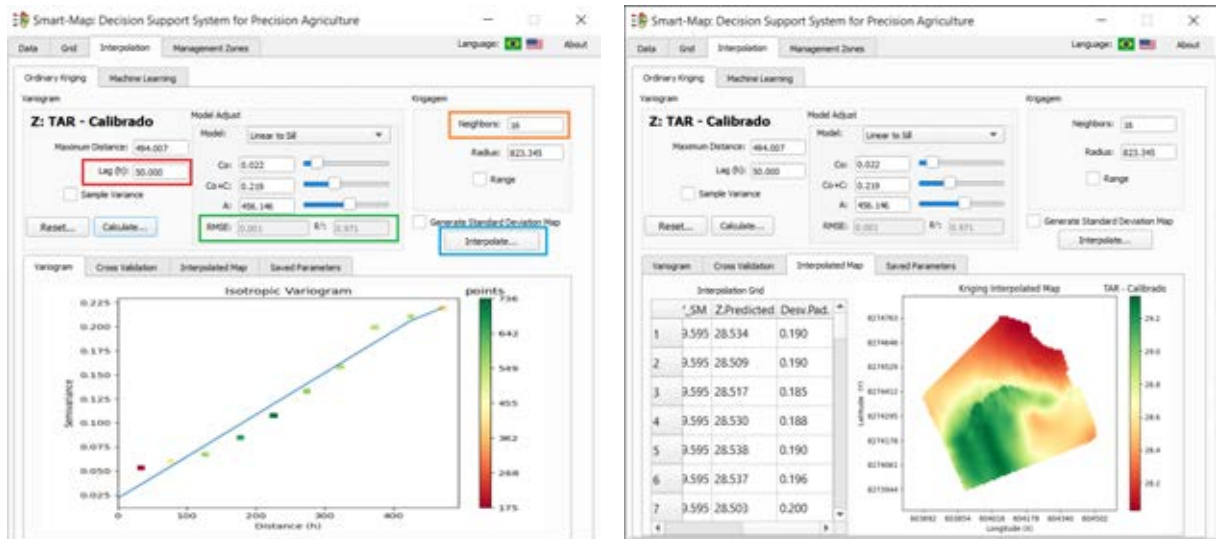
a interpolação pelo Plug-in Smart-Map.

Figura 11: Etapas de importação dos dados e limitação da área de estudo no Plug-in Smart-Map.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 12: Etapas de configuração de parâmetros e interpolação no Plug-in Smart-Map.



Fonte: Autor, 2023.

Após importados os dados no Plug-in Smart-Map, na aba Grid definimos os limites da interpolação, que é o perímetro da área de estudo em questão. A próxima etapa é a definição

dos parâmetros da interpolação.

Na aba Interpolation, alguns parâmetros são fixados, dentre eles, o *Lag*. Em krigagem, o *Lag* refere-se à distância ou intervalo entre os pontos de amostragem ou observações em um conjunto de dados geoespaciais. Especificamente, o *Lag* é a distância entre um ponto de interesse (o ponto no qual se deseja estimar o valor) e os pontos de amostragem ao seu redor, que são usados para estimar esse valor por meio de krigagem.

O conceito de *Lag* é fundamental na krigagem porque influencia a precisão e a confiabilidade das estimativas. O ajuste correto do *Lag* é crucial para garantir que as características espaciais dos dados estejam sendo devidamente capturadas no processo de interpolação espacial. Um *Lag* muito pequeno pode resultar em estimativas excessivamente suavizadas, enquanto um *Lag* muito grande pode introduzir imprecisão nas estimativas devido à variação espacial não capturada entre os pontos de amostragem.

Portanto, para manter uma homogeneidade na distribuição dos pontos (coletados e preditos) no mapa, foi definido um *Lag* de 50m (cinquenta metros), visto que os pontos medidos (coletados) estão distribuídos aproximadamente a cada 50m no percurso, e para manter esse padrão, fixou-se esse valor para os pontos a serem preditos.

Isto posto, os valores de RMSE, que é uma medida que indica a diferença entre os valores observados e os valores previstos pelo modelo, onde quanto menor o valor do RMSE, melhor é o desempenho do modelo de krigagem em prever os valores reais. Esse coeficiente, ficou muito próximo de zero tanto nos mapas de Tar, quanto de UR. Já o R^2 , que é o coeficiente de determinação, é uma medida estatística que indica a proporção da variabilidade dos dados de saída que é explicada pelo modelo de krigagem. Ele varia de 0 a 1, onde 1 indica um ajuste perfeito do modelo aos dados. E, em todas as interpolações obteve-se R^2 maior que 0.90.

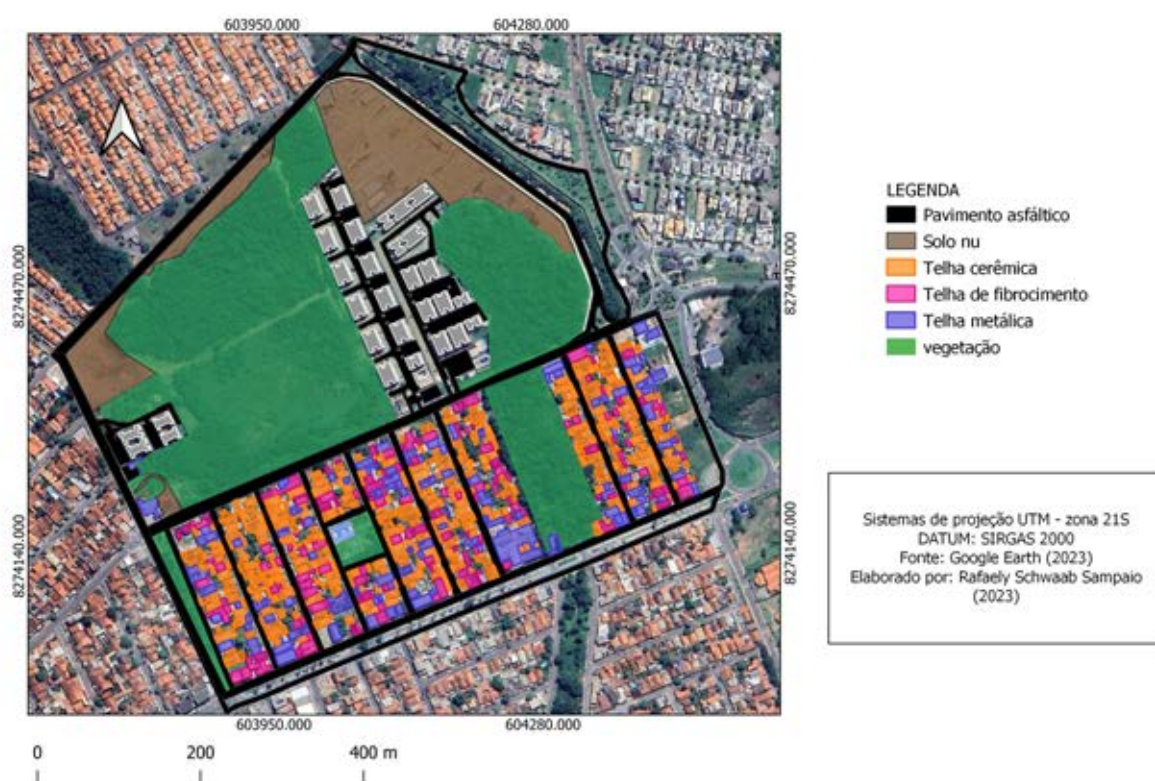
Desta maneira, os mapas de Temperatura do ar e de Umidade Relativa do ar foram elaborados, gerando ao final das interpolações, 24 mapas, sendo 12 mapas de Tar e 12 mapas de UR, os quais foram divididos nos períodos matutino, vespertino e noturno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise das superfícies da área de estudo

O mapa de materiais implementados nas superfícies da área de estudo foi elaborado a partir de imagens de satélite, através do software Qgis, que permitiu a análise percentual de cada tipo de material, conforme tabela 6.

Figura 13: Mapa de materiais utilizados nas superfícies da área de estudo.



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5: Relação entre material da superfície e albedo.

Material	Albedo (290 a 2500nm)
Telha cerâmica vermelha	0.35
Telha metálica (alumínio, zinco)	0.60
Materiais de base cimentícia (telha de fibrocimento, lajes)	0.30
Árvores	0.18
Gramma verde	0.30
Solo nu	0.15
Cobertura asfáltica	0.20

Fonte: Adaptado de Berkeley Lab Heat Island Group.

Tabela 6: Relação percentual do tipo de cobertura da superfície da área de estudo.

Tipo de Cobertura	Área (m²)	%
Área total	369.330	100
Asfalto	58.538	15.85
Solo nu	34.754,3	9.41
Área verde	139.035,4	37.65
Telha metálica	14.872,1	4.03
Telha de fibrocimento	13.214,1	3.58
Telha de cerâmica	33.326,4	9.03
Lajes impermeabilizadas	9.666,73	2.62

Fonte: Autor, 2024.

O mapa acima exhibe a distribuição dos diferentes materiais utilizados nas superfícies na área de estudo, destacando a variação do albedo em cada tipo de cobertura. Em maior proporção, foram identificadas áreas verdes, caracterizadas por um albedo de 0.18, abrangendo aproximadamente 37,65% da região. Em segundo lugar, observou-se a presença significativa de pavimentação asfáltica, apresentando um albedo de 0,20 e cobrindo cerca de 16% da área total.

O solo nu foi classificado como a terceira superfície mais frequente, com um albedo de 0,15 e ocupando aproximadamente 9,40% da superfície estudada. Na sequência, foram identificadas coberturas de telha cerâmica, com albedo de 0,35, abrangendo cerca de 9% da área. Em quinto lugar, encontram-se telhas metálicas, caracterizadas por um albedo de 0,60, e ocupando 4% da superfície total. Telhas de fibrocimento foram observadas em sexto lugar, com um albedo de 0.3, cobrindo aproximadamente 3,58% da região.

Por fim, lajes impermeabilizadas de residenciais multifamiliares foram identificadas como a superfície menos predominante, apresentando um albedo de 0.3 e ocupando cerca de 2.62% da superfície total. Essas informações são essenciais para compreender a interação entre os diferentes tipos de superfície e seu impacto no balanço energético local.

A influência dessas configurações físico-espaciais apresentadas, serão vistas por meio dos mapas de temperatura do ar e umidade relativa do ar interpolados, que serão apresentados a seguir. Esses mapas permitiram verificar como diferentes níveis de impermeabilização e os materiais aplicados na superfície são capazes de modificar o comportamento das variáveis microclimáticas e o impacto microclima local.

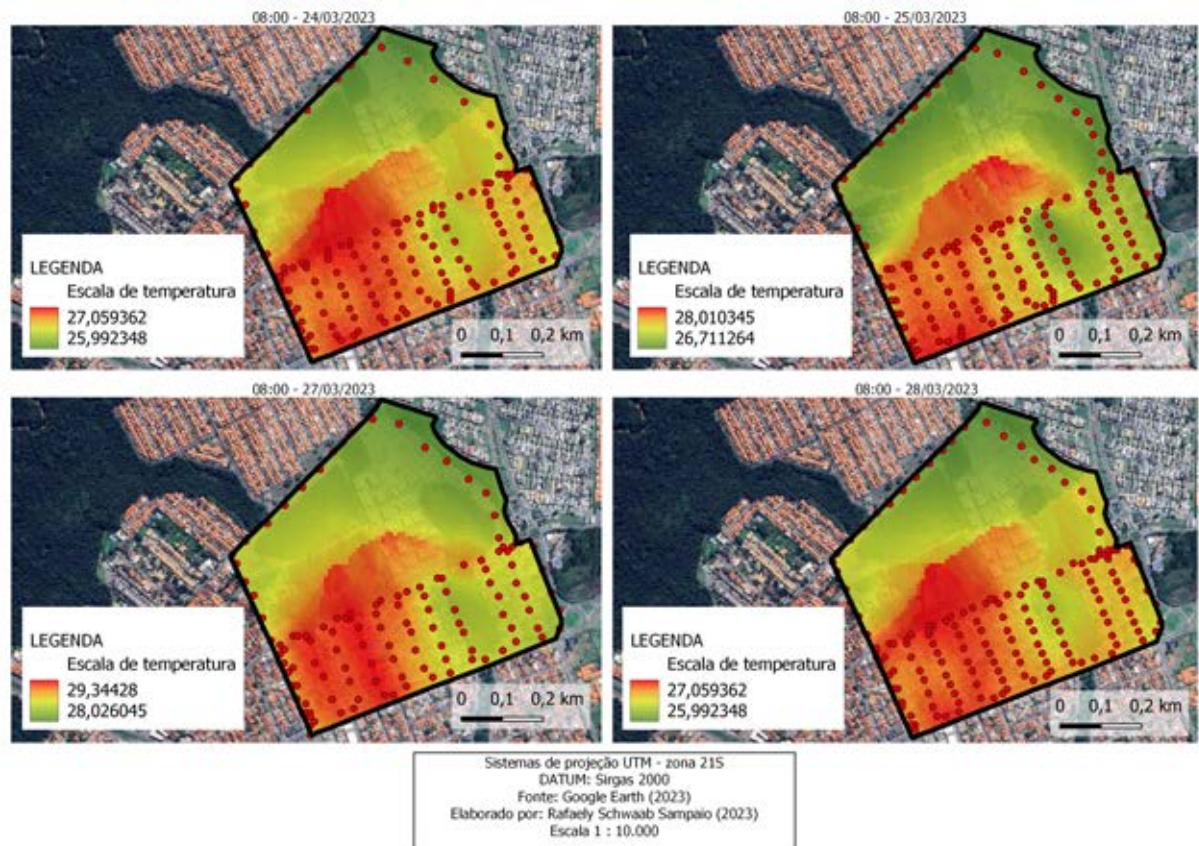
4.2 Período Matutino

Durante os quatro dias de coleta, as amostragens realizadas às 8h totalizaram 615 registros. Os dados obtidos revelaram uma temperatura média do ar (TAR) de 26,70°C, sendo que a temperatura mínima registrada foi de 25,84°C e a máxima de 29,46°C. O desvio padrão para as temperaturas foi calculado como 0,321596451. Quanto à umidade relativa do ar (UR), a média foi de 78,48%, com variação entre 66,96% e 82,78%. O desvio padrão para a umidade relativa do ar foi estimado em 1,901789229.

O desvio padrão é uma medida estatística que indica a dispersão dos valores em torno da média. Quanto maior o desvio padrão, maior a dispersão dos dados e vice-versa. No caso da temperatura do ar (TAR), o desvio padrão foi calculado como 0,321596451. Isso sugere que os valores de temperatura estão relativamente próximos da média de 26,70°C, com pouca dispersão em torno dela. Já para a umidade relativa do ar (UR), o desvio padrão foi estimado em 1,901789229. Essa medida indica uma maior dispersão dos valores de umidade em relação à média de 78,48%, sugerindo uma variação ligeiramente maior nos dados de UR coletados.

Os mapas de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar elaborados por meio da Krigagem, apresentam a distribuição espacial dessas variáveis, podendo ser observado nas figuras 14 e 15. Permitindo a visualização das áreas mais ou menos afetadas. A região mais vegetada e com permeabilidade do solo maior apresentou uma variação de Temperatura de -1,3 °C em relação a região mais edificada e conseqüentemente, menos permeável. A distribuição dos valores de UR seguem as de TAR, apresentando composição espacial maior dos valores máximos e médios.

Figura 14: Mapas de Temperatura do ar (Matutino).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 7: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período matutino.

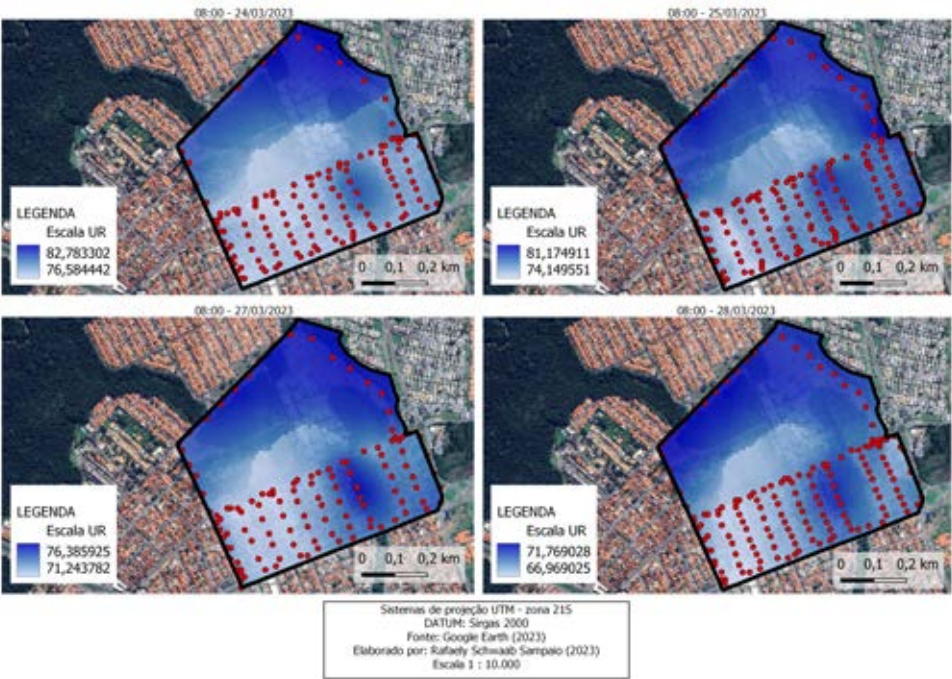
	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,0015	0,00	0,006	0,06
Co+C	0,1	0,25	0,196	0,21
Alcance	469,7	470	471,5	471,1
Relação	Moderada	Forte	Forte	Forte
RMSE	0,02	0,01	0,004	0,002
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Fonte: Autor, 2024.

Com exceção das amostras do dia 24 de Março, as demais apresentaram relação espacial forte e com alcance acima dos 450m, mostrando até qual distância o modelo é capaz de cor-

relacionar as amostras. Os pequenos valores para o Efeito Pepita indicam erros de medição pequenos.

Figura 15: Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Matutino).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 8: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período matutino.

	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,69	0,0	0,0	0,84
Co+C	3,90	4,26	3,39	3,36
Alcance	469,7	470,1	471,5	471,1
Relação	Forte	Forte	Forte	Forte
RMSE	1,01	1,01	0,70	0,4
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Fonte: Autor, 2024

Todas as amostras apresentaram relação espacial forte e com alcance acima dos 450m, mostrando que é a distância máxima que o modelo é capaz de correlacionar os pontos amostrais. O modelo esférico é apropriado para modelar essa dependência espacial, e os resultados de RMSE

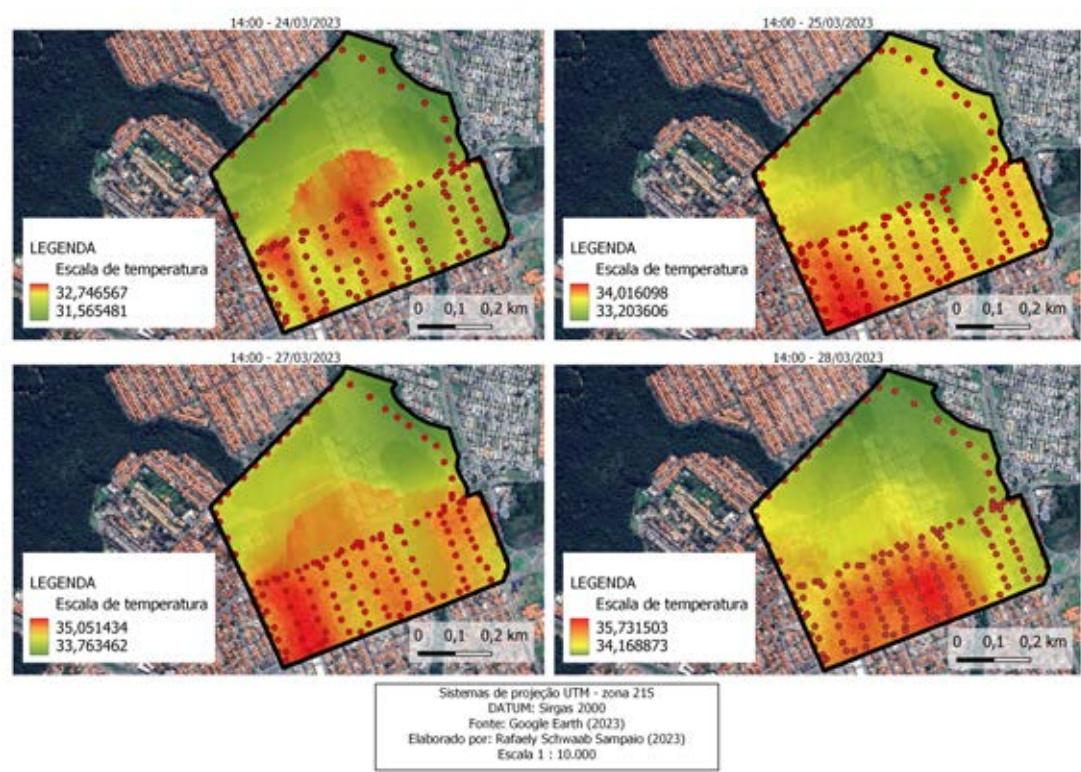
indicam uma boa capacidade de previsão do modelo de krigagem. Entretanto, os valores para o efeito pepita nos dias 24 e 28 de Março indicam uma variabilidade aleatória substancial não explicada pelo modelo.

4.3 Período Vespertino

Durante o período vespertino, foram realizadas 602 amostragens. A análise da variável Temperatura do Ar (TAR) revelou um valor médio de 32,27°C, com a menor temperatura registrada em 31,52°C e a maior em 35,95°C. O desvio padrão médio foi calculado em 0,3477451. Em relação à Umidade Relativa do Ar (UR), a média foi de 58,48%, com variação entre 49,21% e 60,38%, e um desvio padrão médio de 1,364920. Comparativamente ao período matutino, o desvio padrão da TAR no período vespertino permaneceu semelhante, enquanto o desvio padrão da UR foi ligeiramente menor.

Já os mapas de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar elaborados por meio da Krigagem, apresentou diferenças consideráveis da distribuição espacial analisada no período matutino, exposto nas figuras 16 e 17. A região dos maciços verdes e com permeabilidade do solo maior ainda apresentou uma variação em relação a região mais edificada. Pode-se observar uma diferença de cerca -1,3°C, porém a distribuição está mais homogênea em relação aos valores médios e máximos.

Figura 16: Mapas de Temperatura do ar (Vespertino).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 9: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período vespertino.

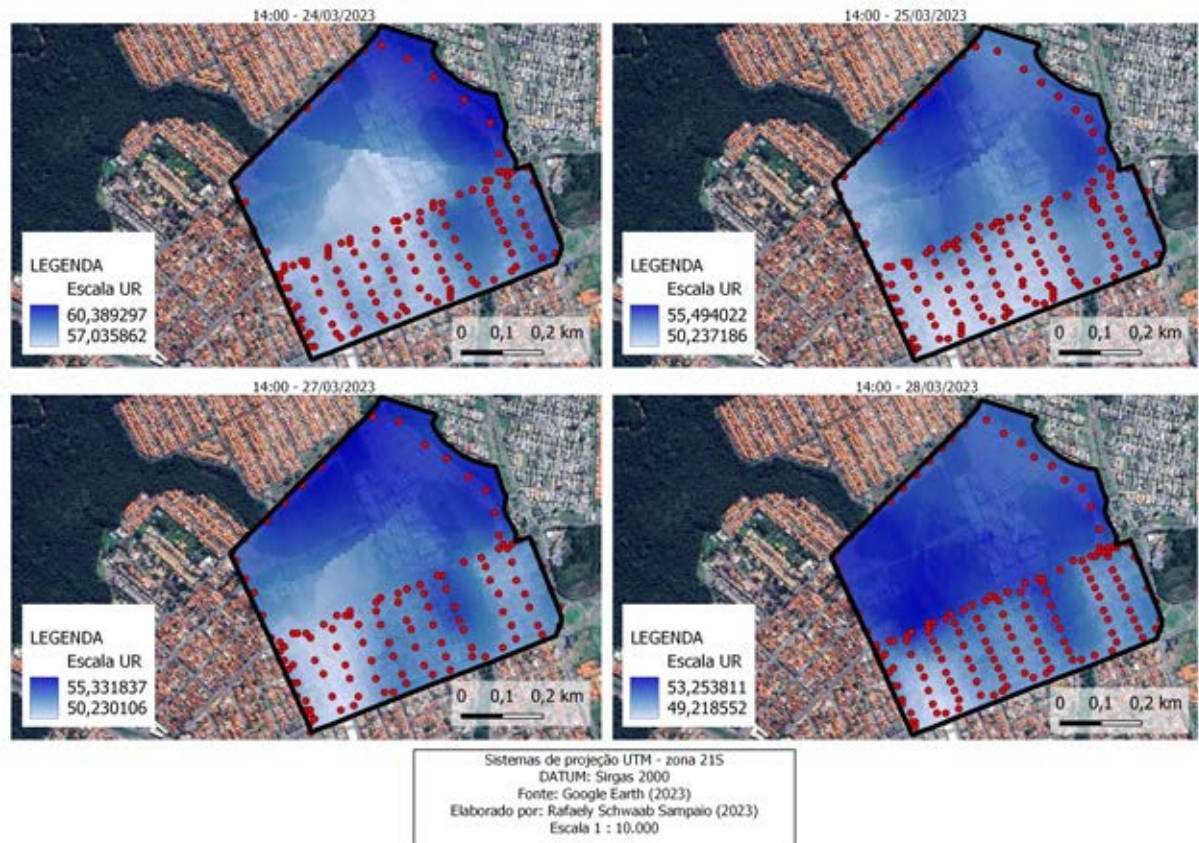
	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,005	0,003	0,04	0,01
Co+C	0,15	0,1	0,13	0,21
Alcance	473,3	469,1	468,24	336,7
Relação	Forte	Forte	Forte	Forte
RMSE	0,005	0,001	0,003	0,001
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Fonte: Autor, 2024

Concomitantemente com os valores vistos no período matutino, os dados sugerem uma forte dependência espacial até aproximadamente 470 metros, com muito pouca variabilidade aleatória não estruturada (efeito pepita baixo). O modelo esférico se apresenta apropriado para

modelar essa dependência espacial, e os resultados de RMSE indicam uma excelente ajuste do modelo de krigagem.

Figura 17: Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Vespertino).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 10: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período vespertino.

	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,2	0,8	0,5	0,5
Co+C	0,85	2,5	2,6	1,6
Alcance	321,9	301,3	468,1	228,7
Relação	Forte	Moderada	Forte	Moderada
RMSE	0,12	0,09	0,2	0,1
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Fonte: Autor, 2024

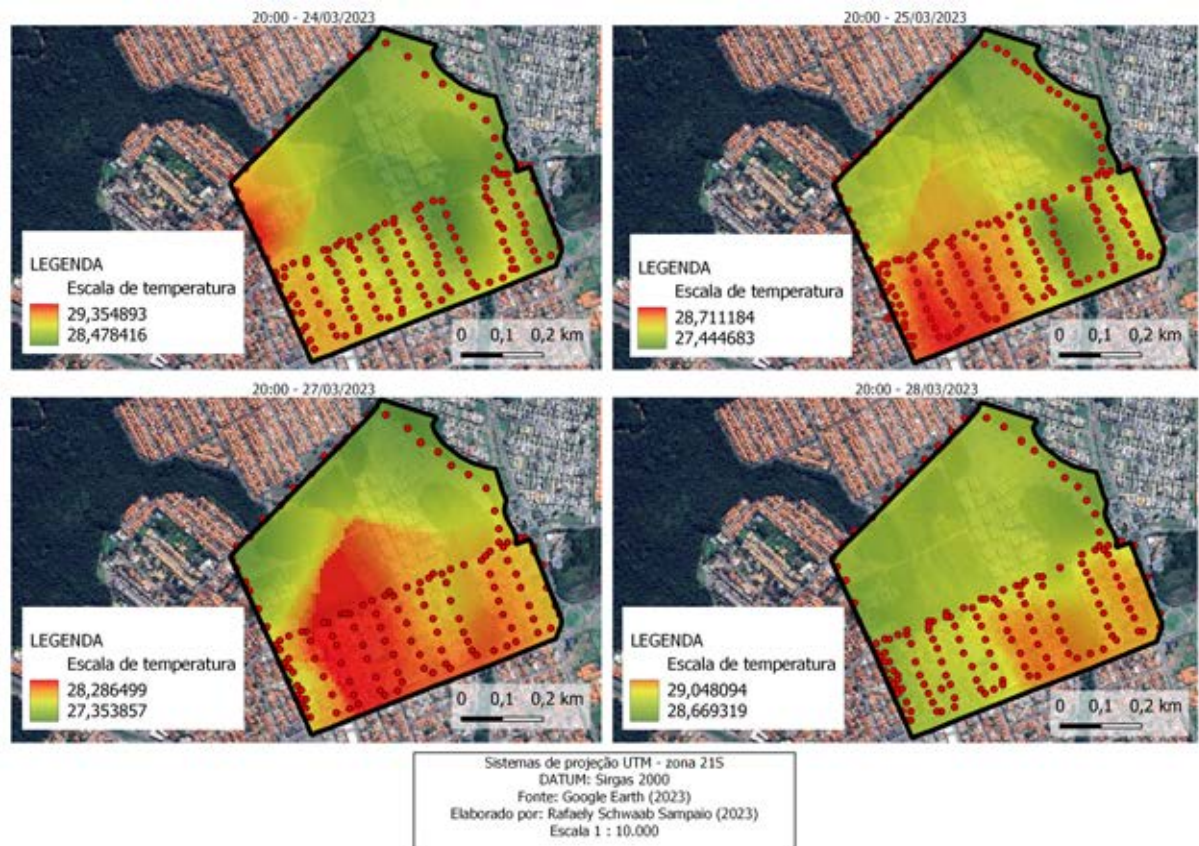
Em resumo, os valores dos componentes do semivariograma sugerem uma relação de dependência espacial de forte a moderada, que varia em relação as coletas. Além disso, tem uma quantidade moderada de variabilidade aleatória não estruturada (efeito pepita moderado). O modelo esférico pode ser considerado admissível para modelar essa dependência espacial, e apesar dos resultados de RMSE indicarem uma boa capacidade de previsão do modelo de krigagem, este tem um alcance limitado em relação aos valores vistos anteriormente.

4.4 Período Noturno

Durante a coleta de dados no período noturno, foram registradas 683 amostras. A temperatura média do ar (TAR) foi calculada em 28,82°C, variando entre 26,12°C e 29,88°C, com um desvio médio padrão de 0,31523765. Quanto à Umidade Relativa do Ar (UR), a média foi de 72,59%, oscilando entre 66,3% e 81,45%, com um desvio médio padrão de 1,533480931.

Os mapas de Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar elaborados através da geostatística, mostraram distribuição espacial da TAR e UR, podendo ser observado nas figuras 18 e 19. Pode-se notar, através dos mapas, que nos dias 24 e 28, ocorreu uma maior homogeneidade da temperatura na região, com variação de -0,8 para o dia 24 e -0,38 para o dia 28. Nos dias 27 e 25 é possível notar áreas maiores afetadas com o aumento da TAR. No mapa de UR, é possível notar as regiões com maior e menor percentual, inversamente proporcional ao mapa de Temperatura do ar.

Figura 18: Mapas de Temperatura do ar (Noturno).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Temperatura do ar do período noturno.

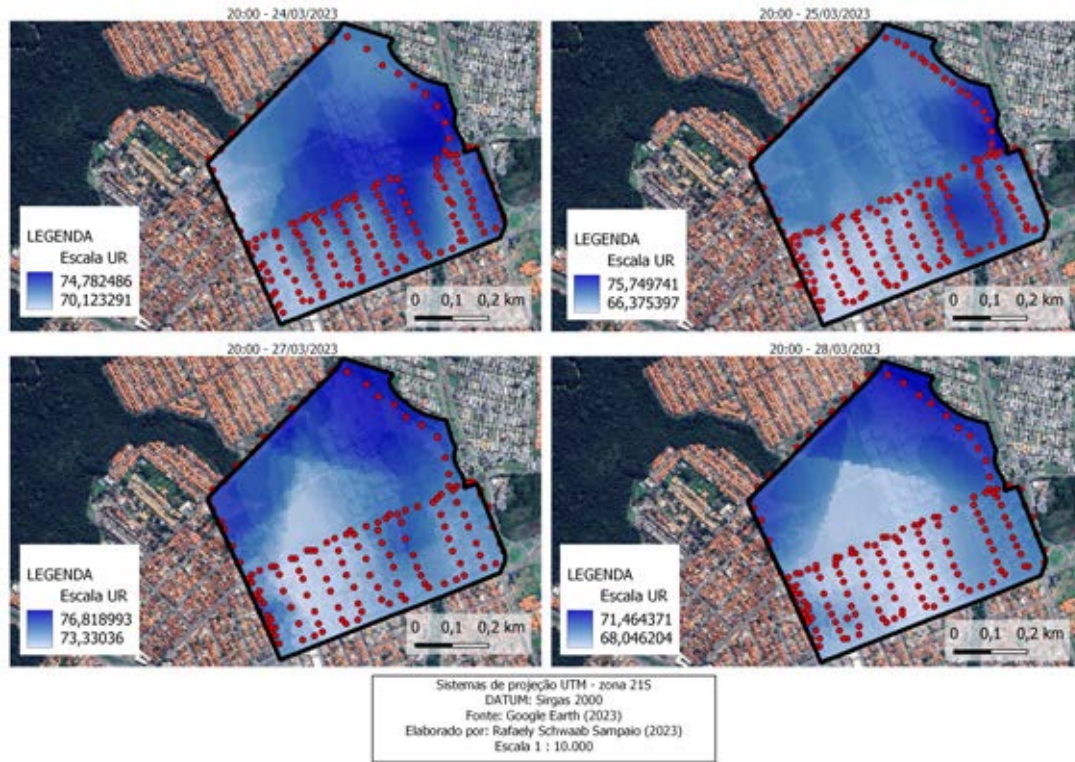
	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,016	0,0	0,0	0,004
Co+C	0,6	0,3	0,1	0,2
Alcance	372,2	471,9	443,3	362,8
Relação	Forte	Forte	Moderada	Forte
RMSE	0,001	0,004	0,017	0,01
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Fonte: Autor, 2024

Para a Temperatura do ar, no período noturno, os valores vistos para o patamar e alcance apresentaram relação espacial forte e próximo dos 450m e 350m, dependendo do conjunto

amostral. Isso mostra até qual distância o modelo é capaz de correlacionar espacialmente com as amostras. Os pequenos valores para o Efeito Pepita indicam erros de medição pequenos, tão logo, pode-se considerar que o modelo consegue prever bem os pontos amostrais.

Figura 19: Mapas de Umidade Relativa do ar (UR) (Noturno).



Fonte: Autor, 2023.

Tabela 12: Efeito pepita (Co), patamar (Co+C), alcance, relação espacial, RMSE, lag e modelo, segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, para a Umidade Relativa do ar do período noturno.

	24.03	25.03	27.03	28.03
Co	0,2	0,0	1,1	0,6
Co+C	1,6	5,1	4,9	2,3
Alcance	414,2	336,6	444,1	471,5
Relação	Forte	Forte	Forte	Moderada
RMSE	0,14	0,4	0,4	0,6
Lag	50m	50m	50m	50m
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

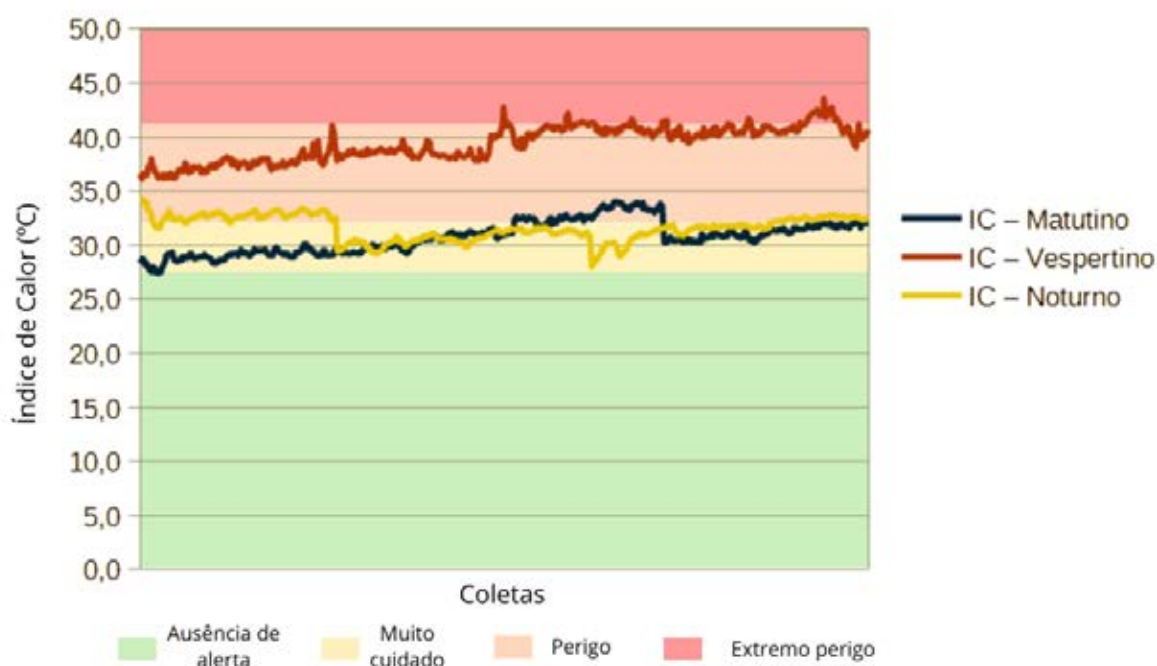
Fonte: Autor, 2024

Nos valores vistos para a UR noturna, quase todos os conjuntos amostrais apresentaram relação espacial forte e com alcance acima dos 400m, com exceção do dia 25 de Março que ficou abaixo dos 400m. Essas são as distâncias máximas que esses modelos foram capazes de correlacionar as amostras. Os pequenos valores para o Efeito Pepita indicam erros de medição pequenos e o RMSE baixo mostra um bom ajuste do modelo (esférico).

4.5 Índices de Conforto: IC, IDT e ITU

Para os períodos matutino, vespertino e noturno em que foram realizadas as coletas, foram calculados os índices de conforto térmico, conforme resultados apresentados nas figuras 20, 21 e 22 a seguir.

Figura 20: Índice de Calor (IC) calculado referente a todas as amostras coletadas.



Fonte: Autor, 2023.

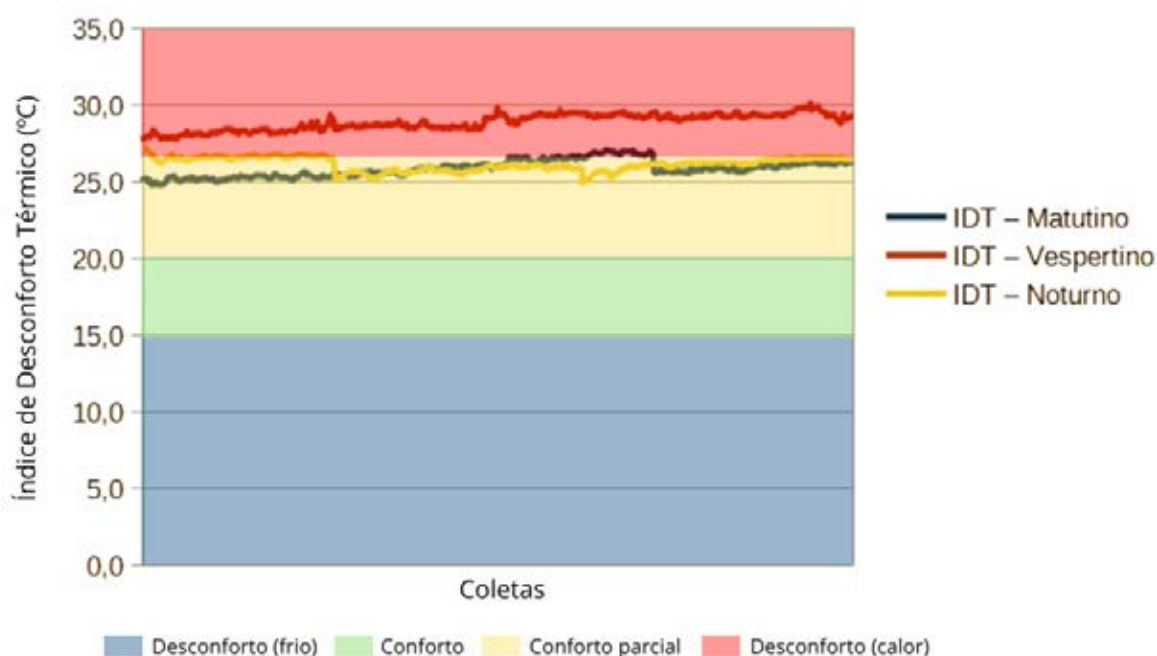
No período matutino, o Índice de Calor (IC), também conhecido como Temperatura Aparente, registrou uma média de 30,8°C, com mínimo de 27,5°C e máximo de 34°C. Estes valores de IC médio retrataram um nível de alerta de Atenção/Muito Cuidado (27°C a 32°C), podendo gerar fadiga em casos de exposição prolongada e/ou atividade física.

No período vespertino, o IC médio foi de 39,38°C, com mínima de 36,15°C e máxima de 43,57 °C, evidenciando um acréscimo de cerca de 9°C em relação ao período matutino. Por fim,

o IC médio retratou um nível de alerta de Perigo (32°C a $41,1^{\circ}\text{C}$), podendo levar a câimbras, esgotamento e fadiga em casos de exposição prolongada e/ou atividade física.

Durante a noite, houve queda da temperatura, desta maneira o IC teve como média o valor de $31,66^{\circ}\text{C}$, com uma variação entre $27,99^{\circ}\text{C}$ e $34,36^{\circ}\text{C}$. Nesse período a média de Temperatura Aparente retratou um nível de alerta de Atenção/Muito Cuidado (27°C a 32°C), podendo gerar fadiga em casos de exposição prolongada e/ou atividade física, como ocorreu no período da manhã.

Figura 21: Índice de Desconforto Térmico (IDT) calculado referente a todas as amostras coletadas.



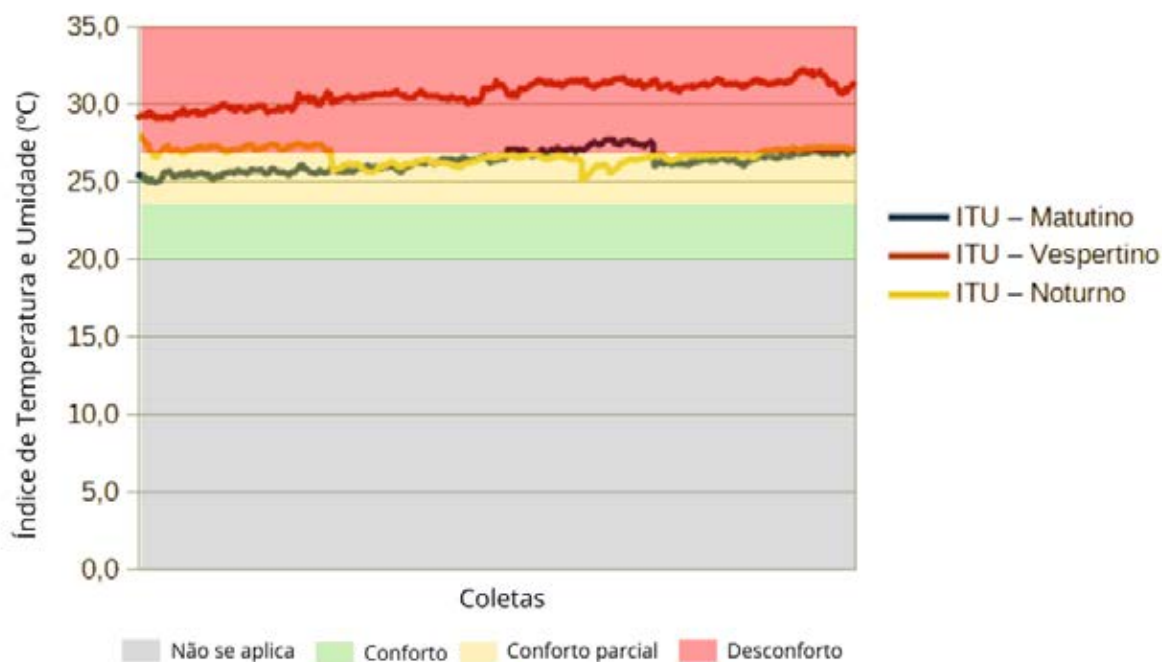
Fonte: Autor, 2023.

O Índice de Desconforto Térmico (IDT) médio do período matutino foi de $25,9^{\circ}\text{C}$, com valor mínimo de $24,8^{\circ}\text{C}$ e máximo de $27,1^{\circ}\text{C}$. De acordo com as tabelas de referência dos índices, apresentadas anteriormente, tem-se que no período matutino o IDT médio apresentou resultados de conforto parcial ($20 < \text{IDT} < 26,4^{\circ}\text{C}$).

Para o período vespertino, os valores se apresentaram superiores aos do período matutino, como era esperado. O Índice de Desconforto Térmico (IDT) registrou uma média de $28,93^{\circ}\text{C}$, com valores mínimos e máximos de $27,84^{\circ}\text{C}$ e $30,16^{\circ}\text{C}$, respectivamente, representando um aumento de aproximadamente 3°C em relação ao período matutino. Conforme as tabelas de referência dos índices, tem-se que no período vespertino o IDT médio apresentou resultados de desconforto por calor ($\text{IDT} > 26,5^{\circ}\text{C}$).

No período noturno, o Índice de Desconforto Térmico (IDT) apresentou uma média de 26,21°C, com valores mínimos e máximos de 24,96°C e 27,20°C, respectivamente. Levemente maiores do valores observados durante a manhã, mas apresenta as mesmas condições de conforto.

Figura 22: Índice de Temperatura e Umidade (ITU) calculado referente a todas as amostras coletadas.



Fonte: Autor, 2023.

Quanto ao Índice de Temperatura e Umidade (ITU), as amostras coletadas durante a manhã apresentaram uma média de 26,4°C, com valor mínimo de 25°C e máximo de 27,7°C. Neste período o ITU médio exibiu condições de Desconforto por calor ($ITU > 26^{\circ}\text{C}$).

Durante a tarde, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) apresentou uma média de 30,75°C, com valores mínimos e máximos de 29,08°C e 32,26 °C, respectivamente, com uma diferença de cerca de 4°C em relação ao da manhã. Esses resultados reforçam a influência das condições climáticas durante diferentes períodos do dia na sensação térmica percebida e no conforto dos indivíduos. Como observado na figura 22. O ITU médio exibiu condições de Desconforto por calor ($ITU > 26^{\circ}\text{C}$).

A noite, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) registrou uma média de 25,12°C, com valores mínimos e máximos de 25°C e 27,98°C, respectivamente, próximo as condições vista no período matutino. Em uma análise geral, durante a noite o desconforto por calor foi leve,

exibindo um ITU um pouco menor que o matutino, significando menos stress ao corpo em ambientes externos.

De modo geral, os índices de conforto utilizados apresentaram valores amenos durante o período da manhã. Entretanto, foram observados valores maiores durante a tarde, implicando em desconforto por calor em todos os índices utilizados (IC, IDT e ITU), devido ao ganho de calor.

Já no período noturno, foi possível observar uma queda significativa nas condições térmicas quando analisadas juntamente aos valores vistos no período vespertino. Durante a noite, os dados apontaram índices muito próximos aos observados do período matutino, ainda assim, foram levemente maiores, devido a retenção de calor das superfícies.

4.6 Análise das superfícies da área de estudo

Os mapas de temperatura e umidade relativa do ar, previamente exibidos, reforçam a influência direta da cobertura da superfície e de seus respectivos albedos sobre as condições microclimáticas. Observou-se que as áreas com predominância de vegetação e solo nu apresentaram temperaturas mais baixas, devido à menor capacidade desses materiais em reter calor (emissividade reduzida), resultando em um microclima mais confortável. Por outro lado, foi evidenciado o impacto da pavimentação asfáltica, associada ao aumento das temperaturas, ressaltando sua contribuição para o fenômeno conhecido como ilha de calor urbana.

Diante dos resultados apresentados, é evidente que a população que reside na área de estudo enfrenta condições de calor desconfortáveis, com níveis que variam de leve a extremo ao longo do dia. Nesse contexto, torna-se imperativo implementar medidas mitigadoras para lidar com essa situação e promover um ambiente mais confortável e saudável para os habitantes locais.

Embora a adoção de materiais com alto albedo possa parecer uma medida viável e promissora, especialmente em regiões de clima quente, sua implementação pode enfrentar desafios significativos. Inicialmente, a alta reflectância dessas superfícies pode resultar em problemas de ofuscamento, potencialmente causando desconforto visual. Além disso, as preferências individuais das pessoas podem limitar as opções de cores e tonalidades aplicadas em suas residências e estabelecimentos comerciais.

No entanto, os desafios relacionados ao ofuscamento podem ser mitigados por meio de um planejamento cuidadoso e antecipado, considerando-se estratégias geométricas que minimizem esse efeito indesejado. Quanto às preferências individuais, uma abordagem flexível que permita às pessoas escolherem suas cores preferidas no espectro visível pode ser adotada. Simultane-

amente, o albedo no infravermelho próximo, invisível ao olho humano, pode ser controlado de forma a alcançar os efeitos desejados de conforto térmico, sem comprometer as escolhas estéticas dos indivíduos.

4.7 Melhoramentos

Atualmente, observa-se uma extensa produção científica dedicada à temática da qualidade ambiental urbana, que destacam a importância do respaldo legislativo nessa área para a efetividade de planos de melhoramento (BUCCHERI-FILHO & TONETTI, 2011). Entretanto, poucas iniciativas são de fato implementadas (NOVAIS, MARQUES, SIQUEIRA, REIS, JOAQUIM e PEREIRA, 2018).

4.7.1 Curto Prazo

No curto prazo, entre 6 meses e um ano, é fundamental promover a conscientização sobre a importância do uso responsável do solo e sua ocupação adequada. Isso pode ser realizado por meio de workshops, palestras e campanhas educativas, destacando os impactos físicos e fisiológicos da falta de conforto térmico.

Além disso, é essencial explicar o efeito cumulativo das mudanças na paisagem natural sobre o microclima, incluindo aspectos como albedo, permeabilidade do solo e presença de vegetação. Incentivar o plantio de árvores ao longo das vias públicas e a preservação de áreas permeáveis nos lotes também são medidas importantes a serem adotadas neste período.

4.7.2 Médio Prazo

No médio prazo, que se estende de um a cinco anos, é necessário desenvolver estratégias mais abrangentes por meio de políticas públicas que promovam um crescimento urbano planejado e controlado.

Isso pode incluir a elaboração de regulamentos municipais que incentivem a construção sustentável, com ênfase na eficiência energética e no uso de materiais adequados para reduzir o impacto térmico, utilizando de estratégias como a inércia térmica nas edificações.

Além disso, é importante investir em infraestrutura verde, como a criação de parques e áreas verdes, para mitigar os efeitos do calor urbano e promover ambientes mais confortáveis.

4.7.3 *Longo Prazo*

A longo prazo, com um horizonte temporal acima de cinco anos, é fundamental consolidar e fortalecer as políticas públicas voltadas para o planejamento urbano sustentável e o conforto térmico.

Isso envolve não apenas a implementação efetiva das medidas já propostas, mas também a revisão e atualização constante das políticas conforme necessário.

O Poder Público pode ainda, desenvolver mecanismos para aumentar o albedo das superfícies ao longo do tempo, seja alterando o material e/ou cor das pavimentações; incentivando financeiramente a alteração do albedo das coberturas as edificações; entre outros.

Além disso, é essencial garantir a fiscalização rigorosa das políticas públicas desenvolvidas, a fim de garantir sua eficácia e conformidade com os objetivos de promoção do conforto térmico e qualidade de vida urbana.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como propósito central a análise do conforto térmico em uma seção específica da área de expansão urbana leste de Cuiabá-MT. Para alcançar esse objetivo, foram aplicadas técnicas de interpolação de dados microclimáticos utilizando a metodologia geostatística de Krigagem, combinadas com a avaliação de índices de conforto térmico, como o Índice de Conforto (IC), Índice de Desconforto Térmico (IDT) e Índice de Temperatura e Umidade (ITU).

A revisão da literatura revelou que mudanças ambientais, como a redução da cobertura vegetal, a impermeabilização do solo e a alteração do albedo da superfície natural, exercem influência significativa no microclima local e na percepção de conforto das pessoas.

Os mapas produzidos durante a pesquisa destacaram graficamente o impacto positivo da vegetação urbana na redução das temperaturas, com uma diminuição de até 1,3°C. Por outro lado, áreas mais densamente urbanizadas e com maior pavimentação apresentaram temperaturas mais elevadas, com uma relação inversamente proporcional em relação à umidade relativa do ar, levando em consideração o papel termorregulador desse parâmetro.

As conclusões obtidas foram reforçadas pela análise do mapa de materiais das superfícies, o qual destacou os níveis de refletividade das superfícies presentes na área de estudo. Além disso, os índices de conforto térmico calculados revelaram níveis de desconforto, principalmente no período vespertino, enfatizando a urgência de implementar medidas mitigadoras para promover um ambiente mais confortável para os residentes locais.

Em síntese, os resultados deste estudo ressaltam a importância de considerar o conforto térmico no planejamento urbano, uma vez que os desconfortos podem ser mitigados com estratégias e planejamento adequados. Essa abordagem é crucial tanto para as áreas urbanas já consolidadas quanto para as regiões em expansão. Um maior investimento em estudos abrangentes das condições climáticas em toda a cidade é fundamental para obter dados precisos que possam informar políticas públicas eficazes de mitigação de danos.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no recorte urbano delimitado para este estudo, propõe-se para trabalhos futuros:

- (a) A realização de uma análise mais abrangente, considerando um período de amostragem mais longo que englobe tanto o período de seca quanto o período chuvoso;
- (b) Realizar comparações com outras Áreas de Expansão Urbana, visando avaliar não apenas as condições microclimáticas, mas também o perfil socioeconômico e a influência desse aspecto na implantação e utilização dos espaços abertos;
- (c) Promover a análise comparativa com áreas mais e menos adensadas.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1991.

BARBIRATO, G. M. SOUZA, L. C. L. TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió: EDUFAL, 2007, 154f.

BARBIRATO, G. M. TORRES, S. C. SOUZA, L. C. L. **Clima urbano e eficiência energética nas edificações. Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA, 2011. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

BONIN, T. PEZZUTO, C. C. **Medição da refletância e análise de sua influência nos materiais de cobertura**. In Anais do XVIII Encontro de Iniciação Científica e III Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (4p.). ISSN 1982-0178 (Encontro de Iniciação Científica) e ISSN 2237-0420 (Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação). 2013.

BRANDÃO, A. M. de. P. M. **O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro**. 1996. p.85. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRASIL. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em: 14 de jun. 2023.

BRASIL. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População brasileira passa de 207,7 milhões em 2017**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br>>. Acessado em: 25 de mai. 2023.

BUCCHERI-FILHO, A.T.; TONETTI, E.L. **Qualidade ambiental nas paisagens urbanizadas**. Revista Eletrônica Geografar, Curitiba, v.6, n.1, p.23-54, 2011. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/21802>>. Acessado em: 25 de mai. 2023.

BURIOL, G. A. ESTEFANEL, V. RIGHI, E. Z. BRESSAN, V. C. **Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria-RS, Brasil**. Revista Ciência Rural, v. 45, n. 2, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/sBkbrWqPtTfxZ3dVFdGs78M/?lang=pt>>. Acessado em: 30 de mai. 2023.

CAMARGO, E. CAMARGO, C. G. DRUCK, S. CÂMARA, G. **Análise Espacial de Superfícies**. In: Druck, S. Carvalho, M.S. Câmara, G. Monteiro, A.M.V. (Eds.). **Análise Espacial de Dados**

Geográficos, Brasília: EMBRAPA, 2004. p.46-82.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: Fundamentos e aplicações. *In*: Druck, S. Carvalho, M.S. Câmara, G. Monteiro, A.M.V. (Eds.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**, Brasília: EMBRAPA, 2004. p.46-82.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: Fundamento e Aplicações**. *In*: CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento em Projetos Ambientais. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, 1998. Cap 5, 36p.

CARDOSO, M. R. D. MARCUZZO, F. F. N. BARROS, J. R. **Caracterização da temperatura do ar no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Revista Brasileira de Climatologia. ISSN: 19080-055x (Impressa) e 2237-8642 (Eletrônica). Ano 8, vol. 11. Jul-Dez, 2012.

CAVALCANTE, F. M. S. ANJOS, I. B. M. FIGUEREDO M. L. SOUSA, V. A. NOGUEIRA, V. F. B. **Análise do índice de calor e desconforto térmico na cidade de Caicó-RN** II Congresso Internacional da diversidade do Semiárido. Anais II CONIDIS. Campina Grande. Dezembro, 2017.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. **Composição dos Bairros de Cuiabá** – Data base 2011. 3. Edição revista e atualizada. SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Cuiabá: 2013. 68 p.

ELIASSON, I. **The use of climate knowledge in urban planning**. Landscape and Urban Planning. v. 48, p. 31-44, 2000.

FRANÇA, L. F. **Singular e plural: estudos de conforto ambiental à luz de arquitetura bio-climática, eficiência energética e experiência espacial do usuário**. 2018. 184 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife, 2018.

FREITAS, R. M. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. 2005. 271 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FROTA, A. B. SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GANHO, N. **Clima urbano e a climatologia urbana: Fundamentos e aplicação ao ordenamento urbano**. Cadernos de Geografia, n. 18, 1999 Coimbra, F.L. U. C., pp. 97-127.

HENGL, T. **A practical guide to geostatistical mapping**. [S.l.]: Hengl, 2009. v. 52. Santa Clara, USA. ISBN 630813-054US.

KRÜGER, E. L. GONZALEZ, D. E. G. **Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 89-106, jul./set. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300094>>. Acessado em: 14 de jun. 2023.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

LUNDGREN, W. J. C., SILVA, J. A. A., FERREIRA, R. L. C. **A Precisão da Estimativa do Erro da Krigagem pela Validação Cruzada**. Floresta e Ambiente, 2017, 24:e00124114. <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.124114>>. ISSN 2179-8087. 12p.

MACIEL, C. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas: Estudo de caso em Cuiabá-MT**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-graduação em Física Ambiental, 2011.

MACIEL, C. R., LUZ, V. S., SANTOS, F. M. M., NOGUEIRA, M. C. J. A., NOGUEIRA, J. S. **Interação das variáveis microclimáticas e cobertura do solo em região urbana e limítrofe-urbana na cidade de Cuiabá/MT**. CAMINHOS DE GEOGRAFIA -revista online: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/ISSN1678-6343>. v. 15, n. 51. Set/2014. p. 199–215. 16p.

MEGDA, O. R., MASIERO, E. **Análise das Ilhas de Calor Urbano sobre Zonas Climáticas Locais com o uso de VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado – em uma cidade média..** 2021. URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.13, e20200333. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200333>>. Acessado em: 14 de jun. 2023

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. Série Teses e Monografias N°25,SP. Inst. Geografia da USP – São Paulo – SP. 1976, 181 p.

MONTEIRO, C. A. F. MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Editor Contexto, 2003.

MONTEIRO, L. M. **Conforto térmico em espaços urbanos abertos: verificações modelares como aportes à exploração de abordagens**. 2018. 520 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, FAUUSP. São Paulo,

2018.

MONTEIRO, L.M. ALUCCI, M.P. **Índices de conforto térmico em espaços abertos.** Parte 1. VIII Encontro Nacional e VI Encontro Latino americano de conforto no ambiente construído. 2005. São Paulo. Anais. Maceió, ANTAC., 12p.

NOBREGA, R. S. LEMOS, T. V. S. **O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife.** Revista de Geografia (UFPE), v.28, n.1, p. 93-109, 2011.

NOVAIS, J. W. Z., MARQUES, A. C. A., SIQUEIRA, A. Y., REIS, N. M. S., JOAQUIM, T. D., PEREIRA, S. P. **Índice de Temperatura e Umidade (ITU) Visando o Conforto Térmico para o Parque Mãe Bonifácia, Cuiabá-MT.** Ensaios e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde. v. 22, n. 2, p. 69-75, 2018. DOI: 10.17921/1415-6938.2018v22n2p69-75

OKE, T. R. **The energetic basis of the urban heat island.** Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108, n. 455, p. 1-24, 1982.

OLEA, R.A. **Geostatistics for Engineers and Earth scientists.** Boston: Kluwer Academic Publishers, p444-455, 1999.

OLIVEIRA, E. V. **Meteorologia Aplicada.** Recife: IFPE, 2014. 114 p. ISBN: 978-85-9450-005-2.

PAULA, D. C. J. MIRANDA, S. A. GAIO, D. C. SANTOS, F. M. M. NOGUEIRA, J. S. & NOGUEIRA, M. C. D. J. A. **Fator de visão do céu e sombreamento arbóreo em área verde urbana de clima tropical.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 11, n. 4, p. 18-31, 2016.

RIBEIRO, A. G. **As escalas do clima.** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais. Brasil. Boletim de geografia teórica, Brasil, 1993 Vol. 23 No. 45-46, Páginas 288-294.

ROSSETI, K. A. C., NOGUEIRA, M. C. J. A., NOGUEIRA, J. S. **Interferência microclimática na utilização do telhado verde para regiões tropicais: Estudo de caso em Cuiabá, MT.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). v(9), nº 9, p. 1959-1970, FEV, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/223611707702>.

SANTOS, M. **O Brasil: Territórios e sociedade no início do século XXI.** 17ª ed. Rio de Janeiro: Reccord, 2013.

SANTOS, F. M. M. **Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: ocupação do solo e suas influências.** Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria. Revista

Monografias Ambientais - REMOA. e-ISSN 2236 1308 - v. 12 n. 12 ago. 2013, p. 2749 - 2763.
<http://dx.doi.org/10.5902/223613089160>

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pactoambiental, 2005.

SILVA, V. P. R. AZEVEDO, P. V. Brito, R.S. CAMPOS, J.H.B.C. (2009). **Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil**. Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-008-0726-3.

STEADMAN, R. G. **The Assessment of Sultriness: Part I: A Temperature Humidity Index Based On Human Physiology And Clothing Science**. J. Appl. Meteor., 18: 861-884, 1979.

SYNNEFA, A. SANTAMOURIS, M. LIVADA, I. **A Study of the Thermal Performance of Reflective Coatings**. Solar Energy, v. 80, n. 8, p. 968-981, 2006.

TAHA, H. SAILOR, D. J. AKBARI, H. **High-albedo materials for reducing building cooling energy use**. United States, 1992. Web. doi:10.2172/10178958. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/10178958>>. Acessado em: 15 de jun. 2023.

TAHA, H. AKBARI, H. ROSENFELD, A. H. **Summer heat islands, urban trees, and white surfaces**. Proceedings of the 1990 ASHRAE Winter Conference. United States, 1990. Web. Disponível em: <<http://isswprod.lbl.gov/library/view-docs/public/output/LBL-28308.pdf>>. Acessado: 15 de jun. 2023.

TAHA, H. AKBARI, H. ROSENFELD, A. H. HUANG, Yu Joe. **Residential cooling loads and the urban heat island—the effects of albedo**. United States, 1988. Web. doi:10.1016/0360-1323(88)90033-9. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com>>. Acessado em: 15 de jun. 2023.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital. Recife, 2006.

VERGARA, L. G. L. **Análise das condições de conforto térmico de hospital universitário de Florianópolis**. 2001. 222f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

VILELA, L. C. **Comparação entre as redes neurais artificiais e o método de interpolação krigagem aplicados à pesquisa agrônômica**. Tese (Doutorado). UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 2004. 124p.