



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**GREICY KELLY PFEIFF**

**INTERAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS  
NA FORMAÇÃO DE MICROCLIMAS EM AMBIENTES  
URBANOS E RURAIS DO NORDESTE PARAENSE**

**Belém – PA**

**2021**

**GREICY KELLY PFEIFF**

**INTERAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS NA  
FORMAÇÃO DE MICROCLIMAS EM AMBIENTES URBANOS E  
RURAIS DO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Orientadora: Dra. Maria Aurora Santos da Mota

Coorientadora: Dra. Aline M. Meiguins de Lima

**Belém – PA**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos  
pelo(a)autor(a)

---

P525i Pfeiff, Greicy Kelly.  
Interação das variáveis climáticas e ambientais na formação de microclimas em ambientes urbanos e rurais do Nordeste Paraense / Greicy Kelly Pfeiff. — 2021.  
107 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Aurora Santos da Mota

Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2021.

1. Clima urbano e rural. 2. Uso do solo. 3. Sensoriamento remoto. 4. Amazônia. I. Título.

---

CDD 558.115

**GREICY KELLY PFEIFF**

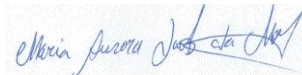
**INTERAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS NA  
FORMAÇÃO DE MICROCLIMAS EM AMBIENTES URBANOS E  
RURAIS DO NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia  
Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Belém, 30/04/2021

Banca Examinadora:



Dr<sup>a</sup>. Maria Aurora Santos da Mota - Orientadora  
Doutorado em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Dr. João de Athaydes Silva Júnior - Examinador externo  
Doutorado em Desenvolvimento Socioambiental  
Universidade Federal do Pará



Dr. Everaldo Barreiros de Souza - Examinador interno  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Dr<sup>a</sup>. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Examinadora interna  
Doutorado em Agronomia  
Museu Paraense Emílio Goeldi

*Aos meus pais e a todas as mulheres da  
minha família que não tiveram a  
oportunidade de se dedicar de tal forma aos  
estudos.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me permitiu realizar o sonho de fazer o mestrado, por ter me guiado desde o processo seletivo até este momento de finalização.

Agradeço aos meus pais, Magno L. Pfeiff e Marlene dos R. Pfeiff, por me terem apresentado com a vida e por oportunizar sempre o estudo. E, por muitas vezes, abdicaram de seus sonhos a favor dos meus, um deles, hoje, realizado. E a meu irmão, Geam W. Pfeiff, pelo companheirismo a que sou muito grata.

Ao meu noivo, Tales A. Dumke, por todo suporte emocional, pelos longos diálogos pertinentes sobre a pesquisa, pela troca de conhecimentos, pelos desabafos, o que tornou este processo mais leve. Assim, meu coração ficou mais preenchido com seu incondicional apoio à pesquisa.

A minha tia, Marcelly do S. Pfeiff, por todos os conselhos, tanto profissionais quanto pessoais, que sempre me fez enxergar o potencial que há dentro de mim como também a todos os meus outros familiares que, de forma singela, colaboraram para que hoje eu estivesse aqui.

A minha orientadora, Maria Aurora S. da Mota, pelas orientações, pela confiança e motivação após nossas conversas presenciais e virtuais; pelo fornecimento de dados do Projeto Entendendo a Variabilidade do Clima Regional no Nordeste Paraense. E a minha coorientadora, Aline M. Meiguins de Lima, pela acolhida no laboratório e por todo auxílio e orientações.

Fica minha admiração, também, a todos os professores do PPGCA pelo conhecimento transmitido; aos meus colegas de turma, pelas horas de estudo compartilhadas; aos meus amigos que revisaram esta dissertação e colaboraram para melhorá-la e a Biblioteca do IG, em nome da Sra. Lúcia Imbiriba pelas adequações as Normas da ABNT.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela bolsa de Mestrado concedida e pelo financiamento do projeto “Entendendo a Variabilidade do Clima Regional no Nordeste Paraense”.

Ao Laboratório de Estudo e Modelagem HidroAmbientais – LEMHA da UFPA, pelo suporte físico e a toda estrutura e colaboradores da UFPA.

A todos os pesquisadores da Amazônia que, juntos, criam um futuro mais robusto e completo de informações e conhecimentos científicos.

*“Na direção que a educação começa,  
o homem determinará sua vida futura.”*

*Platão*

## RESUMO

A globalização promoveu o aumento do êxodo rural ao longo das últimas décadas. Esse processo causou a aglomeração de pessoas nas grandes e pequenas cidades. Essas mudanças associadas ao uso do solo desencadeou o surgimento de microclimas em áreas urbanas. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar as condições climáticas e ambientais dos municípios de Colares, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá e Vigia que compõem a mesorregião do Nordeste Paraense. Foram utilizados dados de mudança de uso e cobertura do solo do projeto MapBiomas, imagens de satélite AQUA/TERRA do sensor MODIS e do Landsat 5 TM e 8 OLI/TIRS com o auxílio da plataforma Google Earth Engine, com intuito de estimar os índices de vegetação, temperatura de superfície terrestre e ilhas de calor de superfície entre 1990 e 2020. Dados observados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação foram coletados no projeto “Entendendo a variabilidade do clima regional no Nordeste Paraense” no período de janeiro a dezembro de 2010. Os resultados mostraram um aumento populacional nos quatro municípios de 1990 a 2020, o que desencadeou a redução de diversos fatores como a vegetação natural e a qualidade dos fragmentos de vegetação. Além disso, o aumento populacional promoveu o aumento da temperatura de superfície e na formação de ilha de calor de superfície. A temperatura do ar teve baixa variação ao longo do ano, mas a precipitação apresentou um comportamento heterogêneo caracterizada pelo período chuvoso e menos chuvoso. O índice de conforto térmico foi classificado como parcialmente confortável em áreas rurais e desconfortável nas áreas urbanas. Foi possível concluir que o microclima urbano mudou nos últimos 30 anos. Além disso, as mudanças climáticas podem promover a intensificação dessas alterações. Assim, as análises das variáveis meteorológicas e ambientais de forma interdisciplinar podem auxiliar no gerenciamento da paisagem dos municípios de forma a mitigar os efeitos das ilhas de calor e manter a qualidade de vida da população.

**Palavras-chave:** Clima urbano e rural. Uso do solo. Sensoriamento remoto. Amazônia.



## ABSTRACT

Globalization has led to an increase in rural exodus over the past few decades. This process caused the crowding of people in large and small cities. These changes associated with land use triggered the appearance of microclimates in urban areas. In this context, the objective of the research was to evaluate the climatic and environmental conditions of the municipalities of Colares, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá, and Vigia that make up a mesoregion of the Northeast of Pará. Data on land use and land cover change from the MapBiomas project, AQUA / TERRA satellite images from the MODIS sensor, and from the Landsat 5 TM and 8 OLI / TIRS were used with the help of the Google Earth Engine platform to estimate the rates of vegetation, land surface temperature and surface heat islands between 1990 and 2020. Observed data on air temperature, relative humidity and were collected in the project “Understanding the regional climate variability in Northeast Paraense” from January to December 2010. The results showed an increase in population in the four municipalities from 1990 to 2020, which triggered the reduction of several factors such as the natural vegetation and quality of vegetation fragments. In addition, the population growth promoted the increase of surface temperature and surface heat island formation. The air temperature varied throughout the year, but the ability to present a heterogeneous behavior characterized by the rainy and less rainy period. The thermal comfort index was classified as partially comfortable in rural areas and uncomfortable in urban areas. It was possible to conclude that the urban microclimate has changed in the last 30 years. In addition, climate change can promote the intensification of these changes. Thus, the analysis of meteorological and environmental variables in an interdisciplinary way can assist in managing the landscape of the municipalities to mitigate the effects of heat islands and maintain the quality of life of the population.

**Keywords:** Urban and rural climate. Land use. Remote sensing. Amazonia.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo delimitando os municípios de São Caetano de Odivelas (1), Vigia (2), Colares (3) e Santo Antônio do Tauá (4). .....	22
Figura 2 – Fluxograma dos dados utilizados. ....	28
Figura 3 – Fluxograma metodológico da temperatura de superfície terrestre e índice de vegetação. ....	34
Figura 4 – Fluxograma metodológico de ilha de calor de superfície. ....	36
Figura 5 – Fluxograma metodológico das variáveis climáticas.....	37
Figura 6 - Mudança de uso e ocupação do solo no período de 1990 a 2020.....	40
Figura 7 - Detecção de mudança de longo prazo (1990-2020) do NDVI para os municípios São Caetano de Odivelas, Vigia, Colares e Santo Antônio do Tauá.....	44
Figura 8 - Temperatura de superfície terrestre no período de 1990 a 2020.....	47
Figura 9 - Série temporal da diferença de temperatura de superfície diurna e noturna no município de Vigia.....	49
Figura 10 - Precipitações no meio rural da área de estudo em 2010.....	52
Figura 11 - Distribuição média mensal da precipitação no meio urbano e rural de Vigia.....	56
Figura 12 - Temperatura média em vigia no meio rural e urbano às 07 horas e às 14 horas.....	61
Figura 13 - Variação mensal da temperatura do ar rural da área de estudo: a) às 07 horas, (b) às 14 horas local. ....	63
Figura 14 - Variação mensal do Índice de Desconforto Térmico em São Caetano de Odivelas a) às 07 horas e b) às 14 horas; em Colares c) às 07 horas e d) às 14 horas; em Santo Antônio do Tauá e) às 07 horas e f) às 14 horas; no meio rural em Vigia g) às 07 horas e h) às 14 horas; meio urbano em Vigia i) às 07 horas e j) às 14 horas. ....	67
Figura 15 - IDT no meio rural às 07 e 14 horas.....	69
Figura 16 - IDT no meio rural e urbano de Vigia, a) no mês de abril/2010 e b) no mês de setembro/2010.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes do conforto térmico em função do Índice de Desconforto Térmico. .....	38
Tabela 2 - Área ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo nos municípios de Vigia, Colares, Santo Antônio do Tauá e São Caetano de Odivelas em 1990, 2000, 2010 e 2020.....	42
Tabela 3 - Crescimento populacional na área de estudo. ....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ENID	Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento
HS	Hemisfério Sul
ICU	Ilha de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IV	Índice de Vegetação
LI	Linha de Instabilidade
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PC	Período Chuvoso
PMC	Período Menos Chuvoso
TST	Temperatura de Superfície de Terrestre
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	21
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	21
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	22
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b>	22
3.1.1	Município de Vigia	23
3.1.2	Município de Santo Antônio do Tauá	24
3.1.3	Município de São Caetano de Odivelas	25
3.1.4	Município de Colares	26
<b>3.2</b>	<b>Base de dados</b>	26
3.2.1	Dados de sensoriamento remoto	26
3.2.2	Dados observados	27
<b>3.3</b>	<b>Metodologia</b>	28
3.3.1	Mudança de uso e cobertura da terra	28
3.3.2	Estimativa da temperatura de superfície terrestre	29
3.3.2.1	<i>Conversão dos números digitais (DN) para radiância espectral</i>	30
3.3.2.2	<i>Cálculo da temperatura de brilho e estimativa da temperatura de superfície terrestre</i>	31
3.3.3	Estimativa da emissividade da superfície terrestre	32
3.3.4	Variação da Ilha de Calor de Superfície	34
3.3.5	Variáveis meteorológicas	36
3.3.6	Classificação do Índice de Desconforto Térmico	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	39
<b>4.1</b>	<b>Análise da mudança de uso e ocupação do solo</b>	39
<b>4.2</b>	<b>Análise das áreas urbanas por meio do NDVI</b>	43
<b>4.3</b>	<b>Análise da temperatura de superfície terrestre</b>	45
<b>4.4</b>	<b>Análise das ilhas de calor de superfície</b>	48
<b>4.5</b>	<b>Variabilidade dos elementos climáticos</b>	51
4.5.1	Precipitação	51
4.5.2	Temperatura do ar	59
<b>4.6</b>	<b>Análise do índice de desconforto térmico – IDT</b>	65

<b>4.7</b>	<b>Medidas mitigadoras .....</b>	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO FINAL DO PROJETO “ENTENDENDO A VARIABILIDADE DO CLIMA REGIONAL NO NORDESTE PARAENSE” .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ocupação do território na Amazônia iniciou a partir da segunda metade do século XX, com alguns marcos importantes que alavancaram a ocupação desse território. Por exemplo, a década de 1970 foi marcada pela construção de grandes rodovias como a Transamazônica, na década de 1980 ocorreram as instalações de megaprojetos minerais e agropecuários e na década de 1990 os Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento (ENID). O aspecto comum a todos esses grandes projetos é que o objetivo principal foi a ocupação do solo e a colonização de áreas, a qual nem sempre priorizavam os aspectos ambientais e sociais do seu entorno. Nesse contexto, uma nova fase de planejamento surgiu com base no desenvolvimento sustentável marcada em 2008 pelo Projeto Amazônia Sustentável (PAS) e em 2010 pela criação do macro Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) (TRINDADE JÚNIOR; MADEIRA, 2016).

Esse cenário de expansão e urbanização de territórios na Amazônia teve apoio de políticas governamentais, sendo que este processo recebeu diferentes denominações. Trindade Júnior (2015) caracteriza esta urbanização como difusa e Becker (1995) já denominava como floresta urbanizada, pois o território tornou-se fragmentado em sub-regiões, de acordo com modelos econômicos e políticos implementados. Nesse aspecto, o processo de urbanização da Amazônia, e em particular da Amazônia Oriental, não prescinde da urbanização concentrada e homogênea (TRINDADE JÚNIOR, 2015; TRINDADE JÚNIOR; BARBOSA, 2015).

Com o avanço da modernização, o êxodo rural aumentou gradativamente ao ponto em que as populações passaram a viver mais nas cidades. Assim, as médias e pequenas cidades ganharam visibilidade no processo de urbanização na Amazônia, uma vez que precisavam atender as necessidades modernas das atividades que se instalavam no interior. Dessa forma, as cidades representavam bases logísticas para mão-de-obra advinda de outras regiões e formaram um espaço social heterogêneo com diferentes grupos étnicos e sociais (TRINDADE JÚNIOR, 2015). Como resultado, estas cidades tiveram índices de crescimento populacional nas últimas décadas em alguns casos até maiores do que nos grandes centros urbanos (TRINDADE JÚNIOR, 2011).

Em razão das alterações no uso e cobertura do solo, crescimento dos centros urbanos e aumento populacional, as condições naturais e as características físico-química da atmosfera estão se alterando ocasionando um novo microclima urbano (COELHO; CORREA, 2013; ALVES, 2017; TEIXEIRA; AMORIM, 2018; SILVA JÚNIOR, DELGADO, WANDERLEY, 2018).

Entre os estudos pioneiros que avaliaram o microclima urbano no Brasil destaca-se o de Monteiro (1976) o qual formulou o conceito de Sistema Clima Urbano (SCU). Este conceito abrange o clima de uma determinada região e sua urbanização, dessa forma, as cidades geram um clima próprio decorrente de influências derivadas dos espaços urbanos.

Uma das consequências com maior destaque para essa alteração, é o aumento da temperatura do ar local, variável climática que expressa a variação do balanço de energia e está diretamente associada às mudanças climáticas e a formação de Ilhas de Calor Urbana (ICU). O aumento da temperatura do ar pode resultar em uma sinergia de efeitos com outros parâmetros, afetando a qualidade de vida da população nas cidades. Por exemplo, pode aumentar a evapotranspiração, poluição urbana, desconforto térmico e aumento e/ou diminuição da precipitação (MONTEIRO, 1976; CALLEJAS et al., 2011; MEDEIROS et al., 2011; DEBBAGE; SHEPHERD, 2015; CALLEJAS et al., 2016; ALVES, 2017).

O balanço de energia é um processo físico e termodinâmico (OKE, 1988), o qual determina a quantidade de energia disponível para evaporar a água da superfície e aumentar ou diminuir a temperatura do ar. Assim, o balanço de energia ocorre entre o aquecimento radiativo, proveniente do sol e os processos que removem a energia da superfície, com destaque para os fluxos de calor latente e sensível (HARTMANN, 1994; CALLEJAS et al., 2016). As alterações no balanço de energia das cidades podem acarretar o surgimento de Ilha de Calor de Superfície, que tem como característica o aumento de temperatura superficial de regiões urbanizadas quando comparadas com regiões rurais (BEZERRA; MORAES; SOARES, 2018; NURWANDA; HONJO, 2018). Esse aumento da temperatura em ambientes urbano gera desconforto térmico e coloca em risco à saúde da população local, sendo que nos casos extremos de temperatura do ar, podem levar à morte, principalmente das populações mais vulneráveis (LUBER; MCGEEHIN, 2008; WARD, 2016).



Existem três tipos de Ilha de calor: a atmosférica, a vertical e a de superfície. A ilha de calor atmosférica consiste na alteração da temperatura do ar, tornando-o mais quente nos centros urbanos quando comparado com regiões rurais ou periféricas. O registro pode ser feito por meio de pontos fixos ou móveis ao longo de um perfil que englobe desde o centro urbano a área rural (FIALHO, 2012; AMORIM, 2019).

A Ilha de calor vertical pode ser definida por duas escalas: microescala e mesoescala, a primeira corresponde a camada de cobertura urbana que vai do solo até a cobertura das edificações e a segunda compreende a camada limite urbana, representada pelo nível médio dos telhados até a área de influência das cidades na atmosfera. Em geral, a ilha de calor em mesoescala é observável em cidades com grandes edificações, porque elas modificam a velocidade do vento, produzindo um perfil vertical térmico diferente entre área rural e urbana (FIALHO, 2012; AMORIM, 2019).

Por fim, a ilha de calor de superfície registra a temperatura de superfície dos objetos, como telhados, copas das árvores, asfalto, entre outros. Essa captura de dados é realizada por meio de sensores termais via satélite, cobrindo uma maior espacialização da área, porque verifica o clima de grandes cidades em diferentes escalas espaciais e temporais (FIALHO, 2012; AMORIM, 2019).

Entre todos os parâmetros climatológicos discorridos acima, o evento mais significativo para o clima urbano é a Ilha de Calor Urbano (ICU), porque gera maior impacto no microclima das cidades e depende das condições locais (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017). Os efeitos das ICU em alguns locais têm magnitude igual ou superior aos efeitos das mudanças climáticas globais (MCCARTHY; BEST; BETTS, 2010). Por exemplo, o estudo realizado por Levermore et al. (2018) mostraram que as mudanças climáticas podem intensificar os efeitos e a presença de ICU nas cidades. Dessa forma, o fenômeno de ICU tornou-se preocupante para qualidade ambiental e bem estar social nos grandes centros urbanos (RAJAGOPALAN; LIM; JAMEI, 2014).

Uma forma de analisar as características climáticas das cidades é por meio do uso de sensoriamento remoto, visto que esta tecnologia permite mensurar a temperatura de superfícies expostas à radiação, capturando a intensidade das ilhas de calor de superfície por meio de imagens térmicas (ZHANG et al., 2017). Essa

tecnologia é amplamente utilizada em pesquisas voltada para mudanças no clima e cobertura do solo, além de ser um método acessível e gratuito que otimiza tempo e custo, quando comparado às mensurações feitas em campo (COELHO; CORREA, 2013; PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017).

De acordo com Vieira e Machado (2018) a criação e o lançamento de vários satélites, nas últimas décadas, impulsionaram muitos estudos de clima urbano, realizados com base no sensoriamento remoto. Dados de temperatura de superfície obtidos por meio do infravermelho termal, quando correlacionados com as informações de uso e ocupação da terra, fundamentam pesquisas sobre comportamento térmico das diferentes tipologias de cobertura do solo, formação de ilha de calor e do conforto térmico de regiões urbanas e rurais (DIAS; PEREIRA, 2019). Neste contexto, diversos autores têm estudado o comportamento da temperatura tanto no Brasil quanto em outras áreas do planeta.

Bezerra, Moraes e Soares (2018) estudaram a presença de Ilhas de Calor em Belém/PA, com relação à Temperatura de Superfície de Terrestre (TST) e o Índice de Vegetação (IV), por meio de dados do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e imagens de Satélite do Landsat 5 e 8, com isso constataram que os menores valores de NDVI, as temperaturas mais elevadas e as áreas com maior ausência vegetal coincidiram nas mesmas regiões. Pontes et al. (2017) investigaram as características térmicas e ambientais espaciais da superfície urbana, da mesma área de estudo, utilizando o sensoriamento remoto com o auxílio do software Spring desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e identificaram a presença de ICU ocasionada principalmente pela urbanização da área e retirada da cobertura vegetal gerando desconforto térmico para população.

Assim como Margalho et al. (2020) que estudaram a distribuição espacial da temperatura da superfície e a influência da mudança de uso e ocupação do solo na área urbana de Belém, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e constataram que houve aumento da temperatura em toda a área de estudo, com destaque para o centro urbano.

Porangaba, Teixeira e Amorim (2017) pesquisaram sobre os procedimentos metodológicos utilizados para o diagnóstico e análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte, no interior do Estado de São Paulo. Os métodos de mensuração da temperatura do ar foram: pontos fixos, transectos móveis,

sensoriamento remoto e modelagem da temperatura urbana e assim demonstraram a evolução no tratamento de dados com destaque para modelagem espacial, por apresentar maior confiabilidade na representação de ICU, uma vez que correlaciona estes resultados com o uso do solo.

Amorim (2017) estudou ICU em cidades de médio e pequeno porte nos Estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, por meio do sensoriamento remoto, para validar os dados, foram utilizados registros da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sendo diagnosticado ilha de calor de superfície com forte magnitude associadas aos materiais de construção das coberturas, como o zinco e áreas pouco arborizadas.

Vieira e Machado (2018) realizaram um roteiro metodológico para obtenção da temperatura de superfície por meio do sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite Landsat 5 e 8 no software Idrisi, aplicado a Uberlândia/MG no período de 2004 a 2014, o método foi satisfatório indicando ICU na região estudada. Assim como Silva et al. (2017) que identificaram pontos quentes na cidade de Vitória da Conquista na Bahia, as obtenções das ilhas de calor foram realizadas por meio de dados do sensor termal dos satélites Landsat 5 e 8.

Souza e Silva (2017) pesquisaram a distribuição térmica em Campo Grande/MS, por meio dos transectos móveis e imagens de satélite Landsat 8 e concluíram que a ICU se intensifica durante o período noturno, devido o retorno do calor influenciado pela presença da urbanização e poucas áreas verdes. Outro resultado relevante desta pesquisa foi que os locais mais quentes não estão apenas na área de urbanização densa, mas também em bairros periféricos e na área rural, possivelmente pela presença de pastagem ou solos expostos e poucas áreas verdes.

Latif e Kamsan (2017) utilizaram o Landsat 8 na faixa térmica do infravermelho para determinar a temperatura de superfície em Shah Alam na Malásia e medição *in situ*, amostrada em pontos aleatórios e comparou com mapa de uso e cobertura da terra para identificar a inter-relação e detectaram o fenômeno ICU em áreas industriais e as menores temperaturas da superfície em áreas verdes.

Zhang et al. (2017) avaliaram os dados meteorológicos do distrito de Baota na China, do uso do solo e imagens de satélite Landsat 5, 7 e 8 e concluíram que as

ilhas de calor se localizavam em áreas com baixa cobertura de vegetação, assim a intensidade do aumento da temperatura de superfície foi concomitante à mudança de uso da terra.

Nurwanda e Honjo (2018) estudaram a temperatura da superfície em Bogor, Indonésia, nos diferentes tipos de uso da terra por meio de imagens dos satélites Landsat 5 e 8 e os resultados mostraram que a cidade passou por uma expansão em termos populacional e de modernização afetando no aumento da temperatura de superfície e formação de ICU.

Diante do exposto, dados de temperatura de superfície derivados do sensoriamento remoto são cada vez mais utilizados para detectar e analisar Ilha de Calor de Superfície, uma vez que as imagens de satélite minimizam os custos da pesquisa e estão cada vez com mais qualidade nas resoluções espaciais, além dos sistemas de informações geográficas gratuitos para o tratamento das imagens (MIRANDA; MARTINS NETO; BORTOLI, 2017). No contexto do tema abordado é importante avaliar o uso da terra e não apenas a temperatura do local.

A identificação das áreas mais aquecidas que podem formar ICU é indispensável para análise do clima urbano, uma vez que a interação da atmosfera com essas superfícies urbanizadas produz ambientes termicamente desagradáveis (PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017). Além disso, em um contexto de aquecimento global, estudar o clima urbano é necessário para compreender os princípios bioclimáticos locais, a fim de avaliar os efeitos pontuais somados ao aquecimento global nas cidades e iniciar processos de adaptação para esses cenários futuros (SOUZA; SILVA, 2017).

Amorim (2017, 2019), Pontes et al. (2017), Freitas (2018) e Bezerra, Moraes e Soares (2018) ressaltaram a necessidade de estudos sobre ilhas de calor para embasar o planejamento territorial e monitoramento ambiental, uma vez que até nas cidades de pequeno porte existem particularidades climáticas que precisam ser analisadas para amenizar situações de desconforto térmico, que interferem diretamente na saúde física e mental das pessoas, além disto estas informações podem subsidiar no crescimento futuro das cidades.

Alves (2017) e Cardoso et al. (2017) ressaltaram as dificuldades em obter trabalhos sobre essa temática em regiões mais afastadas dos grandes centros

urbanos, pois são poucos os dados de características climáticas de cidades de pequeno porte e as variações são mais discretas e específicas. De acordo com Nóbrega e Vital (2010) os estudos sobre ICU são mais frequentes nas regiões Sul e Sudeste do país. No Norte e Nordeste brasileiro as pesquisas são realizadas principalmente nas capitais (BEZERRA; LEITÃO; AZEVEDO, 2013).

Nesse contexto, destaca-se a importância de estudos relacionados com o aumento da temperatura e a aplicabilidade das pesquisas para auxiliar no planejamento urbano e na melhoria da qualidade de vida da população, do meio ambiente urbano e rural, além do conhecimento acadêmico, principalmente em cidades de pequeno porte do Nordeste Paraense, no caso, os municípios de Colares, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá e Vigia, estes, escolhidos por apresentarem características de expansão urbana e populacional, potencial turístico, influência socioeconômica e ambiental para o Estado e onde foi desenvolvido o projeto “Entendendo a variabilidade do clima regional no Nordeste Paraense”.

Tal temática tem apresentado carência na literatura para a área de estudo, dessa forma a presente pesquisa relacionou dados da temperatura de superfície, análise da mudança de uso e ocupação do solo, crescimento populacional, temperatura do ar, precipitação e índice de desconforto térmico, a fim de desenvolver um estudo interdisciplinar demonstrando a interação do clima em diferentes usos dos solos na área urbana e rural de cidades da Amazônia e os efeitos para sociedade.

Devido a isso, questiona-se: O atual cenário de expansão urbana, aumento populacional e desmatamento ocasiona o surgimento de microclima nos municípios de Colares, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá e Vigia?

Para tanto, partiu-se da seguinte hipótese, o crescimento urbano está causando alteração na paisagem e influenciando no microclima local, com aumento da temperatura superficial, surgimento de ilha de calor de superfície e conseqüentemente intensificando o desconforto térmico na região.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar as condições climáticas e ambientais dos municípios de Colares, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá e Vigia que compõem o nordeste do Estado do Pará.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Analisar a distribuição espacial das mudanças de uso do solo, índice de vegetação, temperatura de superfície terrestre e ilhas de calor de superfície no período de 1990 a 2020.
- b) Caracterizar a variabilidade temporal da temperatura do ar e precipitação entre áreas urbana e rural no ano de 2010.
- c) Classificar o Índice de desconforto térmico no ano de 2010.

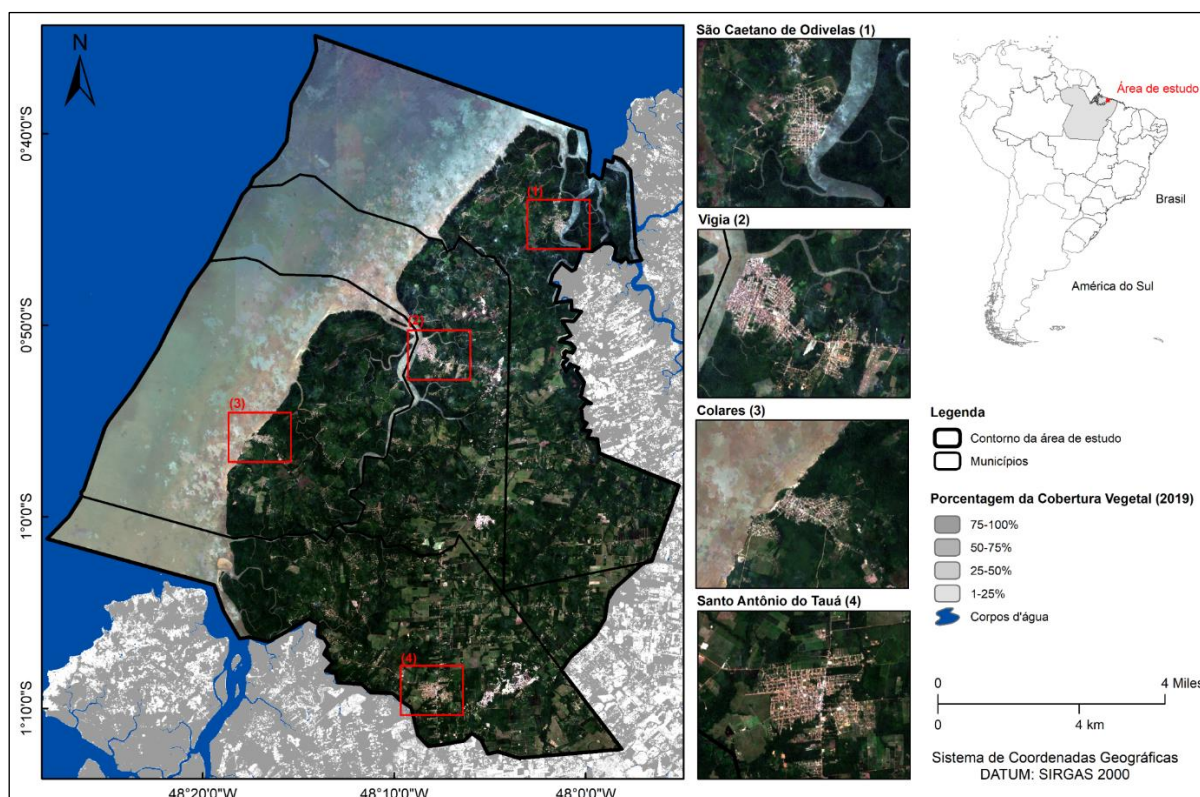
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa foi realizada em alguns municípios de pequeno porte da Mesorregião do Nordeste Paraense: Vigia, Colares, São Caetano de Odivelas e Santo Antônio do Tauá (Figura 1). Nestes municípios foi desenvolvido o projeto “Entendendo a variabilidade do clima regional no Nordeste Paraense”.

A denominação de municípios de pequeno porte pode ser classificada com relação ao número de habitantes ou pela densidade demográfica, assim estão representados nessa classificação os municípios com menos de 50 mil habitantes e/ou inferior a 80 hab/km<sup>2</sup> (VEIGA, 2002).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo delimitando os municípios de São Caetano de Odivelas (1), Vigia (2), Colares (3) e Santo Antônio do Tauá (4).



Os dados populacionais, territoriais, localizações, históricos, culturais, topografias, relevo, geologia e hidrografia, são apresentados com base na Estatística Municipal elaborada pelo Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (IDESP, 2014) e pelos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A climatologia da região conforme Moraes et al. (2005) e Albuquerque et al. (2010) foi utilizada para a discussão do trabalho.

### 3.1.1 Município de Vigia

Vigia situa-se entre as coordenadas geográficas 00° 51' 12" de Latitude Sul e 48° 08' 41" de Longitude Oeste. Como municípios limítrofes, tem-se ao Norte Oceano Atlântico e São Caetano de Odivelas, ao Sul Santo Antônio do Tauá, ao Leste São Caetano de Odivelas e Castanhal e ao Oeste Colares e Baía do Marajó. Compreende uma área de 401,589 km<sup>2</sup>, com população estimada para 2020 pelo IBGE de 54.172 habitantes (hab.), densidade demográfica de 88,83 hab/km<sup>2</sup> e fica aproximadamente a 103 km de Belém, capital do Estado.

A origem de Vigia está atrelada à ocupação do território pelos índios Tupinambás. Seu nome surgiu devido sua posição favorável no território para proteger e fiscalizar as embarcações advindas de Belém. Em 1693, Vigia foi outorgada como Vila e permaneceu nesta categoria até a Independência do Brasil e por meio da Lei Provincial nº 252, de 2 de outubro de 1845, foi considerada Cidade. No decorrer da história teve suas terras desmembradas e atualmente, o Município é constituído pelos distritos de Vigia (sede) e Porto Salvo. A cultura local está fortemente atrelada à religiosidade, com destaque para o Círio de Nossa Senhora de Nazaré. Os turistas também são atraídos pelos blocos carnavalescos e arraiais juninos, os produtos do artesanato local são voltados para utensílios de pesca e embarcações.

Os solos presentes no Município caracterizam-se pelo Latossolo Amarelo e textura argilosa, a estrutura geológica é constituída, predominantemente, pelos sedimentos da Formação Barreiras, que faz parte do planalto Rebaixado da Amazônia, presentes na zona Bragantina do Salgado e Guajarina, terraços e várzeas, a topografia é modesta e sua altitude representa 6 m acima no nível do



mar, com pequenos acréscimos de cotas mais para o sul de seu território. Em relação a hidrografia, destaca-se o furo da Laura e vários igarapés e rios que servem de limites com outros municípios.

### 3.1.2 Município de Santo Antônio do Tauá

Santo Antônio do Tauá situa-se entre as coordenadas geográficas 01° 09' 06" de Latitude Sul e 48° 08' 00" de Longitude Oeste. Como municípios limítrofes, têm-se ao Norte Colares e Vigia, ao Sul Santa Isabel do Pará e Castanhal, ao Leste Castanhal e Vigia e ao Oeste Santa Bárbara do Pará e Belém. Compreende uma área de 537,625 km<sup>2</sup>, com população estimada para 2020 pelo IBGE de 31.918 habitantes (hab.), densidade demográfica de 49,61 hab/km<sup>2</sup> e fica aproximadamente a 52 km de Belém, capital do Estado.

A origem histórica de Santo Antônio do Tauá está relacionada com o município de Vigia e remete-se ao tempo em que o território era ocupado pelos índios tupinambás, sendo que Tauá adveio do vocabulário indígena que significa amarelo. Mas, em 1961 por meio da Lei nº 2.460, de 29 de dezembro de 1961, deixou de ser vila de Vigia e suas terras foram desmembradas. Atualmente o município é constituído pelo distrito-sede de Santo Antônio do Tauá e pelos distritos Espírito Santo do Tauá e São Raimundo de Borralhos. A cultura local está voltada para as festividades religiosas que atraem turistas.

Os solos presentes no Município caracterizam-se pelo Latossolo Amarelo, a estrutura geológica é constituída, predominantemente, pelos sedimentos da Formação Barreiras, faz parte do planalto Rebaixado da Amazônia especificamente da zona Bragantina, a topografia é modesta e sua altitude representa 8 m acima no nível do mar. Em relação à hidrografia, o rio mais importante é o Tauá que nasce no município de Santa Isabel do Pará.

### 3.1.3 Município de São Caetano de Odivelas

São Caetano de Odivelas situa-se entre as coordenadas geográficas 00° 44' 33' de latitude Sul e 48° 01' 03' de longitude Oeste. Como municípios limítrofes, tem-se ao Norte o Oceano Atlântico, ao Sul Vigia, ao Leste Curuçá, São João da Ponta e Terra Alta e ao Oeste Vigia. Compreende uma área de 464,166 km<sup>2</sup>, com população estimada para 2020 pelo IBGE de 18.129 habitantes (hab.), densidade demográfica de 22,72 hab/km<sup>2</sup> e fica aproximadamente a 115 km de Belém.

A origem do município está relacionada com a presença dos missionários da Companhia de Jesus, durante a época Colonial, encontrava-se aliada a área patrimonial do município de Vigia até 1872 com a divulgação da Lei nº 707, de 5 de novembro, aparece na categoria de Município, porém em 1930, o território de São Caetano de Odivelas foi anexado novamente à área dos municípios de Curuçá e Vigia e apenas em 1935 sua condição de município foi retomada. Atualmente o município é composto por três distritos: o distrito-sede de São Caetano de Odivelas, Perseverança e Pererú. A cultura local está voltada para as festividades religiosas, festival do caranguejo, danças folclóricas, com destaque para Carimbó e artesanato feito do ouriço da Castanha-do-Brasil (Castanha-do-Pará).

Os solos presentes no município caracterizam-se pelo Latossolo Amarelo e solos de mangues pela sua localização semi litorânea, a estrutura geológica é constituída, predominantemente, pelos sedimentos da Formação Barreiras, faz parte do planalto Rebaixado da Amazônia especificamente da zona Bragantina e Litoral de Rias, a topografia é modesta e sua altitude representa 5 m acima no nível do mar. Em relação à hidrografia, o rio mais importante é o Mojuim que forma toda a bacia hidrográfica do Município, além desse ainda tem o rio Mocajuba e algumas ilhas no litoral atlântico.

### 3.1.4 Município de Colares

Colares situa-se entre as coordenadas geográficas 00° 55' 38" de latitude Sul e 48° 17' 04" de longitude Oeste. Como municípios limítrofes, tem-se ao Norte a Baía de Marajó e Vigia, ao Sul Santo Antônio do Tauá, ao Leste Vigia, ao Oeste Baía do Marajó. Compreende uma área de 384,069 km<sup>2</sup>, com população estimada para 2020 pelo IBGE de 12.131 habitantes (hab.), densidade demográfica de 18,66 hab/km<sup>2</sup> e fica aproximadamente 105 km de Belém.

O Município de Colares está ligado ao processo histórico e era um povoado patrimonial de Vigia até que evoluiu definitivamente para categoria de Município, isso ocorreu em 29 de dezembro de 1961, por meio da Lei Estadual nº 2.460. Atualmente o Município conta com apenas um distrito que é a sede municipal de Colares. A cultura local está voltada para as festividades religiosas e aos artesanatos de caráter utilitário, como a produção de cadeiras, canoas e remos, e de caráter artístico, como é o caso da cerâmica.

Os solos presentes no Município caracterizam-se pelo Latossolo Amarelo, a estrutura geológica é constituída, predominantemente, pelos sedimentos da Formação Barreiras, segue o mesmo contexto da geologia da região Bragantina nos outros municípios, a topografia é plana, não tem expressividade altimétrica, sendo quase imperceptível a presença de níveis diferenciados. Em relação a hidrografia, tem-se o furo da Laura e o furo Itaqueçaua compondo a rede hidrográfica com o rio Tupinambá e vários igarapés que deságuam no Oceano Atlântico.

## 3.2 Base de dados

### 3.2.1 Dados de sensoriamento remoto

Para análise espacial da região foram utilizados dados de mudança de uso e cobertura do solo do projeto MapBiomass, imagens de satélite AQUA/TERRA do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e do Landsat 5 e 8 (TM e OLI/TIRS), com intuito de estimar os índices de vegetação e da temperatura

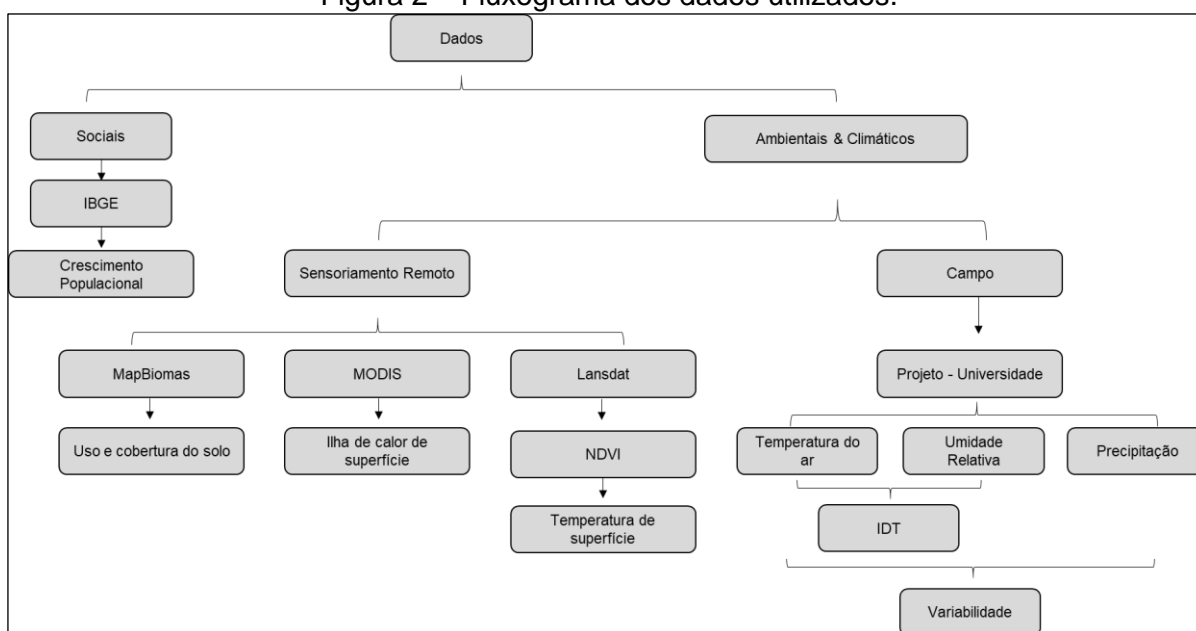
de superfície terrestre nos últimos 30 anos. Todas as imagens foram processadas com técnicas para mascarar resíduos (sombras e nuvens), e posteriormente foram padronizadas através da plataforma *Google Earth Engine* e QGIS, versão 3.4.1. Além disso, todos os dados foram convertidos para o sistema de projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona 22 sul, Datum SIRGAS 2000.

### 3.2.2 Dados observados

Foram utilizados dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação coletados no projeto “Entendendo a variabilidade do clima regional no Nordeste Paraense”, no período de janeiro a dezembro de 2010 (Figura 2). O principal objetivo do projeto, foi a inclusão científica/digital/social de jovens e crianças carentes que viviam em situação de risco nas cidades de Vigia, São Caetano de Odivelas, Santo Antônio do Tauá e Colares. Esses jovens e crianças construíram pluviômetros utilizando garrafa PET, instalaram no quintal de suas casas e faziam a observação diária da quantidade de precipitação às 07 horas. Dessa forma, as anotações eram referentes às últimas 24 horas, anotando hora de início e fim do evento. A leitura da temperatura do bulbo seco e bulbo úmido era realizada em um termo-higrômetro caseiro duas vezes ao dia, às 07 horas e às 14 horas, depois calculava-se a umidade relativa por meio da tabela que acompanhava o termo-higrômetro. Mais detalhes sobre o projeto encontram-se no Apêndice A.

Porém, como a coleta dos dados dependia da observação feita por alunos, as observações tiveram uma pequena variação na data de início e fim, assim, na área urbana de Vigia os dados apresentados foram de janeiro a setembro de 2010, sendo que apenas em Vigia os dados coletados foram em área urbana e rural e nos demais municípios as coletas foram realizadas apenas na área rural. Os dados de densidade populacional foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE).

Figura 2 – Fluxograma dos dados utilizados.



### 3.3 Metodologia

#### 3.3.1 Mudança de uso e cobertura da terra

Um conjunto de dados importantes e promissores para o mapeamento de áreas agrícolas e pastagens e, conseqüentemente, de cobertura vegetal é o projeto MapBiomias (MAPBIOMAS, 2020). O MapBiomias fornece mapas baseados em imagens Landsat para a classificação do uso e cobertura do solo, agregados em 5 categorias amplas (e até 25 categorias detalhadas) no período de 1985 a 2020, com resolução espacial de 30 m. Na área de estudo, as classes foram divididas em: Floresta (formação florestal, floresta plantada, Manguezais); Formação natural não florestal (outra formação natural não florestal, apicum); Agropecuária (pastagem, agricultura); Área não vegetada (infraestrutura urbana); e Água (rios, lagos e oceanos).

### 3.3.2 Estimativa da temperatura de superfície terrestre

A área de estudo foi delimitada nas imagens obtidas através dos satélites Landsat 5 TM e 8 OLI/TIRS, com o auxílio da plataforma *Google Earth Engine (GEE)* (GORELICK et al., 2017) para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020, tendo sido adotados pontos de controle, que ofereceram uma feição física identificável, tais como estradas, corpos hídricos e pontos de fácil reconhecimento. Foram usadas imagens na transição entre o período chuvoso e seco, especificamente entre junho, julho e agosto. Cada imagem de satélite utilizada na composição da imagem utilizou, como critério, entre a captura de uma imagem para outra, um acumulado de chuva inferior ao limiar de 30 mm e nebulosidade inferior a 15%, para não interferir de forma significativa nos valores do NDVI, conseqüentemente no cálculo da temperatura da superfície terrestre.

Após esses processos, as imagens de temperatura de superfície terrestre correspondentes foram processadas no *Google Earth Engine*, como descrito por Ermida et al. (2020). A plataforma virtual do GEE criada pela empresa Google, utiliza serviço de computação em nuvem e disponibiliza um grande conjunto de dados geoespaciais, com cenas de mais de 40 anos do Landsat sobre várias áreas tais como, monitoramento climático, desmatamento, gerenciamento de água entre outras variáveis ambientais e socioeconômicas. A grande vantagem é a otimização do processamento de imagens, sem que seja necessário a utilização de alta memória computacional, porém é necessário a inserção de linguagem de programação Python ou Java Script, para escrever os comandos no GEE (GORELICK et al., 2017; HUANG et al., 2017).

O GEE representa uma das ferramentas mais poderosas oferecidas atualmente para aplicações de técnicas de sensoriamento remoto, com sua capacidade de analisar e classificar uma grande quantidade de dados detectados remotamente em diferentes escalas temporais, que podem ser aplicados de forma rápida e precisa para estudos de crescimento urbano, índices de vegetação, temperatura de superfície terrestre, desmatamento, queimadas (PATEL et al., 2015; DONG et al., 2016; VILLAVICENCIO et al., 2018).

### 3.3.2.1 Conversão dos números digitais (DN) para radiância espectral

As imagens do Landsat 5 TM foram convertidas (Equação 2 e 3) de acordo com Markham e Barker (1986) e Chander et al (2009).

$$L_{\lambda} = \left[ \frac{(L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda})}{(Q_{calmax} - Q_{calmin})} \right] * (Q_{cal} - Q_{calmin}) + L_{MIN\lambda} \quad (2)$$

Ou

$$L_{\lambda} = L_{MIN\lambda} + [(L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}) * \frac{DN}{255}] \quad (3)$$

Onde:

$L_{\lambda}$  é a radiância espectral do sensor ( $W/(m^2 * sr * \mu m)$ )

$Q_{cal}$  são os valores de pixels calibrados (Equivalente ao DN - número digital)

$Q_{calmax}$  valor máximo correspondente ao pixel calibrado (DN = 255)

$Q_{calmin}$  valor mínimo correspondente ao pixel calibrado (DN = 1)

$L_{MAX\lambda}$  radiância espectral dimensionada para  $Q_{calmax}$

$L_{MIN\lambda}$  radiância espectral dimensionada para  $Q_{calmin}$

No entanto, DN das imagens do Landsat 8 OLI/TIRS da banda 10 foram convertidos para radiância espectral que é fornecida por Vermote et al. (2016). (Equação 4)

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

Onde  $L_{\lambda}$  é a radiância espectral do sensor,  $M_{\lambda}$  é o fator de escala da radiância para a banda,  $A_L$  é o fator de escala adicional da radiância para a banda,  $Q_{cal}$  é o valor do pixel de nível do ND.

### 3.3.2.2 Cálculo da temperatura de brilho e estimativa da temperatura de superfície terrestre

Temperatura de brilho ( $T_B$ ) é a temperatura real observada pelo satélite sob a teoria da emissividade (CHANDER et al., 2009). Pode ser calculado de acordo com a equação de Planck fornecida em (Equação 5):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

Onde  $T_B$  é o efetivo na temperatura de brilho do sensor em Kelvin;  $L_\lambda$  é a radiância espectral na do sensor ( $W/(m^2 * sr * \mu m)$ );  $K_1$  e  $K_2$  são as constantes de calibração para o Landsat;  $K_1$  é  $607,76 W/(m^2 * sr * \mu m)$ ; e  $K_2$  é  $1260,56 K$ .

As temperaturas de brilho obtidas foram referenciadas a um corpo negro, que diferem das propriedades de objetos reais. A correção para emissividade espectral ( $\varepsilon$ ) é obrigatória, e a emissividade corrigida da temperatura da superfície foi calculada da seguinte forma (Equação 6):

$$T_S = \frac{T_B}{\left\{1 + \left[\left(\frac{\lambda T_B}{h \frac{c}{\sigma}}\right) \ln \varepsilon\right]\right\}} \quad (6)$$

Onde  $T_S$  é a temperatura radiante da superfície em Kelvin ( $K$ );  $T_B$  é a temperatura efetiva de brilho do sensor em Kelvin;  $\lambda$  é o comprimento de onda da radiância emitida;  $h$  é a constante de Plank ( $6,626 * 10^{-34} Js$ );  $c$  é a velocidade da luz ( $2,998 * 10^8 m/s$ );  $\sigma$  é a constante de Boltzmann ( $1,38 * 10^{-23} J / K$ ); e  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície. Como a temperatura radiante da superfície está em Kelvin, que difere de graus Celsius comumente usada, a temperatura de superfície terrestre em Celsius foi calculada adicionando o zero absoluto (aproximadamente  $-273,15$  °C).



### 3.3.3 Estimativa da emissividade da superfície terrestre

Emissividade se refere à relação entre a radiância emitida pelos materiais da superfície e a radiância emitida pelo corpo negro em relação sua temperatura. Em imagens de satélite, os pixels representam as superfícies terrestres, que são frequentemente pixels mistos, ou seja, são uma mistura de tipos de superfície como água, vegetação e solo. Para estimar a emissividade dos dados da banda térmica do satélite, o método de limiar do Índice de Vegetação por Diferença Normalizado (NDVI) foi usado (WANG et al., 2014) quantificando todos os tipos de superfície terrestre.

Portanto, o NDVI e a proporção de vegetação ( $P_v$ ) são necessários para calcular a emissividade. O NDVI é um índice que infere as condições gerais da vegetação e é usado para definir a temperatura de superfície terrestre. Sendo o NDVI complementar para calcular a proporção de vegetação e emissividade. Este índice foi calculado usando a equação 7 (SOBRINO et al., 2004).

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{Red}}{B_{NIR} + B_{Red}} \quad (7)$$

onde  $B_{NIR}$  é reflectância da banda do infravermelho próximo (Banda 4 no Landsat 5; e Banda 5 no Landsat 8);  $B_{Red}$  é a reflectância da banda vermelha (Banda 3 no Landsat 5; e Banda 4 no Landsat 8).

De acordo com Jin et al. (2015) e Quintano et al. (2015) a proporção da vegetação ( $P_v$ ) é calculada usando os valores NDVI do solo e da vegetação (Equação 8).

$$P_V = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (8)$$

onde  $NDVI_{max}$  é o valor do NDVI sobre a cobertura terrestre totalmente vegetada (0,5);  $NDVI_{min}$  é o valor do NDVI sobre a cobertura terrestre sem vegetação (0,2).

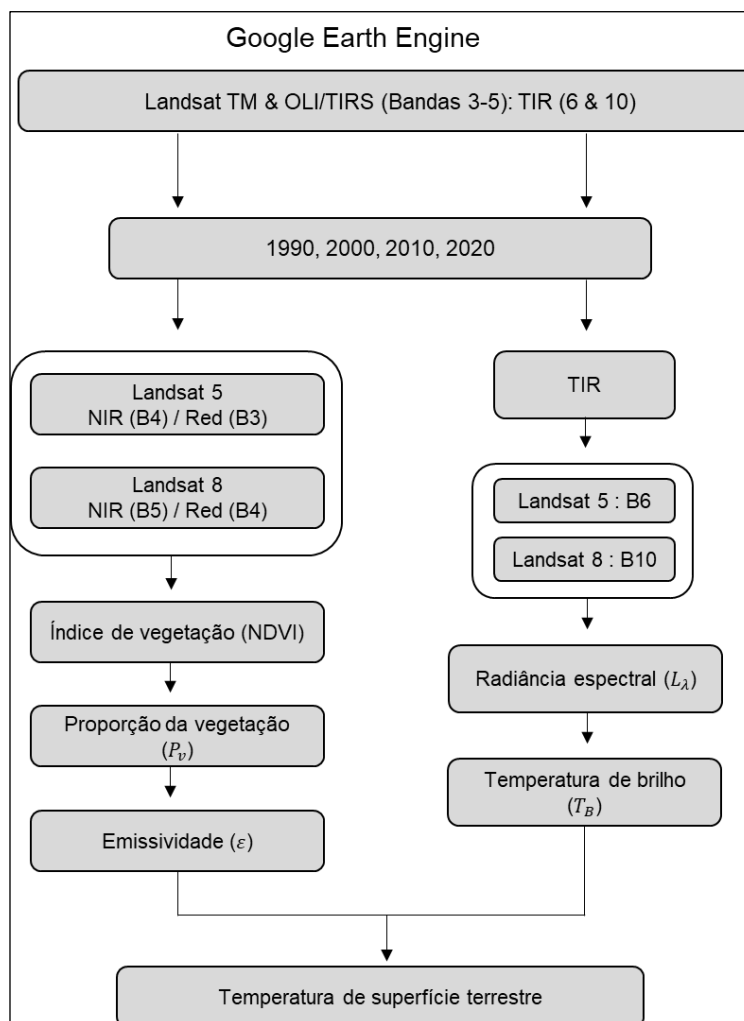
Em seguida, a emissividade da superfície terrestre foi calculada segundo Sobrino et al. (2004) (Equação 9).

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon_s & NDVI < 0,2 \\ \varepsilon_v P_V + \varepsilon_s(1 - P_V) + C_\varepsilon & \leq NDVI \leq 0,5 \\ \varepsilon_v + C_\varepsilon & NDVI \geq 0,5 \end{cases} \quad (9)$$

onde  $\varepsilon_v$  é a emissividade da vegetação;  $\varepsilon_s$  é a emissividade do solo;  $C_\varepsilon$  é a distribuição geométrica da superfície (Figura 3).

O NDVI pode variar entre -1 a 1, de acordo com a relação entre medidas espectrais de duas bandas, infravermelho próximo e vermelho, valores iguais a zero indicam ausência de vegetação ou solo exposto, valores próximos de 1 indicam grande quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa e valores negativos são referentes a água e nuvens (GOMES et al., 2017).

Figura 3 – Fluxograma metodológico da temperatura de superfície terrestre e índice de vegetação.



### 3.3.4 Variação da Ilha de Calor de Superfície

Neste estudo, para examinar a ilha de calor urbana de superfície em relação às tendências temporais, foi definida a área urbana principal e a área não urbanizada adjacente. Em seguida, inferiu-se a área urbana com base na classificação da cobertura do solo usando dados do MapBiomas. Tendo em vista a distribuição das áreas urbanas, a área urbana principal foi extraída com base na interpretação visual, onde apenas o município de Vigia proporcionou uma malha urbana significativa (quantidade de pixels). Além disso, corpos hídricos na área urbana foram excluídos desta análise porque esses pixels podem ofuscar o efeito da urbanização na temperatura de superfície terrestre (MURO et al., 2018).

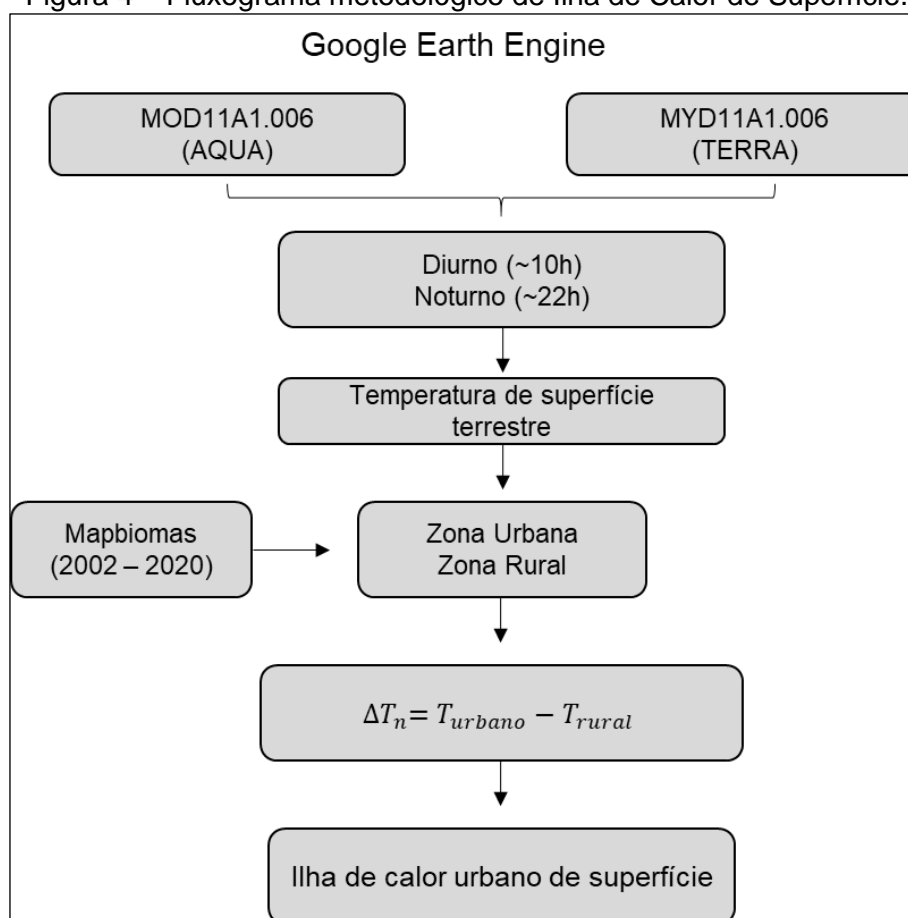
Com os dados do satélite AQUA (MYD11A1) e TERRA (MOD11A2) do sensor MODIS, foram excluídos os produtos de temperatura de superfície terrestre durante duas estações: janeiro a maio e setembro a dezembro, para aferir o comportamento durante a transição da estação chuvosa e estação menos chuvosa. Portanto, dentro de cada ano, as séries de temperatura de superfície terrestre durante o período de transição (junho a agosto) foi considerado durante a análise de 2002 a 2020. Especificamente, para cada ano, todas as imagens foram divididas no período diurno (~10:00h) e noturno (~22:00h).

Em seguida, foi calculada a média das imagens da temperatura de superfície terrestre. Dessa forma, um padrão médio de temperatura de superfície terrestre para cada ano específico foi definido, para o período diurno e noturno considerados separadamente, em uma resolução espacial de 1 km (MOHAMMAD; GOSWAMI; BONAFONI, 2019). Conseqüentemente, um método foi usado para estimar ilha de calor de superfície definido como o diferencial médio da área da temperatura de superfície terrestre entre a área urbana principal e a área não urbanizada (WU et al., 2019; LEE et al., 2019), conforme medido pelos dados de temperatura de superfície terrestre derivados do sensor MODIS, conforme Equação 10.

$$\Delta T_n = T_{urbana} - T_{rural} \quad (10)$$

Onde  $\Delta T_n$  representa a diferença entre a temperatura de superfície terrestre na área urbana e não urbanizada,  $T_{urbana}$  representa a temperatura de superfície terrestre na área urbana principal e  $T_{rural}$  representa a temperatura de superfície terrestre na área não urbanizada. Dentre eles,  $\Delta T_0$  indica a ilha de calor urbana de superfície urbanizada. Um valor positivo de  $\Delta T_0$  indica um efeito de ilha de calor, e o oposto indica ilha de frescor. Portanto, a ilha de calor de superfície é vagamente definida como a diferença da temperatura de superfície terrestre entre as áreas urbanas e não urbanas (Figura 4).

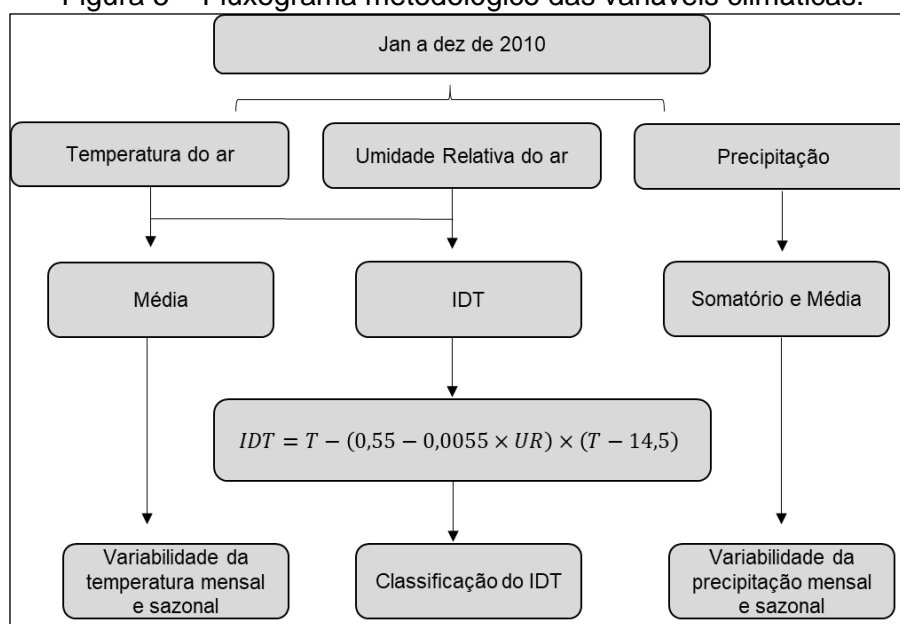
Figura 4 – Fluxograma metodológico de Ilha de Calor de Superfície.



### 3.3.5 Variáveis meteorológicas

A partir dos registros diários de precipitação (mm) foram realizados somatórios dos valores registrados para obter o acumulado de chuva mensal, a fim de caracterizar a sazonalidade das duas estações. Para os valores de temperatura do ar (°C), foi aplicada a média aritmética, com o objetivo de identificar a variabilidade da temperatura, a partir das escalas, mensal e sazonal, os valores mínimos e máximos para identificar a amplitude térmica. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa foram utilizados para classificar o Índice de Desconforto Térmico (IDT) (Figura 5).

Figura 5 – Fluxograma metodológico das variáveis climáticas.



### 3.3.6 Classificação do Índice de Desconforto Térmico

Para calcular o índice de desconforto térmico (IDT) foram utilizados os dados de temperatura do ar e umidade relativa, substituindo-os na equação (11) proposta por Thom (1959) expressa por:

$$IDT = T - [(0,55 - 0,0055 UR) * (T - 14,5)] \quad (11)$$

Onde:

IDT é o índice de desconforto térmico (°C)

T é a temperatura do ar média mensal (°C)

UR a umidade relativa do ar média mensal (%).

Para classificar as faixas do IDT foram utilizadas as classes apresentadas na Tabela 1, ajustado para o clima tropical por Santos et al. (2012).

Tabela 1 - Classes do conforto térmico em função do Índice de Desconforto Térmico.

<b>Nível</b>	<b>Faixa do IDT (°C)</b>	<b>Classe do desconforto térmico</b>
1	IDT < 24	Confortável
2	24 ≤ IDT ≤ 26	Parcialmente confortável
3	26 < IDT < 28	Desconfortável
4	IDT ≥ 28	Muito desconfortável

Fonte: Santos et al. (2012).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise da mudança de uso e ocupação do solo

A análise do uso e ocupação do solo no município de Vigia, Colares, Santo Antônio de Tauá e São Caetano de Odivelas foi realizada com o objetivo de compreender a variabilidade espacial dos usos da região e verificar se houve mudanças significativas na paisagem, em um período de mais de 30 anos. A Figura 6 mostra a distribuição espacial da região para o período de 1990 a 2020 e a Tabela 2 apresenta a área ocupada por cada município e as porcentagens dos tipos de uso.

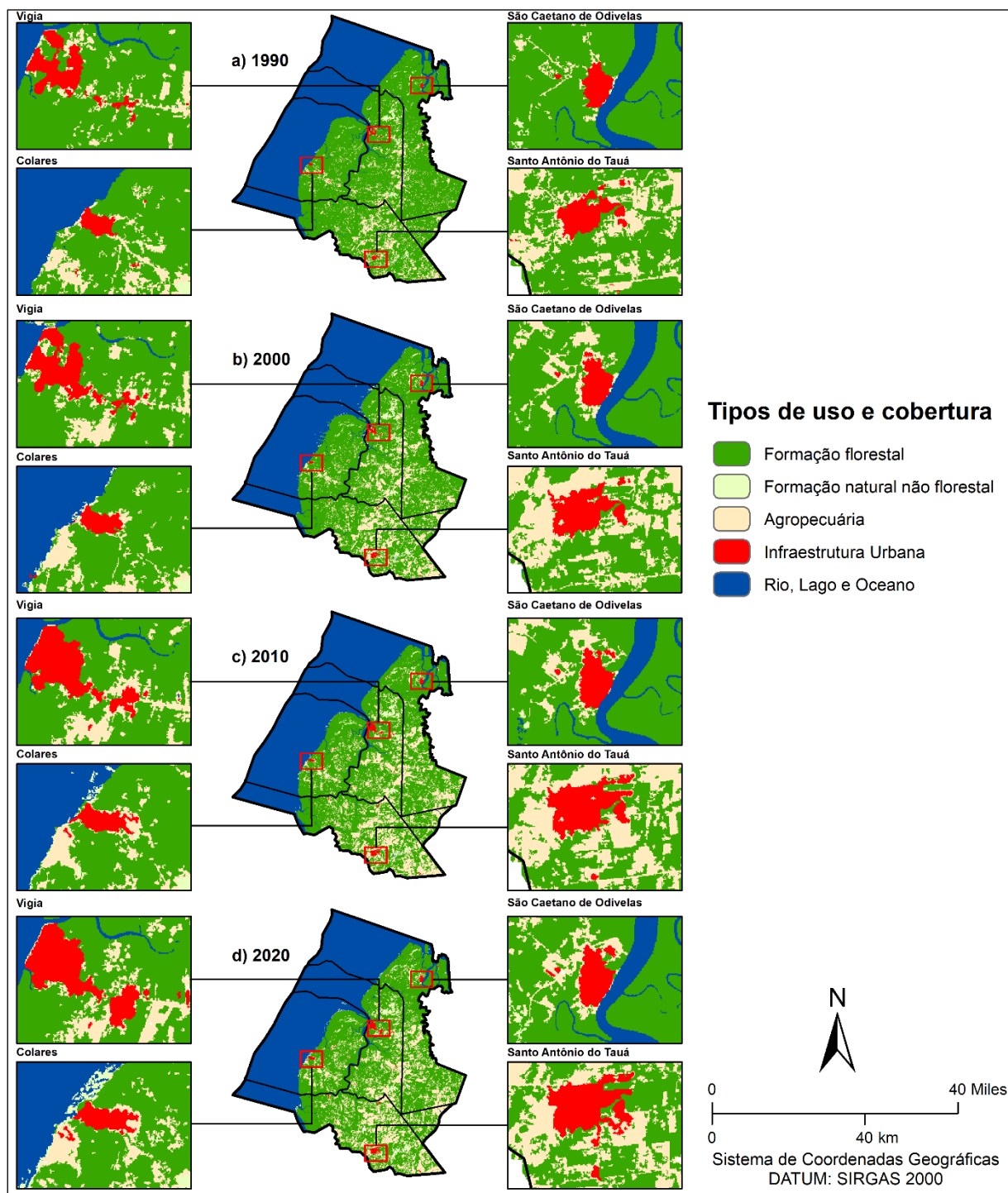
Em 1990 é possível perceber o predomínio da formação florestal na região, onde observou-se uma perda anual dessa cobertura sobre as áreas classificadas como pastagens. Entre os anos de 1990 e 2000 foi possível identificar, principalmente, um considerável avanço das pastagens entre 2000 e 2020, representando um aumento de 203.849 km<sup>2</sup> (8,4%). Entre 1990 e 2020, há pequenas variações entre os demais tipos de uso e cobertura, com aumento e diminuição entre eles. A partir de 2000, no entanto, há um avanço considerável da infraestrutura urbana sobre as áreas de formação florestal entre os municípios, com uma expansão total que chega a 5.778 km<sup>2</sup> (0,23%) (Tabela 2).

A expansão da infraestrutura urbana pode ser explicada mediante a observação dos dados dos últimos censos do IBGE para os municípios de Vigia, Colares, Santo Antônio de Tauá e São Caetano de Odivelas, em que houve um aumento de 83.454 mil para 116.35 mil habitantes. Já em 2020 a população foi estimada em cerca de 32.896 mil, o que mostra um possível crescimento da população em cerca de 40% nos últimos 30 anos (Tabela 3).

De acordo com Chen et al. (2020) o crescimento da população é um fator que contribui para o aumento de áreas mais urbanizadas, conseqüentemente, uma tendência do surgimento de ilhas de calor urbana. Portanto, fica nítido na Figura 6 que houve um crescimento progressivo das áreas urbanizadas em decorrência do crescimento populacional. Parte dessa expansão ocorreu sobre áreas de vegetação natural, caracterizando um importante indicador em alterações abióticas (aumento da temperatura) da região.



Figura 6 - Mudança de uso e ocupação do solo no período de 1990 a 2020.



De forma mais detalhada na Tabela 2, a área florestal ocupa desde 1990 até 2020, mais da metade da área total dos municípios estudados, sendo mais expressiva sua parcela em São Caetano de Odivelas com 72,3% em 2020. A segunda classe com maior predominância foi a agropecuária (pastagem e agricultura), sendo mais representativa em Santo Antônio do Tauá (153.225 Km<sup>2</sup> ou

























seja 28,6%) para o ano de 2020. A formação florestal não natural e a infraestrutura urbana tiveram um aumento durante o período analisado em todos os municípios.

Além disso, nos municípios estudados, a cobertura vegetal preponderante é de Florestas Secundárias e alguns vestígios da antiga Floresta Densa dos baixos platôs. Este cenário representa o intenso processo de desmatamento, com a finalidade de cultivar espécies agrícolas de subsistência (milho, arroz, feijão e mandioca). Em Santo Antônio do Tauá há uma pequena extensão de campus naturais, conhecido como Campos do Tauá, em São Caetano de Odivelas, Colares e Vigia há vegetação de Mangue, onde há interferência da salinidade, e em planícies aluviais ocorre florestas de várzea e as matas ciliares (IDESP, 2014).

Santo Antônio do Tauá apresentou o maior aumento da urbanização cerca de 89% entre 1990 (2.513 km<sup>2</sup>) e 2020 (4.747 km<sup>2</sup>), em seguida foi Vigia com aumento de 78% de 1990 (2.640 km<sup>2</sup>) a 2020 (4.695 km<sup>2</sup>), logo após Colares com acréscimo de 67% de 1990 (0.969 km<sup>2</sup>) a 2020 (1.624 km<sup>2</sup>) e o menor crescimento urbano foi em São Caetano de Odivelas com aproximadamente 63% entre 1990 (1.367 km<sup>2</sup>) e 2020 (2.226 km<sup>2</sup>) (Tabela 2).

Resultados similares foram encontrados por Braga et al. (2018), que analisaram a dinâmica de mudança de uso do solo no município de Colares entre 2004 e 2014 e perceberam alteração considerável no uso do solo no município, com perda de área nas classes de floresta, pasto limpo, pasto sujo e regeneração com pasto e expansão da vegetação secundária, área não observada, área urbana e mosaico de ocupações. Vale ressaltar que os autores observaram no município uma paisagem muito fragmentada, principalmente com fragmentos pequenos, representando um alto impacto da atividade humana gerado sobre o uso do solo no local.

Tabela 2 - Área ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo nos municípios de Vigia, Colares, Santo Antônio do Tauá e São Caetano de Odivelas em 1990, 2000, 2010 e 2020.

	Ano	FLOR	FNNF	AGRO	URBA	AGUA
		Área (km <sup>2</sup> ) / Porcentagem (%)				
Vigia	1990	319.072 / 79,5	10.279 / 2,6	55.592 / 13,8	2.640 / 0,7	13.981 / 3,5
	2000	282.624 / 70,4 	11.568 / 2,9	93.122 / 23,2	2.830 / 0,7 	11.373 / 2,8
	2010	270.570 / 67,4 	12.145 / 3,0	100.402 / 25,0	4.016 / 1,0 	14.434 / 3,6
	2020	264.843 / 66,0 	11.236 / 2,8	105.323 / 26,2	4.695 / 1,2 	15.276 / 3,8
Colares	1990	221.259 / 57,6	2.643 / 0,7	16.736 / 4,4	0.969 / 0,3	142.426 / 37,1
	2000	214.639 / 55,9 	4.018 / 1,0	24.399 / 6,4	0.936 / 0,2 	140.063 / 36,5
	2010	204.122 / 53,1 	4.990 / 1,3	31.060 / 8,1	1.313 / 0,3 	142.565 / 37,1
	2020	198.598 / 51,7 	5.428 / 1,4	35.646 / 9,3	1.624 / 0,4 	142.734 / 37,2
Santo Antônio do Tauá	1990	343.529 / 63,9	3.529 / 0,7	95.611 / 17,8	2.513 / 0,5	92.085 / 17,1
	2000	305.839 / 56,9 	4.484 / 0,8	133.147 / 24,8	3.024 / 0,6 	91.036 / 16,9
	2010	279.922 / 52,1 	4.938 / 0,9	156.997 / 29,2	4.153 / 0,8 	91.537 / 17,0
	2020	281.951 / 52,6 	5.646 / 1,1	153.225 / 28,6	4.747 / 0,9 	90.437 / 16,9
São Caetano de Odivelas	1990	398.181 / 86,3	3.480 / 0,8	32.158 / 7,0	1.367 / 0,3	26.416 / 5,7
	2000	368.083 / 79,8 	4.937 / 1,1	61.378 / 13,3	1.348 / 0,3 	25.710 / 5,6
	2010	338.602 / 73,4 	4.435 / 1,0	89.351 / 19,4	1.946 / 0,4 	27.214 / 5,9
	2020	333.385 / 72,3 	5.717 / 1,2	93.722 / 20,3	2.226 / 0,5 	26.234 / 5,7

Em Vigia e Colares, a taxa de aumento da população foi acima de 46,0% no período de 1991 a 2020. Em Santo Antônio do Tauá o incremento populacional foi maior, em torno de 86,0% e em São Caetano de Odivelas a alteração aparentemente diminuiu neste período, -14,0%, mas isto ocorreu porque a população total (21.100 hab.) era composta pelas localidades de Perseverança 4.302 hab., São Caetano de Odivelas 11.647 hab. e São João da Ponta 5.151 hab., mas em 1995, São João da Ponta, por meio da Lei Estadual nº 5920, de 27/12/1995, foi desmembrado de São Caetano de Odivelas, assim nos anos seguintes deixou de contribuir para contagem populacional de São Caetano de Odivelas (Tabela 3).

Tabela 3 - Crescimento populacional na área de estudo.

Ano	Vigia		Colares		Santo Antônio do Tauá		São Caetano de Odivelas	
	População (hab.)	Alteração (%)	População (hab.)	Alteração (%)	População (hab.)	Alteração (%)	População (hab.)	Alteração (%)
1991	36.973	-	8.267	-	17.114	-	21.100*	-
2000	40.176	8,7	10.632	28,6	10.835	15,9	15.595	-26,1
2010	47.889	19,2	11.381	7,0	26.674	34,5	16.891	8,3
2020	54.172	13,1	12.131	6,6	31.918	19,7	18.129	7,3

\* O município de São João da Ponta foi emancipado em 1995, assim deixou de contribuir para contagem populacional de São Caetano de Odivelas

## 4.2 Análise das áreas urbanas por meio do NDVI

Houve uma diminuição significativa do NDVI durante os anos de 1990 e 2020 ( $p < 0.05$ ). Uma tendência de queda acentuada ocorreu principalmente em áreas de infraestrutura urbana e pastagem ( $NDVI < 0$ ), onde a remoção parcial ou total da vegetação nativa é uma das características dessas áreas antropizadas, a Figura 7 espacializa esta mudança ao longo de 30 anos nos municípios de São Caetano de Odivelas, Vigia, Colares e Santo Antônio do Tauá.

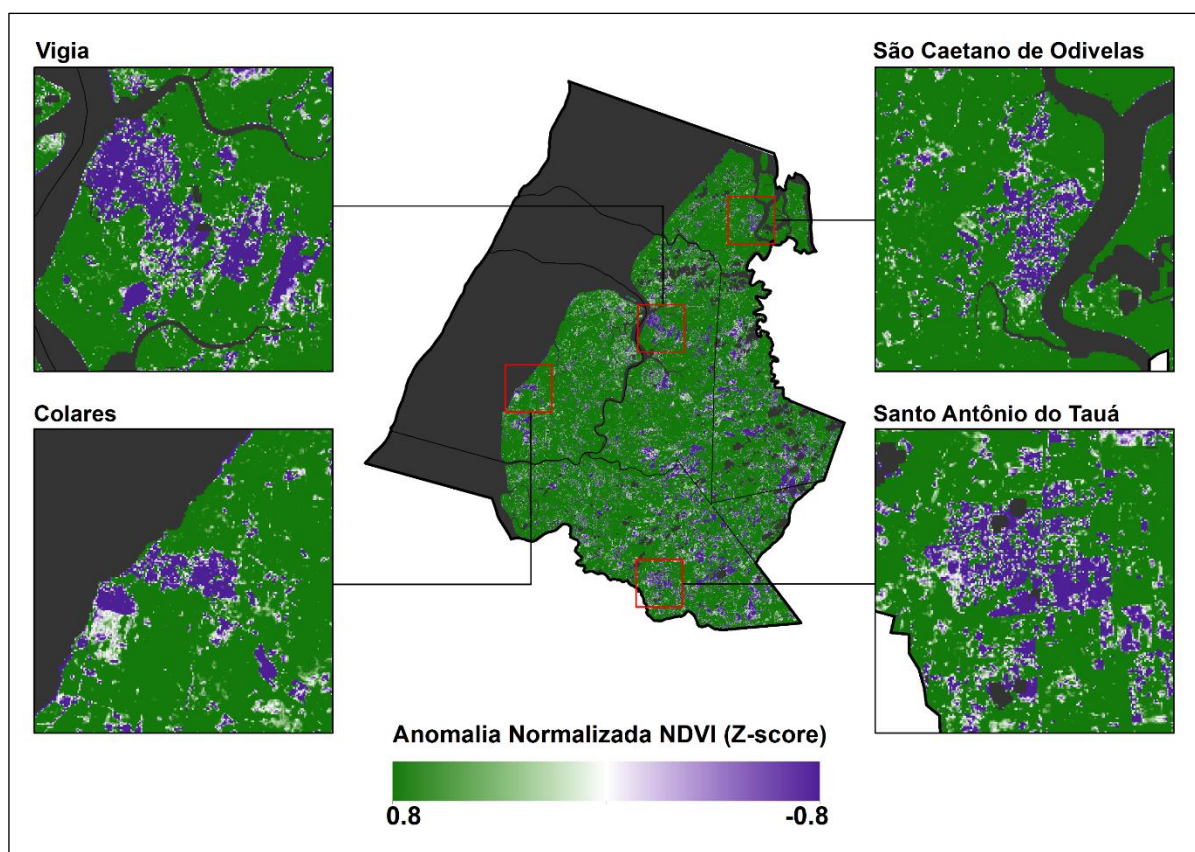
Embora uma extensa parte da região apresente uma recuperação das áreas verdes detectadas, os valores médios de NDVI para as áreas antropizadas são condizentes com a defasagem na resposta espectral devido a expansão contínua que vem apresentando nos últimos 30 anos de análise. Segundo um estudo realizado por Cavalcante, Almeida e Castelo (2018) em Vigia avaliaram o NDVI de floresta secundária e savana e observaram que o valor foi menor para savana e detectaram a influência da sazonalidade neste índice, sendo detectado uma queda do NDVI no Período Menos Chuvoso (PMC), segundo semestre, e aumento no Período Chuvoso (PC), uma vez que a atividade fotossintética é limitada pela disponibilidade de água.

A redução da vegetação resulta no declínio do NDVI, conseqüentemente, tende a aumentar a temperatura de superfície terrestre devido a presença do solo exposto, contribuindo para a mudança da reflectância da superfície, pois em áreas com presença de vegetação e corpos d'água o fluxo de calor latente é mais expressivo e em áreas impermeáveis ou com solo exposto tende a prevalecer o

fluxo de calor sensível, responsável pelo aumento da temperatura (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; BARBOSA et al. 2015). Segundo Silva et al. (2020) isso pode levar a redução da energia térmica disponível, processo que é agravado pela ausência de nebulosidade, que favorece o escape de radiação infravermelha originada na superfície.

Áreas com menores valores de NDVI e maior temperatura de superfície podem ser consideradas focos de calor com grande potencial para incêndio, principalmente no período menos chuvoso e áreas com maiores NDVI e menor temperatura de superfície corresponderiam a áreas mais preservadas. Assim, o NDVI é bastante utilizado com intuito de realizar o monitoramento da vegetação por meio da atividade clorofiliana, e tem sido usado para detectar alterações na cobertura e uso do solo, dessa forma, torna-se um componente essencial para estudos de mudanças ambientais (PONZONI; SHIMABURUKO; KUPLICH, 2012; GOMES et al., 2017).

Figura 7 - Detecção de mudança de longo prazo (1990-2020) do NDVI para os municípios São Caetano de Odivelas, Vigia, Colares e Santo Antônio do Tauá.



### 4.3 Análise da Temperatura de Superfície Terrestre

A partir dos mapas de temperatura de superfície terrestre (Figura 8), verificou-se que as temperaturas de superfície terrestre sofreram alterações significativas entre os anos analisados. Observou-se que para o ano de 1990, durante o início do processo de expansão de atividades humanas como pastagem e infraestrutura urbana, as temperaturas de superfície na maior parte dos municípios oscilaram entre 28°C e 34°C, sendo que a extensão territorial do município de Santo Antônio do Tauá foi a que apresentou maiores temperaturas elevadas. Houve pontos isolados de maior temperatura localizados principalmente em áreas urbanas já consolidadas, como o município de Vigia, apresentando temperaturas de superfície entre 34°C e 37°C.

A área de menor temperatura superficial está associada a uma extensa cobertura vegetal densa. A partir do ano de 2000 as alterações visualizadas foram ainda maiores com o avanço do setor agropecuário e êxodo rural (AZEVEDO-RAMOS; MOUTINHO, 2018), com destaque para as temperaturas de superfície terrestre entre 37,0°C e 40,0°C.

Nessa perspectiva, a malha urbana demonstrou majoritariamente uma temperatura de superfície terrestre entre 31,0°C e 40,0°C de 2000 a 2010. Observou-se também a consolidação de pontos de temperaturas extremas e maiores que 40°C sobre as áreas urbanas entre 2010 e 2020. É neste contexto que são identificadas a presença das chamadas Ilhas de Calor de Superfície (OKE, 1987; QAID et al., 2016) em função da sua disparidade frente a um cenário. Por fim, a classe de agropecuária composta em sua maioria por pastagens, apresentou característica bastante heterogênea, exibindo uma temperatura de superfície terrestre que varia entre 31,0°C e 34,0°C.

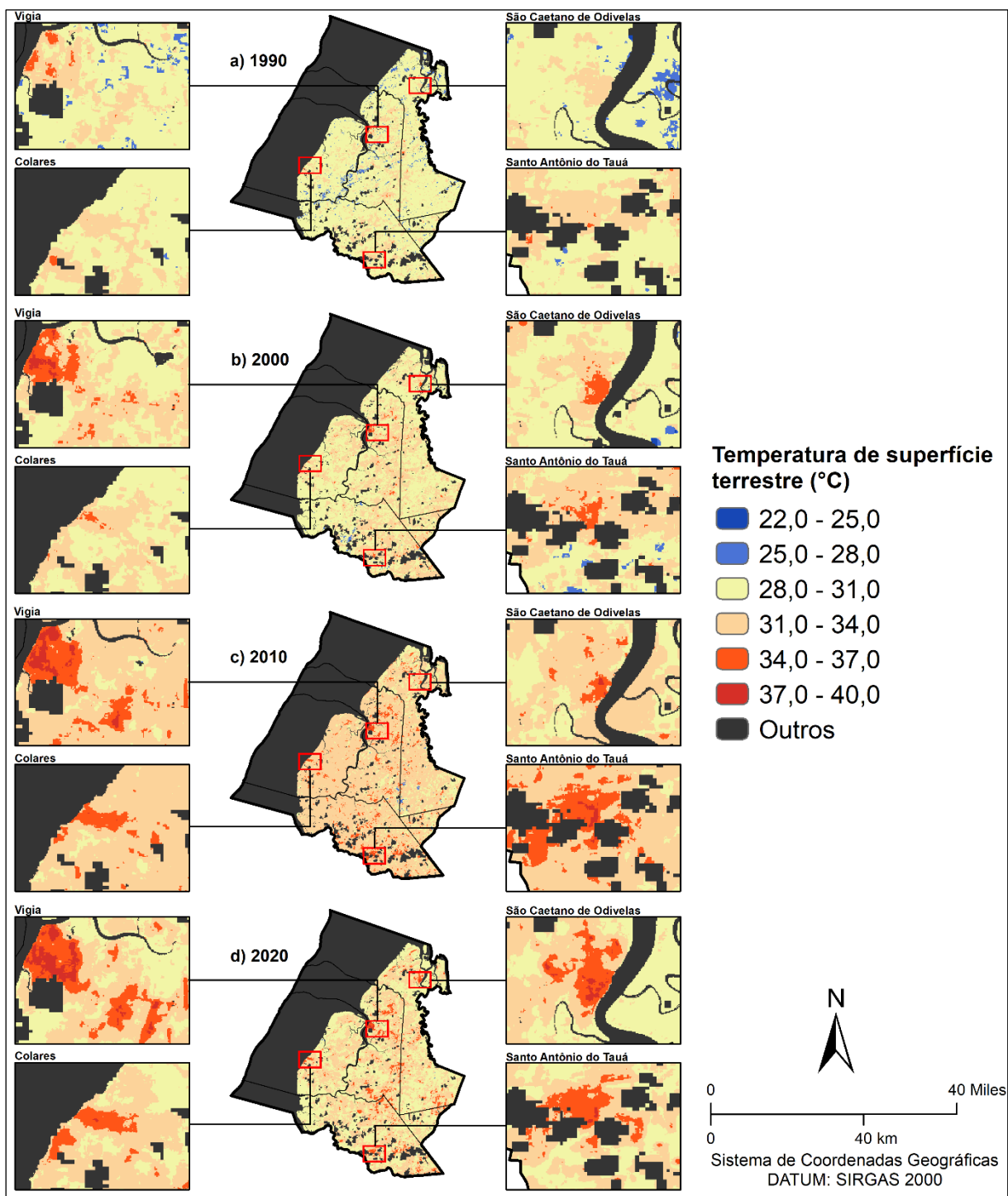
Ressalta-se que a radiação ao atingir a superfície terrestre encontra diversas superfícies naturais, tais como corpos d'água, vegetação, rocha; e as artificiais, como o asfalto, concreto e telhados, estas características que determinam as diferenças no balanço de energia entre superfícies rurais e urbanas. A energia que atinge a superfície terrestre é devolvida para a atmosfera na forma de fluxo de calor sensível (aquecimento) e latente (evapotranspiração) (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Tal efeito ocorre nestes ambientes porque há uma redução do fluxo de calor latente, devido ao aumento de superfícies impermeáveis, redução da vegetação e das águas superficiais (rios, lagos). Assim, há um aumento do fluxo de calor sensível, que está diretamente interligado ao aquecimento da temperatura do ar e do desconforto térmico (OKE, 1987; MOREIRA, NÓBREGA, SILVA, 2013; BARBOSA et al., 2015). Portanto, as causas apresentadas contribuem para que haja maior ganho e maior armazenamento de energia na cidade, o que traz como consequência, o maior aquecimento do ambiente urbano.

Esse efeito está diretamente ligado aos materiais urbanos, como o asfalto, que de acordo com Gartland (2010) por ser um material escuro, absorve e armazena mais calor, além de ser um material impermeável, assim é resistente a água e não há a dissipação do calor por meio da evaporação (MARGALHO, 2020). O albedo é a radiação de onda curta refletida da superfície (água, floresta, cidade). A radiação solar (onda curta) absorvida pela superfície terrestre é um dos fatores primordiais para determinação dos climas no planeta. A maneira de se determinar a radiação absorvida por uma superfície é medindo a quantidade de radiação refletida por essa superfície.

Assim, a temperatura de superfície terrestre é considerada como temperatura de pele, que varia conforme as diferentes coberturas do solo, em áreas vegetadas os valores são menores do que em áreas construídas, por isso essa variável é muito utilizada em estudo do clima urbano (JEEVALAKSHMI; REDDY; MANIKIAM, 2017).

Figura 8 - Temperatura de superfície terrestre no período de 1990 a 2020.





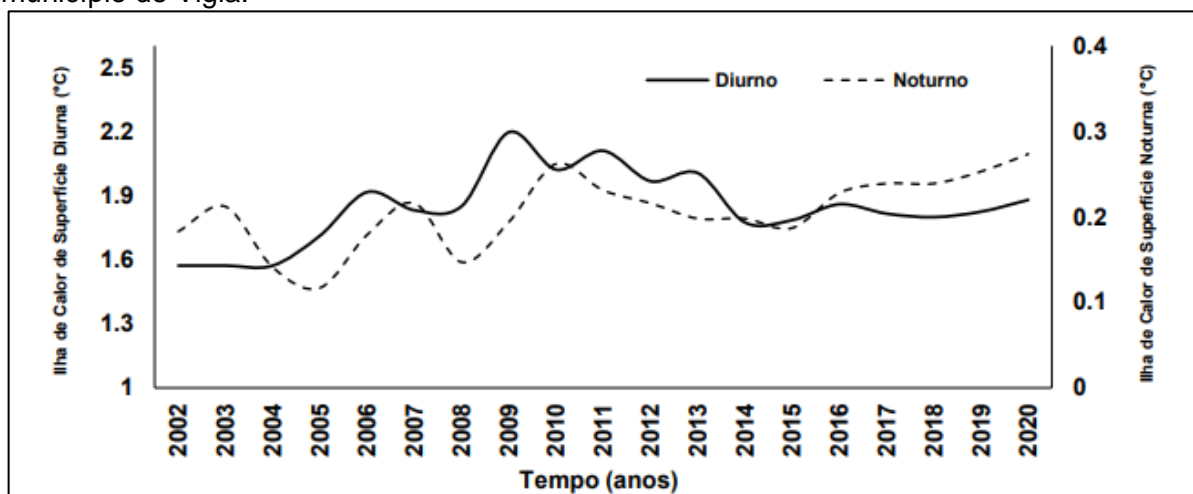
#### 4.4 Análise das Ilhas de Calor de Superfície

Os efeitos ocasionados pelas alterações das variáveis climáticas são mais intensos nas áreas urbanas quando se compara com áreas rurais, assim é possível verificar a presença de ilha de calor de superfície subtraindo a temperatura de superfície da área urbana e rural adjacente (AMORIM, 2019). A Figura 9 demonstra o comportamento anual das ilhas de calor de superfície encontradas no município de Vigia. O comportamento mais ameno, isto é, os menores registros médios das ilhas de calor de superfície ocorrem logo nos primeiros anos da série de dados (2002 a 2007) que podem estar relacionados com o crescimento não tão acentuado das áreas urbanas, como também pelas características urbanas espaciais deste período, com valores de 1,9 °C (diurno) e 0,2°C (noturno).

As ilhas de calor de superfície de representatividade mais elevada ocorrem entre 2008 e 2010, com valores de 2,2 °C (diurno) e 0,2 °C (noturno), onde foi observado na Figura 6 um aglomerado “mais consolidado” da área urbana, caracterizado por uma drástica redução da vegetação local (Figura 7). Entre 2010 e 2020, ocorreu um comportamento mais homogêneo das ilhas de calor de superfície no período diurno, caracterizando apenas um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) no período noturno entre 2015 e 2020, variando de 0,19 °C para 0,28 °C.

Cardoso et al. (2017) avaliaram a magnitude das ilhas de calor, em três cidades do Paraná e São Paulo, influenciada pelas condições sinóticas, morfologia urbana e a cobertura da terra, concluíram que as condições atmosféricas estáveis, ou seja, baixa velocidade do vento e céu sem nuvens, exercem forte influência na magnitude das ilhas de calor. Além disso, considerando apenas a escala local, a redução da cobertura vegetal pode intensificar o aumento de temperatura superficial nas metrópoles (MOREIRA; VITORINO, 2017; LEMOS et al., 2019).

Figura 9 - Série temporal da diferença de temperatura de superfície diurna e noturna no município de Vigia.



Durante o dia ocorre o maior armazenamento de calor nas estruturas urbanas, devido às propriedades térmicas e caloríficas dos materiais de construção utilizados, o qual é liberado na forma de calor sensível para o meio urbano, que se torna mais perceptível no final da tarde e durante a noite quando estes materiais estão mais aquecidos que a periferia (COSTA, 2013b; BARBOSA et al., 2015). Esse cenário de diferença de temperatura indica a relação da Ilha de Calor de superfície com a urbanização, de acordo com Gartland (2010), as cidades absorvem muito mais calor durante o dia e dissipam este calor à noite quando comparado com meio rural. A este aquecimento noturno é somado o calor antropogênico gerado pela utilização de ar condicionados, segundo Callejas et al. (2016) este fluxo pode contribuir com 30,6% no balanço de energia durante à noite, mas durante o dia este valor é apenas de 3,1% devido a radiação solar proeminente.

Por sua vez, durante a noite, a liberação de calor armazenado no interior das superfícies urbanas compensa as perdas de radiação líquida, aquece o ar urbano, e mantém a turbulência e a evaporação ao longo da noite. Por outro lado, em superfícies vegetadas a energia armazenada durante o dia é utilizada em grande parte para efetuar o processo de evapotranspiração (calor latente), dessa forma há menos radiação líquida para aquecer o ar, ou seja, diminui a parcela do balanço de energia disponível para o fluxo de calor sensível e conseqüentemente minimiza a liberação de calor para aquecer o ar no período noturno (CALLEJAS et al., 2016).

Nas áreas urbanas o armazenamento da radiação solar incidente (ondas curtas) torna-se mais proeminente devido à alta capacidade térmica dos materiais que são utilizados, isso ocasiona o aquecimento do ambiente urbano, quando comparado com o meio rural que o rodeia (CALLEJAS et al., 2016).

Os principais impactos decorrentes da ilha de calor estão relacionados ao desconforto térmico, ao aumento da temperatura do ar, ao aumento de problemas respiratórios, aumento da concentração de poluentes (CO e O<sub>3</sub>), aumento do consumo de aparelhos refrigerados e conseqüentemente da energia elétrica (CALLEJAS, 2016; SILVA JÚNIOR; MARTILLI; SILVA, 2020; LI; ZHA; ZHANG, 2020).

Diante do exposto, as cidades alteram o balanço de energia interferindo no aquecimento ou resfriamento das diferentes superfícies, de acordo com o nível de urbanização, com as propriedades dos materiais utilizados nas construções e com a distribuição de áreas verdes e corpos d'água (YANG et al., 2016). Amorim (2019) destaca que a formação de ICU é resultante das modificações das características da superfície e pelas atividades desenvolvidas da sociedade.

Estudo realizado por Callejas et al. (2016) em Cuiabá verificaram os fluxos energéticos e concluíram que o fluxo de calor latente é diretamente dependente da cobertura vegetal, pois quando comparado o balanço de energia da cidade de Cuiabá e de um sítio vizinho rural houve uma redução de 46% na estação seca e 24% na estação chuvosa. E a razão de Bowen ( $\beta$ ) foi de 1,67 no período seco e 1,55 no período úmido, isso indica que os fluxos de calor sensível sempre foram maiores que os fluxos de calor latentes na cidade de Cuiabá. Estes resultados indicam que a supressão de vegetação e a impermeabilização dos solos por superfícies impermeáveis, como ruas, calçadas, parques de estacionamento e edifícios reduz a evapotranspiração dentro das áreas urbanas, o que corrobora para a predominância de fluxos de calor sensível sobre o latente, mesmo na estação chuvosa.

## 4.5 Variabilidade dos elementos climáticos

A região Amazônica influencia diretamente o balanço hídrico global (DEBORTOLI et al., 2015), devido à vasta floresta tropical úmida (MARENGO; ESPINOZA, 2016). Elevadas taxas no índice pluviométrico associada a alta disponibilidade de energia solar caracterizam o clima da região. Porém, os efeitos de mudanças de uso e ocupação do solo e mudanças climáticas afetam tanto no balanço hídrico quanto no balanço de energia (ALVES et al., 2017).

Para compreender melhor as variações dos elementos climáticos locais de cidades de pequeno porte do Nordeste Paraense, foi abordado a análise de precipitação e temperatura do ar registrados no ano de 2010 para Vigia, Colares, Santo Antônio do Tauá e São Caetano de Odivelas.

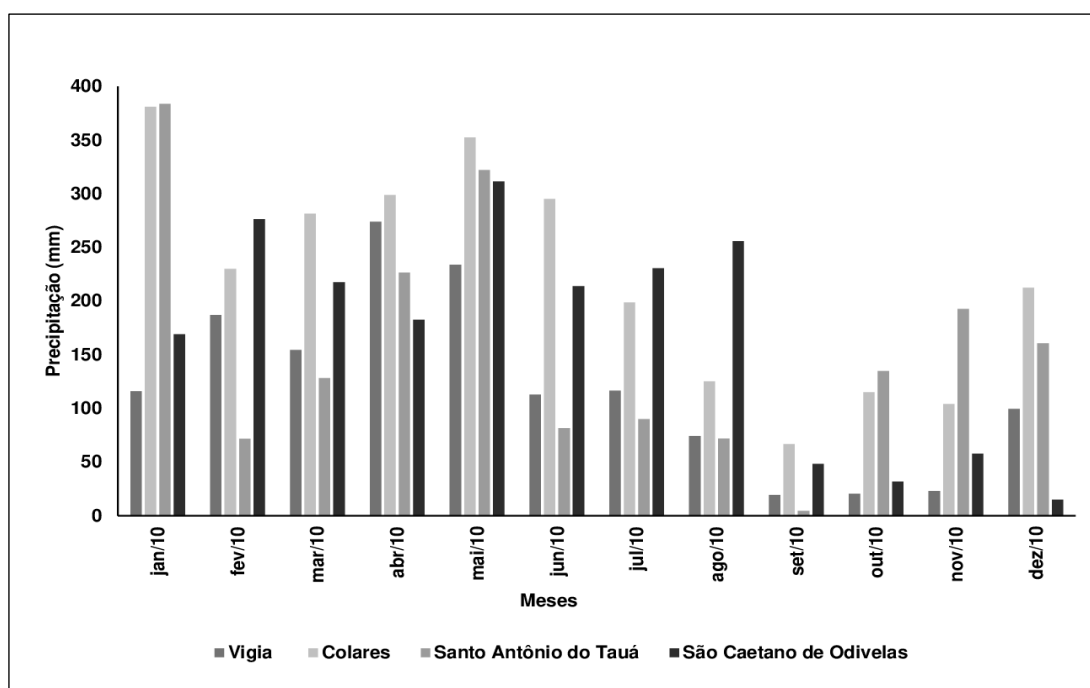
### 4.5.1 Precipitação

A precipitação é um dos elementos climatológicas mais importantes para região tropical (MORAES et al., 2005; SOUZA et al., 2009; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013; SOUZA et al., 2017), principalmente para região Amazônica, devido sua variabilidade na escala temporal e espacial, pois interfere direta ou indiretamente no comportamento de outras variáveis, como temperatura do ar, umidade relativa, nebulosidade, ventos, no balanço hídrico e na quantidade de radiação incidente à superfície (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; SOUSA et al., 2015). Ressaltando também a importância para o ciclo hidrológico que inicia com a precipitação (COSTA et al., 2018).

A variação da precipitação acumulada mensal na área rural de São Caetano de Odivelas, Colares e Santo Antônio do Tauá, é apresentada na Figura 10, assim como a média entre os quatro pontos de coleta registrados na área rural de Vigia (Vila Santa Rita, Vila São Sebastião do Guarimã, Vila Porto Salvo e Vila Maracajá). O comportamento heterogêneo típico dos padrões climatológicos da região Amazônica pode ser observado, com a presença da sazonalidade nas quatro localidades, caracterizada pelo Período Chuvoso (PC), que compreende os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio e dezembro, com presença de chuvas de

forte intensidade e o Período Menos Chuvoso (PMC), que se estende de junho a novembro, com poucas chuvas e possíveis estiagens de duração variável (MORAES et al., 2005; MARENGO; NOBRE, 2009; SOUZA et al., 2017; COUTINHO et al., 2018).

Figura 10 - Precipitações no meio rural da área de estudo em 2010.



O Pará possui altos índices de precipitação devido à sua localização na zona equatorial, que recebe altas taxas de energia solar. Esta retorna para atmosfera na forma de fluxo de calor sensível, responsável pelo aquecimento do ar, e fluxo de calor latente, por meio da evapotranspiração, assim o balanço de energia está diretamente interferindo no balanço hídrico, por meio do processo de convecção e formação de nuvens (SODRÉ et al., 2015; CALLEJAS et al., 2016).

Albuquerque et al. (2010) ressaltam que a região Nordeste Paraense possui elevado índice pluviométrico, quando comparado as outras mesorregiões do Pará, pela influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), forte convecção local e pela proximidade de áreas litorâneas. Lopes, Souza e Ferreira (2013) corroboraram com os resultados obtidos nesta pesquisa, confirmando que o máximo de precipitação no Estado ocorre no Nordeste Paraense, durante o verão e outono do Hemisfério Sul - HS. Nobre, Obregón e Marengo (2009) afirmam que a principal

fonte de umidade da Amazônia, em especial do leste da região, é pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico.

A precipitação acumulada média na área rural da região estudada foi de 1.994 mm.ano<sup>-1</sup>, este resultado está abaixo da média anual da bacia Amazônia, de 2.300 mm.ano<sup>-1</sup> (MARENGO; NOBRE, 2009) e da média anual da mesorregião no Nordeste Paraense, de 2.344 mm.ano<sup>-1</sup> (ALBUQUERQUE et al., 2010). A explicação para este resultado é que a média foi feita, apenas, para 1 ano de observação, enquanto a média climatológica, considera pelo menos 30 anos para que seja suficientemente representativa, assim não se torna tendenciosa a fenômenos climáticos intensos ocorridos em determinados anos. Além disso, 2010 foi ano de El Niño que contribui para a diminuição da precipitação na região (MARENGO et al., 2011; ESPINOZA et al., 2011; SANTOS et al., 2017b).

Os totais anuais da precipitação nas áreas rurais (Figura 10) foram: 1.432,5 mm.ano<sup>-1</sup> em Vigia, 2.662,7 mm.ano<sup>-1</sup> em Colares, 1.869,7 mm.ano<sup>-1</sup> em Santo Antônio do Tauá e 2.010,9 mm.ano<sup>-1</sup> em São Caetano de Odivelas. Em Vigia o total de precipitação no PMC foi de 367,1 mm, correspondendo a 25,6% do total anual, enquanto no PC este valor foi de 1.065,4 mm (74,4% do total anual). Em Santo Antônio do Tauá o total de precipitação no PMC foi de 576,1 mm, correspondendo a 30,8% do total anual e no PC este valor foi de 1.293,6 mm (69,2% do total anual). E em São Caetano de Odivelas o total de precipitação no PMC foi de 838,3 mm, correspondendo a 41,7% do total anual e no PC este valor foi de 1172,6 mm (58,3% do total anual).

Em Colares o total de precipitação no PMC foi de 905,6 mm, correspondendo a 34 % do total anual, enquanto no PC este valor foi de 1.757,1 mm (66% do total anual). Observa-se que a precipitação média em Colares é a maior dentre as demais localidades estudadas (2.662,7 mm.ano<sup>-1</sup>) tanto no PC quanto no PMC, pode-se inferir esse resultado a sua condição de ilha, pois a presença de rios aumenta o processo de evaporação e os efeitos da brisa fluvial, interferindo no balanço hídrico da região, ocasionando mais precipitação local (TANAKA; SATYAMURTY; MACHADO, 2014; GERMANO et al., 2017; MACHADO et al., 2018).

De acordo com IDESP (2014), os seis primeiros meses do ano de Colares apresentam precipitações com valores altos, média anual acima de 2.500 mm.ano<sup>-1</sup>, e o mês de setembro é o mês com maior carência hídrica no solo. Resultado similar

foi encontrado neste trabalho, pois no mês de setembro foi registrado o menor valor de precipitação ( $66,9 \text{ mm.mês}^{-1}$ ). Além disso, as brisas marítimas e fluviais influenciam na precipitação local, principalmente no PMC quando não há predominância de eventos de grande escala, assim, a circulação resultante das brisas marítimas (oceano) ou fluviais (rios) e terrestres (continente) é resultado da diferença da capacidade térmica da água e do continente, acarretando um mecanismo físico no qual o ar movimenta-se em direção ao continente durante o dia, uma vez que este encontra-se mais quente do que a água e o oposto ocorre durante a noite (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; TANAKA; SATYAMURTY; MACHADO, 2014; GERMANO et al., 2017; MACHADO et al., 2018).

Diante destes resultados, observou-se que a maior representatividade da precipitação rural de todos os locais estudados ocorreu no PC, com mais de 66% da precipitação total anual, o mês com maior registro de precipitação foi maio/2010 com média de  $305,2 \text{ mm.mês}^{-1}$ , isso representa mais de 15% da precipitação anual em apenas um mês. No PMC há uma distribuição baixa da precipitação, representando apenas 33,7% do total de chuva anual, o mês de setembro/2010 teve o menor volume de chuva ( $139,4 \text{ mm.mês}^{-1}$ ). Resultado similar foi encontrado por Silva et al. (2020) em Castanha/PA, município próximo a área de estudo, onde foi verificado que o PC compreendeu os meses de dezembro a maio, com precipitação máxima em março da ordem de  $419,0 \pm 70 \text{ mm.mês}^{-1}$  e o PMC foi representado pelos meses de junho a novembro, com valor mínimo em setembro de  $76,0 \pm 35 \text{ mm.mês}^{-1}$ .

A sazonalidade encontrada no presente estudo é análoga a análise feita por Moraes et al. (2005) para a distribuição da precipitação média anual no Estado do Pará, com base em 23 anos de totais anuais de precipitação em 31 pontos. Eles concluíram que na faixa litorânea os totais pluviométricos foram entre  $2.300 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $2.800 \text{ mm.ano}^{-1}$ , mas que cerca de metade das áreas estudadas, o intervalo ficou entre  $1.900 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $2.400 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Verificaram que há uma variação sazonal da precipitação representada por uma estação chuvosa, onde 77% do total anual da chuva ocorre, para o nordeste paraense, entre os meses de dezembro a maio, sendo março o mês mais chuvoso e uma estação menos chuvosa que corresponde aos meses de junho a novembro, sendo setembro o mês mais seco.

Com base no estudo desenvolvido por Coutinho et al. (2018) sobre a variabilidade temporal e espacial da precipitação na Bacia Amazônica Brasileira no período de 1982 a 2012, o PC foi compreendido entre novembro e abril e representou 69% de toda a precipitação anual e, o PMC, foi de maio a outubro e contribuiu com apenas 31% da precipitação anual, o que indica duas estações bem distintas.

Tanaka, Satyamurty e Machado (2014) estudaram a variação diurna da precipitação de hora em hora para o período de 2006 a 2011 em quatro estações localizadas em Manaus e concluíram que, a chuva no PC (de novembro a maio) é três vezes maior que no PMC (de junho a outubro), sendo que no PC é predominante vento nordeste, que trazem a umidade da Amazônia e no PMC vento leste. E a precipitação registrada na estação próximo a área com floresta é em média 20% maior que nas estações próximas da cidade, devido a disponibilidade de umidade.

O clima da Amazônia Oriental é influenciado por sistemas meteorológicos, locais, de meso e grande escala, que caracterizam a distribuição pluviométrica com alta variabilidade na escala espacial e temporal, os principais são zonas frontais, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Linhas de Instabilidade (LI). Como o Pará possui uma grande dimensão territorial (1.246.833 km<sup>2</sup>) (LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013), estes fenômenos ocorrem de forma heterogênea espacialmente, por exemplo Alta da Bolívia, ZCAS e os Sistemas Frontais Frios são mais evidentes para região sudoeste e sul do estado (MOLION, 1987; QUADRO et al., 2012; AMANAJÁS; BRAGA, 2012; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013).

De maneira geral na parte Norte do Pará é maior o índice pluviométrico do que no Sul do estado (SANTOS et al., 2017a), devido a influência da ZCIT no PC, da brisa marítima e da Linha de Instabilidade, esta é muito atuante no Nordeste Paraense e representa sistemas atmosféricos de mesoescala contribuindo com 45% da chuva incidente na região, principalmente durante o PMC (COHEN; DIAS; NOBRE et al., 1989, 1995). No PMC também há chuvas de caráter convectivo de forma mais isolada (ALBUQUERQUE et al., 2010).

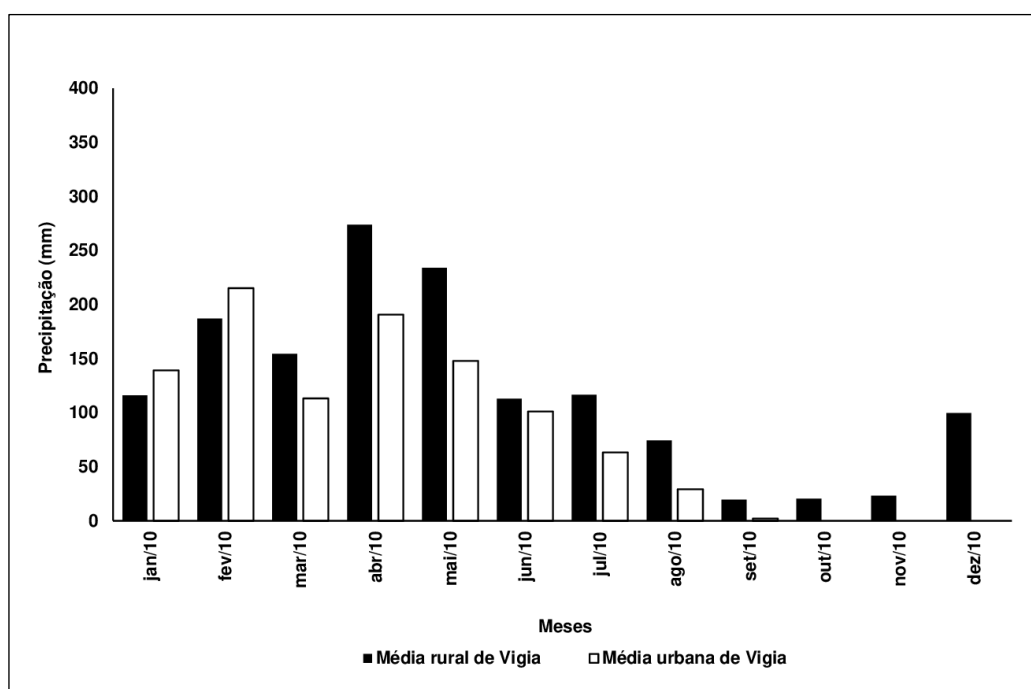
A Zona de Convergência Intertropical, é um sistema meteorológico de grande escala, sendo determinante para modulação do regime pluviométrico na região



equatorial. É formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e Sul, que aumenta a formação de nuvens e provoca altos índices pluviométricos no PC, devido seu deslocamento em direção ao HS no verão e outono astral (LIU; XIE, 2002; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013; SODRÉ, 2015; SOUZA et al., 2017; LASHKARI; MOHAMMADI; KEIKHOSRAVI, 2017; FERREIRA; SOUZA; OLIVEIRA, 2020; LIRA et al., 2020).

Na Figura 11 é apresentado dados comparativos da precipitação acumulada entre os meios rural e urbano de Vigia, assim o somatório da precipitação média rural (1.432,5 mm.ano<sup>-1</sup>) é maior que a urbana (1.001,9 mm.ano<sup>-1</sup>), esse resultado está de acordo com a literatura, pois, regiões com maior proporção de áreas verdes e presença de corpos d'água aumentam o fluxo de calor latente induzindo a formação de nuvens convectivas e aumentando a precipitação local (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; TANAKA; SATYAMURTY; MACHADO, 2014).

Figura 11- Distribuição média mensal da precipitação no meio urbano e rural de Vigia.



No trabalho de Silva Júnior et al. (2013b), sobre a sazonalidade urbana e periférica no município de Belém em 2011, foi constatado que no PC a área periférica apresentou maior volume pluviométrico do que a área urbana e no PMC, a área urbana ficou mais aquecida do que a periférica, durante a tarde, assim este

aquecimento provoca precipitação por meio de sistemas convectivos locais e formação de nuvens cúmulos e cumulonimbus. Já as precipitações ocorridas na área periférica, foram mais presentes durante a manhã e foram decorrentes do sistema de brisas lacustres, devido à proximidade do ponto coletado com corpo d'água.

O balanço hídrico e as variáveis que o compõem diferem entre áreas urbanizadas e vegetadas. Devido às mudanças de uso e ocupação do solo, como a substituição da floresta por áreas de ocupação urbana, ocorre um desequilíbrio no escoamento superficial, na capacidade de infiltração do solo, na evapotranspiração e na precipitação, que somados a falta de planejamento urbano acarreta diversos danos (COSTA, 2018).

Machado et al. (2018) analisaram a influência dos diferentes tipos de cobertura do solo (floresta, hidrografia, não-floresta e área urbana) na taxa de precipitação de Manaus, assim concluíram que, durante o PC a taxa de precipitação variou pouco quando comparado aos tipos de solo, no entanto no PMC a maior taxa de precipitação ocorreu nas áreas urbanas, provavelmente relacionado ao efeito da ilha de calor em Manaus com a disponibilidade de umidade proveniente da floresta que circunda a cidade e a menor na região não-florestada, pois o fluxo de calor latente é minimizado. Situação semelhante foi observada nesta pesquisa, pois no PMC ocorreu uma diferença maior entre as áreas urbanas e rural de Vigia.

Na Figura 11 é possível observar que nos meses de abril ( $238,3 \text{ mm.mês}^{-1}$ ) e maio ( $197,2 \text{ mm.mês}^{-1}$ ) foram registrados os maiores valores pluviométricos médios do período e o menor nos meses de setembro ( $12,0 \text{ mm.mês}^{-1}$ ), semelhante ao encontrado por Silva et al. (2020) para o município de Castanhal/PA. Nos meses de outubro, novembro e dezembro não há registro de coleta para área urbana de Vigia.

No presente estudo foi verificado que na Vila de Maracajá, pertencente a área rural de Vigia, houve um longo período de estiagem e registros de queimadas. As queimadas produzem altas concentrações de aerossol na baixa atmosfera o que reduz a precipitação no local, principalmente no PMC (MACHADO et al., 2018). Vale ressaltar, que em 2010 foi registrado a grande seca na Amazônia, devido a ocorrência de El Niño, somado ao aquecimento anômalo do Oceano Atlântico Tropical Norte durante a primavera e verão boreal, fato que favoreceu o maior número de incêndios florestais em setembro/2010 por conta da redução da

precipitação (MARENGO et al., 2011; ESPINOZA et al., 2011; SANTOS et al., 2017b).

Ferreira, Souza e Oliveira (2020) investigaram a frequência dos extremos climáticos secos e chuvosos nos municípios paraenses no período de 1998 a 2015, detectaram que o PC compreende os dois primeiros trimestres do ano com início em dezembro, com forte influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZACS) e ZCIT localizada no HS. E os meses restantes compreendem o período sazonal mais seco, PMC, associado a intensificação do ramo subsidente da Célula de Hadley, inibindo atividade convectivas. Em relação ao extremo climático chuvoso estão relacionados a eventos de La Niña e o extremo climático seco estão associados a ocorrência de El Niño.

Assim, vários trabalhos têm sido realizados sobre o fenômeno ENOS e sua influência na Amazônia, principalmente pela ocorrência de extremos, pois ocasionam vários impactos socioeconômicos e ambientais. Um exemplo foi o levantamento do prejuízo econômico realizado por Moreira e Mota (2020) em Manaus, no período de 1999 a 2018 causado pelos extremos de cheias, inundações, relacionadas aos eventos de La Niña, a estimativa de danos foi em torno de R\$ 6.905.311.148,00 para a população.

A variabilidade interanual da precipitação na Amazônia, eventos extremos, é definida por anomalias de Temperatura da Superfície do Mar -TSM dos Oceanos Atlântico (Padrão de Dipolo) e Pacífico equatorial (El Niño Oscilação Sul - ENOS), sendo que no PC o Oceano Pacífico modula a precipitação da Amazônia Oriental e no PMC o Oceano Atlântico tem maior influência (LOPES; SOUZA; FERREIRA 2013; SOUZA et al., 2017; AZEVEDO et al., 2017; SOUSA et al., 2015; LIRA et al., 2020).

El Niño Oscilação Sul é um fenômeno marcado pelas anomalias de temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical, quando positiva, caracterizam o El Niño e negativa a La Niña, diminuindo e aumentando respectivamente os índices pluviométricos na Amazônia, dependendo da intensidade pode acarretar secas e enchentes severas (MOURA et al., 2019; SOUSA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016; FERREIRA; SOUZA; OLIVEIRA, 2020). Em relação ao Dipolo do Atlântico, o gradiente apresenta sinais opostos no Oceano Atlântico Norte e Sul, ocasionando o deslocamento da ZCIT para o hemisfério com

temperatura oceânica mais elevada, na fase negativa, quando a água do oceano ao sul encontra-se mais quente que ao norte, intensifica-se a precipitação na Amazônia (SOUZA; NOBRE, 1998; FERREIRA et al., 2013).

Diversos estudos têm sido realizados sobre a precipitação na Amazônia, com diversos enfoques, como a variabilidade espacial e temporal, eventos extremos, influência dos ENOS, o objetivo é expandir o entendimento dessa variável meteorológica, atualmente e em cenários futuros de mudanças climáticas, tanto na interação do solo, planta, atmosfera, quanto na dinâmica com os Oceanos, e na geração de possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (MORAES et al., 2005; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007; NOBRE; OBREGÓN; MARENGO, 2009; TANAKA; SATYAMURTY; MACHADO, 2014; SOUSA et al., 2015; SOUZA et al., 2016; AZEVEDO et al., 2017; SILVERIA; FERNANDES; SILVA, 2017; SANTOS et al., 2017a; SANTOS et al., 2017b; SOUZA; SILVA, 2017; MOURA; VITORINO; ADAMI, 2018; COUTINHO et al., 2018; PEDREIRA JÚNIOR et al., 2018b; FERREIRA; SOUZA; OLIVEIRA, 2020; MOREIRA; MOTA 2020).

Nesse contexto, a pesquisa na Amazônia é um grande desafio, pois a disponibilidade de dados confiáveis de precipitação e as medições que são feitas, raramente abordam todos os pontos da região, assim há ausência de informações em alguns locais pela insuficiência de estações, pois a região Amazônica possui grande extensão e pontos de difícil acesso. Isso dificulta e aumenta os custos com coleta de dados para pesquisas, no entanto é essencial que mais estudos sejam elaborados, pois a Amazônia possui grande influência nos fenômenos climáticos em nível regional e global (MARENGO et al., 2011; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013; LIRA et al., 2020; SILVA et al., 2020).

#### 4.5.2 Temperatura do ar

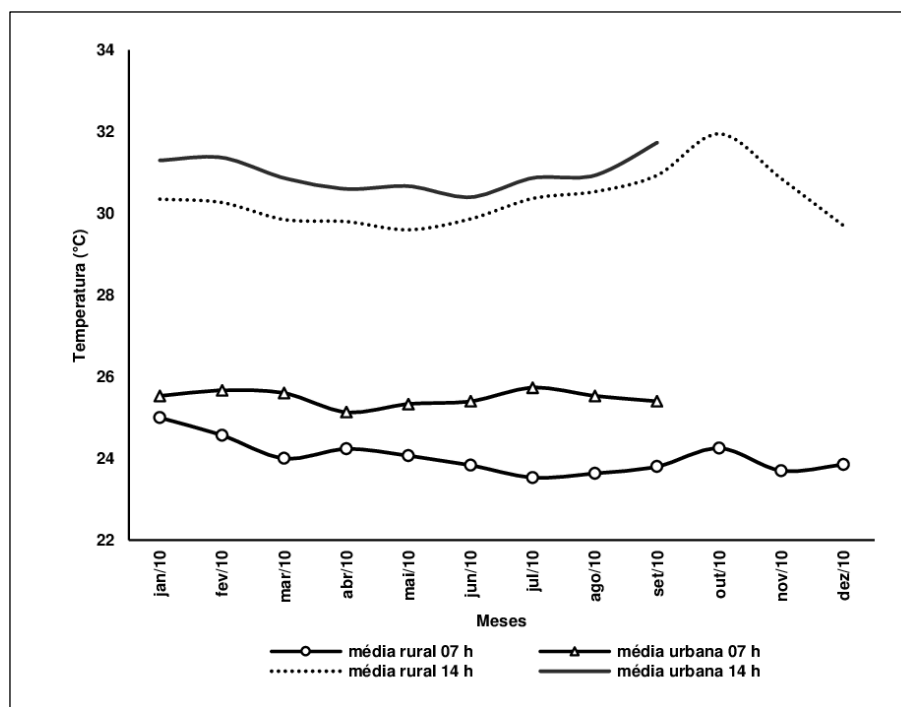
A temperatura do ar é o primeiro indicativo meteorológico do tempo e do clima de uma região (SODRÉ et al., 2015). Assim, evidências de mudanças de temperatura do ar podem ser resultado de diferentes forças de transformações, desde eventos climáticos globais até mudanças de uso e cobertura do solo regionais. Na escala local, em especial no ambiente urbano, associada às

tendências globais de aquecimento verifica-se decisiva a influência do grau de pavimentação e verticalização das cidades na temperatura do ar (ALVES, 2017; TEIXEIRA; AMORIM, 2018).

Considerando as médias das temperaturas do ar em Vigia, que estão representadas na Figura 12, o valor mínimo e máximo para área rural às 07 horas foi de 23,5°C e 25,0°C e para área urbana foi de 25,1°C e 25,7°C, respectivamente e no período da tarde, às 14 horas, os valores mínimos e máximos para área rural foi de 29,6°C e 31,9°C e para área urbana foi de 30,4°C e 31,7°C, respectivamente. Assim, a maior amplitude térmica foi de 2,3°C ocorreu às 14 h na área rural e a menor foi de 0,6°C às 07 horas na área urbana.

As temperaturas do ar rurais tanto às 07 quanto às 14 horas foram menores do que nos centros urbanos, esta característica ocorre por diversos fatores, mas principalmente pelas características espaciais de cada local que alteram o balanço de energia (BARBOSA et al., 2015). Assim, a energia que atinge a superfície terrestre urbana é reemitida para a atmosfera com predomínio na forma de fluxo de calor sensível, devido ao aumento de superfícies impermeáveis (asfalto), enquanto que no meio rural a maior parcela do saldo de energia é dissipada por meio do calor latente, pois a vegetação e corpos hídricos são mais representativos (BARBOSA et al., 2015).

Figura 12 - Temperatura média em Vigia no meio rural e urbano às 07 horas e às 14 horas.



De acordo com Souza e Silva (2017), a presença de vegetação propicia duas estratégias naturais de controle térmicos relevantes: o sombreamento e a evapotranspiração. Silva et al. (2017) citaram diversos benefícios que as áreas verdes proporcionam tais como, aumento da evapotranspiração, regulamentação da umidade e temperatura do ar, diminuição da poluição, conforto térmico, proteção contra erosão e assoreamento de rios urbanos, redução dos níveis de ruídos das cidades. Estes benefícios foram constatados no estudo de Costa et al. (2013a), uma vez que a distribuição geoespacial da temperatura do ar foi influenciada pela estrutura urbana da cidade de Belém, pois esta variação térmica apresentou uma tendência de decréscimo da temperatura do ar no sentido dos bairros mais urbanizados (centrais) para os menos urbanizados (periféricos).

Resultados similares foram encontrados por Costa et al. (2013b) onde os maiores valores de temperaturas médias diárias foram observados nos locais com pouca cobertura vegetal, elevada porcentagem de calçamento, edificações e intensa atividade antrópica e os mínimos valores ocorreram em locais próximos de áreas com alta porcentagem de arborização e menores áreas antropizadas.

Assim como Dias et al. (2021) que consideraram a tendência positiva da temperatura nas áreas metropolitanas na Amazônia brasileira associada principalmente, ao aumento da infraestrutura urbana, ao crescimento populacional e à diminuição da formação florestal nestas regiões. Dessa forma, as ações antrópicas têm influência direta no aumento da temperatura do ar (CALLEJAS et al., 2011).

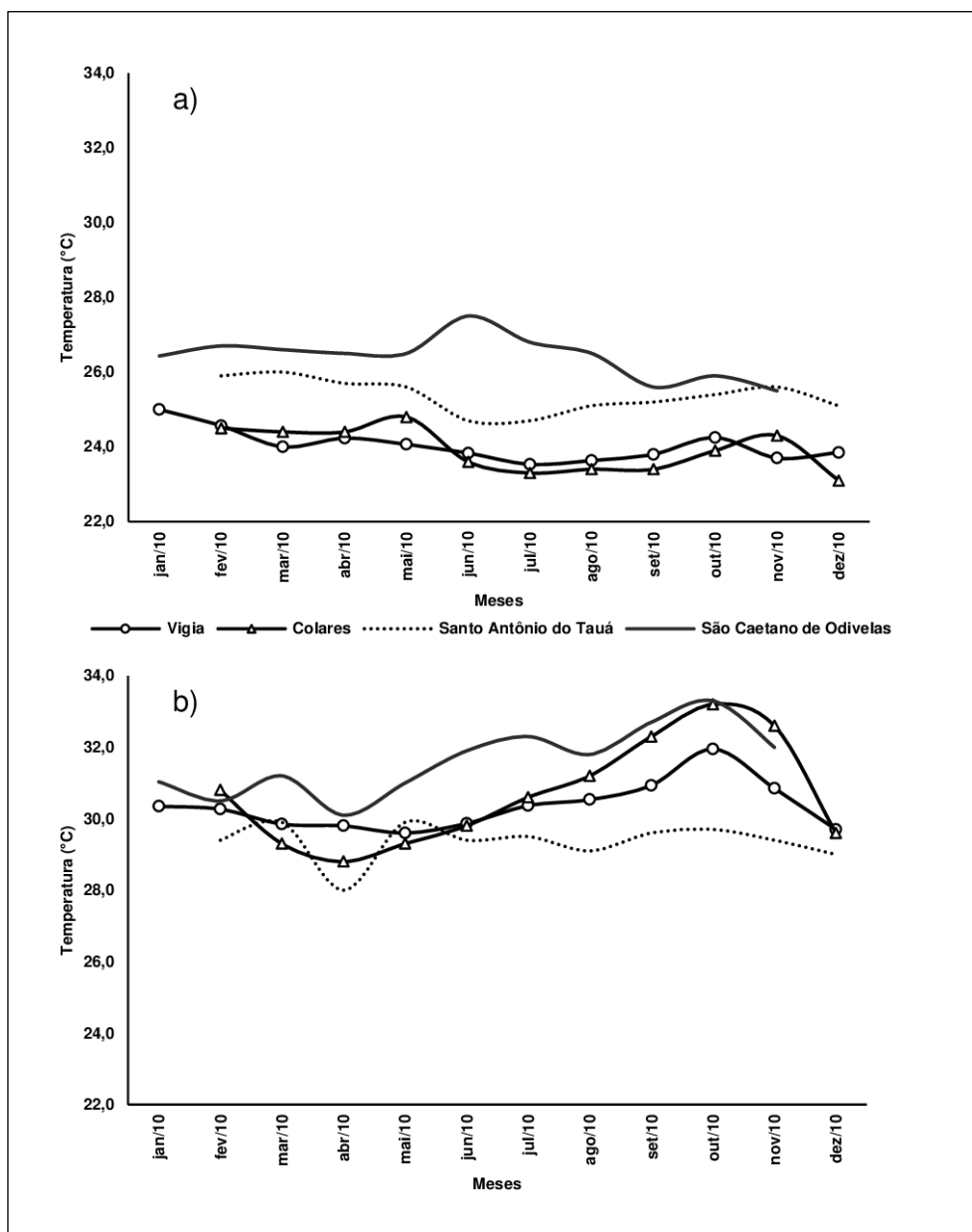
A Figura 13 apresenta a média mensal da temperatura do ar rural às 07 e às 14 horas nas localidades estudadas entre os períodos de janeiro/2010 a dezembro/2010. Analisando o padrão mensal da temperatura do ar, é possível observar que a temperatura mínima foi de 23,1°C às 07 horas no mês de dezembro/2010 em Colares e a máxima foi de 33,3°C às 14 horas no mês de outubro/2010 em São Caetano de Odivelas. A temperatura média anual do ar rural foi de 24,9°C para às 07 horas e 30,5°C para às 14 horas na área de estudo, assim, a média anual da temperatura do ar no meio rural foi de 27,7°C, sendo outubro/2010 o mês mais quente (28,5°C) e dezembro o mais ameno (26,7°C).

Analisando essa variável sazonalmente, a média do período chuvoso foi de 27,5°C e do período menos chuvoso foi de 27,7°C apresentando pouca variação ao longo do ano (Figura 13). A baixa variabilidade mensal da temperatura do ar está associada à localização geográfica, região equatorial, onde há alta disponibilidade energética durante o ano inteiro (COSTA et al., 2013a, 2013b; SILVA JÚNIOR et al., 2013b; COSTA et al., 2016).

No Pará a temperatura média anual é acima de 26,0°C (ALVARES et al., 2014). Com regime térmico estável e pouca amplitude durante o ano, em torno de 1 a 2°C, devido à alta incidência de radiação solar que chega na superfície da região equatorial favorecendo temperaturas mais elevadas (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; OLIVEIRA et al., 2016).

Vale ressaltar que, a característica da variação da temperatura do ar (Figura 13) foi representada por um ponto de coleta na área rural de Colares (Vila Jenipaúba da Laura), São Caetano de Odivelas (Vila Jutai) e Santo Antônio do Tauá (Vila Betânia) e em Vigia foi realizada a média de três pontos coletados (Vila São Sebastião do Guarimã, Vila Porto Salva e Vila Maracajá). Dessa forma, os resultados ilustram a temperatura pontual e rural registrados durante o ano de 2010, ou seja, não são representativos para caracterizar a dinâmica da temperatura do ar da extensão territorial dos municípios.

Figura 13 - Variação mensal da temperatura do ar rural da área de estudo: a) às 07 horas, (b) às 14 horas local.



Importante destacar que anos sob influência do ENOS modificam não só o regime de precipitação como a média da temperatura do ar, assim em anos com ocorrência de El Niño, há uma elevação nas médias mensais de temperatura do ar comparado com as normais climatológicas e em anos sob influência de La Niña as temperaturas registram valores abaixo da média, destaca-se que 2010 foi influenciado pelo El Niño (OLIVEIRA et al., 2016). O que foi observado na presente pesquisa.



Quando analisados os municípios separadamente, verificou-se que São Caetano de Odivelas apresentou os maiores valores de temperatura do ar rural tanto às 07 (27,5°C) quanto às 14 horas (33,3°C), isso pode-se relacionar à proximidade do ponto coletado com a estrada e movimentação de veículos, mas de acordo com IDESP (2014) o município apresenta temperaturas do ar elevadas. Em Vigia a temperatura do ar média foi de 27,2°C resultado similar (27,0°C) foi citado por IDESP (2014), sendo que o mês de outubro foi o mais quente do ano, porém com baixa amplitude térmica (1,3°C) característica da região Equatorial, em Vigia o clima é amenizado pela proximidade do Oceano Atlântico.

Enquanto Colares teve a menor temperatura do ar às 7 horas (23,1°C) essa situação de temperatura do ar local mais amena, é ocasionada principalmente, pela influência das brisas, uma vez que o município possui condição de ilha (IDESP, 2014). E a menor temperatura do ar às 14 horas foi em Santo Antônio do Tauá (28,0°C), na localidade de Vila Betânia, esse ponto tem muitas áreas verdes e agricultura familiar com cultivo diversificado de mandioca, temperos verdes, alface, mamão, cupuaçu, estes cultivos favorecem o sombreamento na área e ameniza a temperatura do ar local.

Em um contexto de aquecimento global, estudar o clima urbano é necessário para compreender os princípios bioclimáticos locais, a fim de avaliar os efeitos pontuais somados ao aquecimento global nas cidades e iniciar processos de adaptação para esses cenários futuros (SOUZA; SILVA, 2017).

#### 4.6 Análise do índice de desconforto térmico – IDT

O conforto térmico no ambiente atmosférico é caracterizado pela neutralidade térmica que os indivíduos sentem no meio que estão inseridos, dessa forma expressam o real conforto com um ambiente apropriado para as atividades humanas de maneira subjetiva (YOUSIF; TAHIR, 2014). Então, estudos sobre essa temática tornam-se necessários, principalmente em países tropicais, que possuem temperatura média elevada e em cidades interioranas, para embasar no planejamento urbanístico e na gestão ambiental, minimizando o desconforto térmico e preservando a saúde e qualidade de vida dos moradores (SANTOS et al., 2012; SILVA JÚNIOR et al., 2013a; DIN et al., 2014).

Diante disto, o conforto térmico é resultante das trocas térmicas pessoais e ambientais, influenciadas por processo físico de transferência de calor, como a convecção, radiação, evaporação e condução. Quando a umidade relativa do ar é alta, a taxa de evapotranspiração é reduzida, isto influencia diretamente na desaceleração da transpiração corporal, que é armazenado mais calor e intensifica o desconforto térmico, acarretando risco de exaustão e diversos problemas de saúde para os indivíduos (SILVA JÚNIOR et al., 2012a; DIN et al., 2014).

Neste contexto, diversos índices foram criados para quantificar o conforto térmico nas últimas décadas, em seu trabalho Freitas e Grigorieva (2015) catalogaram os índices descritos na literatura e aplicados em vários estudo sobre conforto térmico e encontraram um total de 162 índices, dentre eles o Índice de Desconforto Térmico – IDT proposto por Thom (1959), que é um método muito utilizado pela sua simplicidade e eficiência, baseado em duas variáveis meteorológicas, a temperatura e umidade relativa do ar (FREITAS; GRIGORIEVA, 2017). O IDT foi amplamente utilizado em trabalhos desenvolvidos em cidades tropicais brasileiras como em João Pessoa/PB (SANTOS et al., 2012), Campus da UFPB em João Pessoa/PB (FREITAS et al., 2013), Cuiabá/ MT (FRANÇA et al., 2015), Boca do Acre/AM (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018a); Palmas/TO (SILVA; SOUZA, 2019) e Santarém/PA (MANDÚ; GOMES; COUTINHO, 2020).

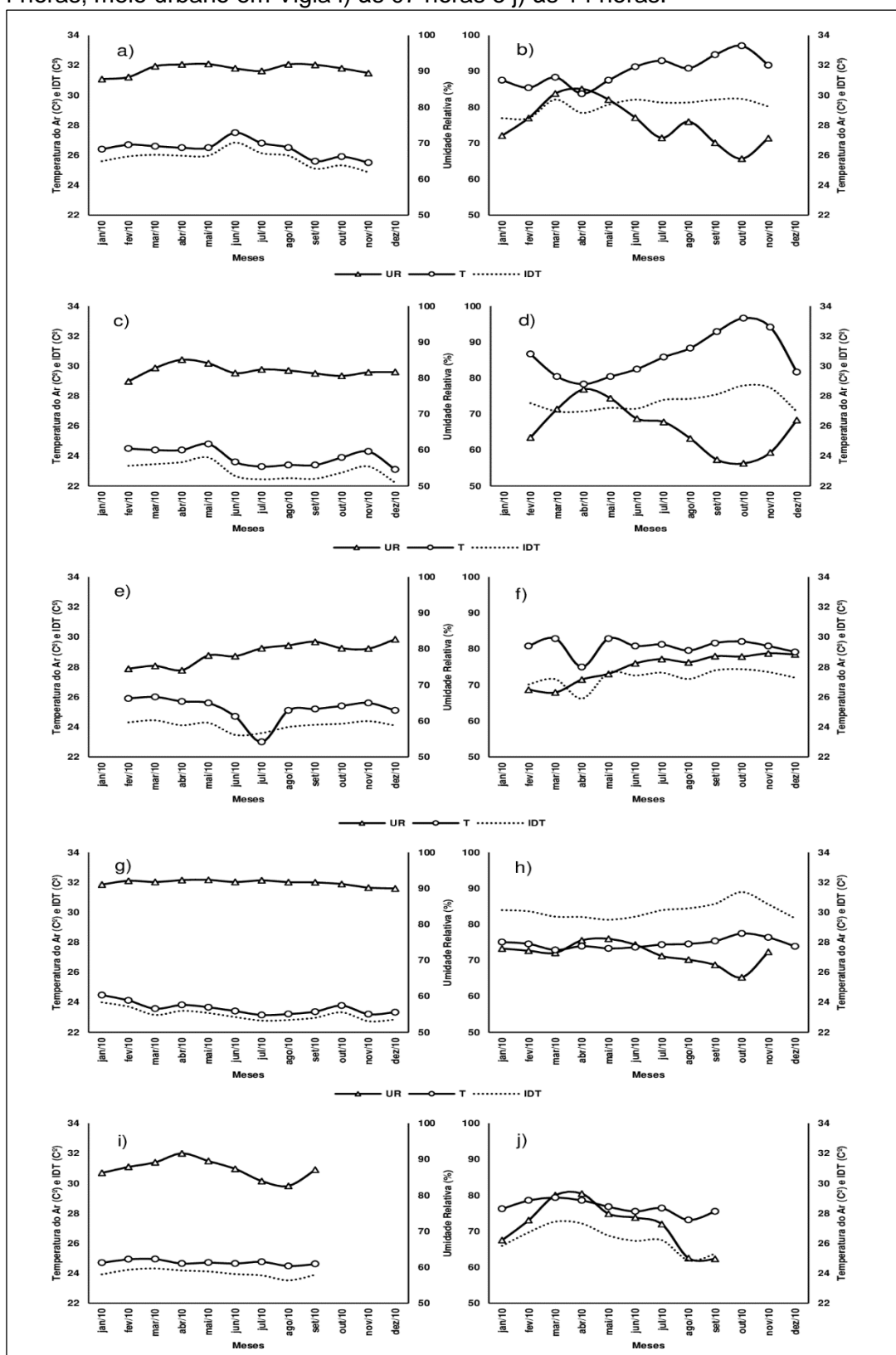
Na Figura 14, verificou-se a variação do IDT às 07 e às 14 horas para a área de estudo, os gráficos da letra a ao h representam áreas rurais de São Caetano de Odivelas, Colares, Santo Antônio do Tauá e Vigia e os dois últimos gráficos a área

urbana de Vigia. Dessa forma, foi possível retratar a dinâmica do índice e das variáveis que o compõem (temperatura e umidade relativa do ar) no decorrer do ano de 2010. O período da manhã, às 07 horas (Fig. 9 a, c, e, g, i) mostram umidade relativa elevada (87,6%) com variação entre 74,1% e 94,4% e temperatura do ar de aproximadamente 24,9°C, com mínima de 22,5°C e máxima de 27,5°C, assim o IDT ficou predominantemente na faixa do confortável, com exceção de São Caetano de Odivelas que apresentou meses parcialmente confortáveis.

No entanto, o período mais crítico, considerado desconfortável ou muito desconfortável, ocorreu às 14 horas em todos os pontos analisados. Em Colares, o aumento e redução da temperatura do ar foi acompanhado pela redução e aumento da umidade relativa, respectivamente, com temperatura média do ar de 30,6°C, com mínima de 28°C e máxima de 33,3°C e umidade relativa entre 52,4% e 85,1%. De acordo com Din et al. (2014) o IDT está negativamente correlacionado com a umidade relativa e positivamente correlacionado com a temperatura do ar, assim quando a umidade se encontra baixa e a temperatura do ar elevada tende a agravar o desconforto térmico.

Apesar do microclima determinar o conforto térmico de um ambiente ao ar livre, há outros fatores individuais que interferem nessa percepção e preferência, tal como característica fisiológicas, psicológicas e comportamentais, uma vez que as pessoas percebem de maneiras diferentes e de forma subjetiva a temperatura e o conforto do mesmo local (LIN; DEAR; HWANG, 2011; DIN et al., 2014). Nesse sentido várias pesquisas registram as variáveis climáticas locais simultaneamente com aplicação de questionários como os estudos em Tawain na Ásia (LIN; DEAR; HWANG, 2011), Putrajaya na Malásia (DIN et al., 2014) e Belém/PA (SILVA JÚNIOR et al., 2012a).

Figura 14 - Variação mensal do Índice de Desconforto Térmico em São Caetano de Odivelas a) às 07 horas e b) às 14 horas; em Colares c) às 07 horas e d) às 14 horas; em Santo Antônio do Tauá e) às 07 horas e f) às 14 horas; no meio rural em Vigia g) às 07 horas e h) às 14 horas; meio urbano em Vigia i) às 07 horas e j) às 14 horas.

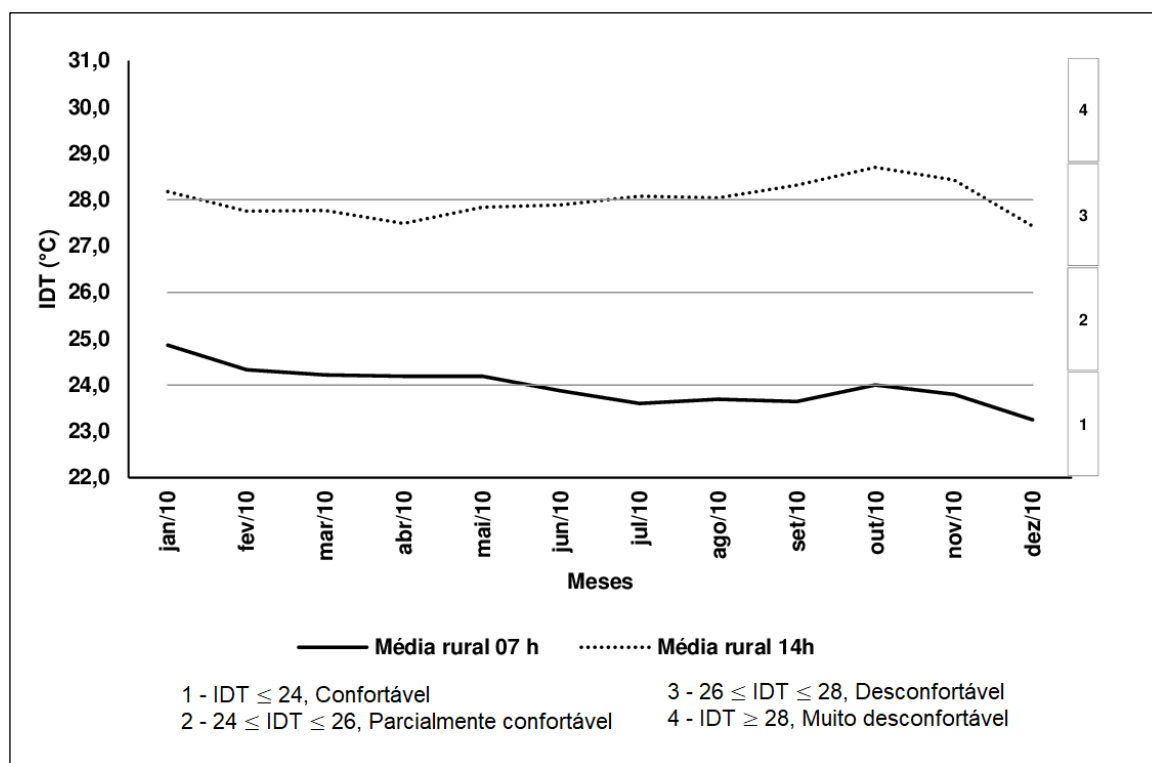


Vale ressaltar que, no presente trabalho foram utilizadas apenas as variáveis climáticas do ano de 2010, pois foram os dados fornecidos do Projeto “Entendendo a variabilidade do clima regional no Nordeste Paraense”, logo os resultados podem estar associados aos eventos climáticos de grande escala ocorridos neste ano. Como observado no estudo realizado por Mandú e Gomes (2019) sobre a tendência do conforto térmico em Manaus/AM durante o período de 1986 a 2017 onde os maiores valores observados na escala temporal interanual coincidiram com eventos de El Niño, sendo 2010 o segundo maior pico no gráfico observado no período estudado.

A fim de facilitar a visualização do comportamento IDT durante o ano, foi realizada a média rural do índice para os horários de 07 e 14 horas (Figura 15), o gráfico indica que para a área rural no período da manhã, os meses foram considerados confortáveis e parcialmente confortáveis, sem ocorrência de desconforto térmico. Em compensação no período da tarde, às 14 horas, os meses foram classificados como desconfortável ou muito desconfortável, sem ocorrência de conforto térmico neste horário, devido a maior quantidade de radiação solar recebida e a emissão do fluxo de calor sensível neste horário. Resultados similares foram encontrados por Bezerra, Leitão e Azevedo (2013) analisando o IDT no Semiárido Brasileiro durante o ano de 2012.

Silva Júnior et al. (2012a) verificaram a relação da percepção do conforto térmico da população de Belém com os resultados gerados pelo índice de conforto, para validar o índice foram aplicados mais de 2.000 questionários com população entre 10 e 89 anos, com perguntas voltadas para as vestimentas usadas, a atividade realizada e sobre a percepção térmica naquele momento, desta forma, conforme os valores do índice aumentavam, caracterizando “cautela extrema” a percepção da população foi “desconfortável”, isto ficou mais evidente no horário de 11 às 14 horas, a conclusão do estudo foi que os resultados entre a percepção da população e os índices foram compatíveis.

Figura 15 - IDT no meio rural às 07 e 14 horas.



A Figura 16 mostra o IDT para área urbana e rural de Vigia nos meses de abril e setembro de 2010, foi observado que os valores diários obtidos para este índice no mês de abril às 07 horas foram predominantemente classificados como parcialmente confortável na área urbana, já na área rural ficou entre confortável e parcialmente confortável, assim foi possível detectar que desde o período da manhã o conforto térmico é maior na área rural.

No período da tarde, nenhum dos locais foi considerado confortável, mas ainda assim o meio rural obteve valores menores do que a área urbana, a predominância foi muito desconfortável para o meio urbano, chegando a alcançar o valor máximo no índice ( $29,7^{\circ}\text{C}$ ) comparando os dois horários. Na área rural, o mês de abril foi representado por 43% (13 dias) muito desconfortável e 57% (17 dias) desconfortável. Isso indica que mesmo no PC o IDT é mais elevado, principalmente no período da tarde, se tornando desfavorável termicamente para população, principalmente das cidades.

O mês de setembro/2010 para área rural e urbana de Vigia (Figura 16), notou-se que os valores do IDT alcançados às 07 horas para o meio rural não

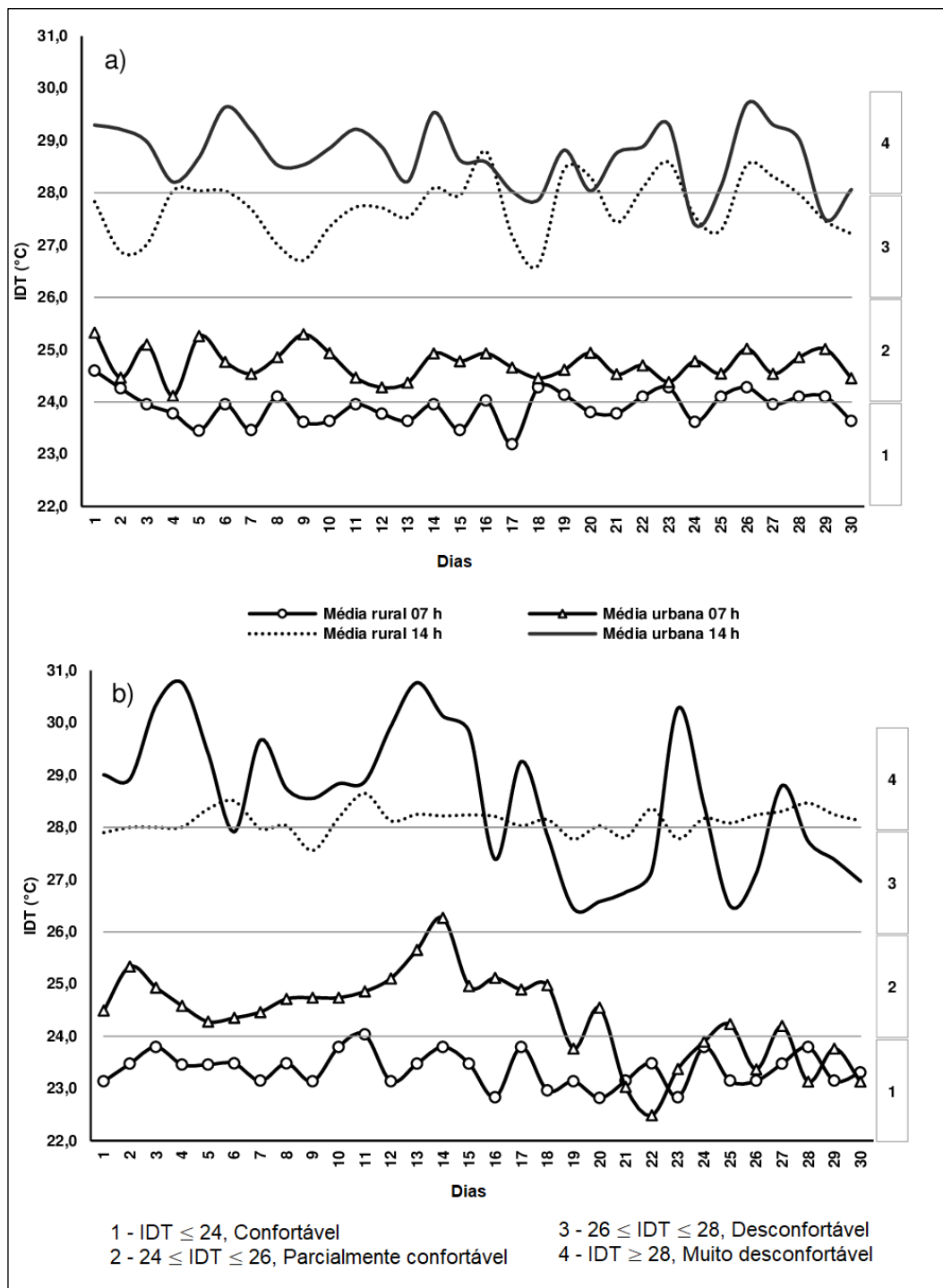
ultrapassaram o índice de 24°C, assim foi classificado como confortável, já no meio urbano 87% (16 dias) do mês foi considerado parcialmente confortável, um dia desconforto e apenas três dias confortável.

Mas, os maiores índices ocorrem às 14 horas no meio urbano, com valor máximo do índice de 30,8°C, correspondendo a classe muito desconfortável na maior parte do mês, em torno de 63%, e o restante foi classificado como desconfortável. Para o meio rural, a categoria de muito desconfortável representou 83% do mês, no entanto o valor mais alto foi de 28,6 °C e a curvatura no gráfico não foi tão acentuada quando comparado ao meio urbano, mantendo-se com índice próximo a 28°C.

Considerando a média do IDT para abril (26,3°C) e setembro (26,1°C), na Figura 16, ambos os meses foram considerados desconfortáveis termicamente, porém não foi possível verificar a influência da sazonalidade nos resultados encontrados, pois a variação foi mínima. Conclusão similar foi encontrada com base nos resultados de França et al. (2015), que analisaram o Índice de Desconforto Térmico em locais com diferentes usos do solo na cidade de Cuiabá/MT, durante dois meses, para representar a sazonalidade de 2011. Os resultados obtidos mostraram que o IDT predominante nos meses de março e setembro foi “parcialmente confortável”, assim não ficou evidente a diferença no índice influenciado pela sazonalidade.

No entanto, Costa et al. (2013c) investigaram a variabilidade horária do conforto térmico em Belém/PA, Manaus/AM, Macapá/AP e Santarém/PA, nos meses de março e setembro de 2009 a 2012, e concluíram que não houve diferença significativa nos índices entre as cidades no mês de março, pois acredita-se que os sistemas meteorológicos de grande escala homogeneízam as condições climáticas locais, em setembro, PMC, o IC teve variações, sendo influenciado pelas características locais, nas cidades litorâneas o índice foi menor, nestes casos pode-se relacionar o conforto térmico ao efeito de brisas fluviais. Em relação a sazonalidade, foi detectado que março foi o mês mais confortável termicamente devido as características típicas do PC. Resultado similar ao encontrado por Mandú, Gomes e Coutinho (2020), que caracterizaram o conforto térmico em Santarém/PA no período de 1999 a 2018 e constataram desconforto térmico, principalmente no PMC, em média os dias não são confortáveis na região.

Figura 16 - IDT no meio rural e urbano de Vigia, a) no mês de abril/2010 e b) no mês de setembro/2010.





No presente estudo foi possível notar diferenças na classificação do índice conforme os aspectos da paisagem geográfica local, do meio rural e urbano, deste modo, com base na média dos dois meses avaliados, o meio rural foi considerado parcialmente confortável (25,8°C) e o meio urbano desconfortável (26,6°C). Resultado similar foi encontrado por Freitas et al. (2013), que avaliaram as condições microclimáticas em dois locais, Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em janeiro e março de 2012 e identificaram IDT para as diferentes formas de uso e cobertura do solo, assim os menores valores do índice foram detectados no local com maior presença de vegetação e os maiores valores onde havia maior cobertura de concreto.

Resultado análogo foi encontrado por Silva Júnior et al. (2012b) que estudaram a distribuição espacial do conforto térmico em Belém no PMC e concluíram que o conforto térmico foi característico dos bairros com maior porcentagem de impermeabilização do solo e menor cobertura vegetal indicando que os elementos urbanos contribuem para o clima da cidade.

Assim como Santos et al. (2012), que analisaram o campo térmico urbano e sua relação com os diferentes uso e cobertura do solo em João Pessoa/PB no período de 1963 a 2011, e constataram que o centro da cidade é menos confortável termicamente, indicando a influência que a urbanização tem na formação de áreas mais desagradáveis, dessa forma os tipos de cobertura do solo influenciam nas características térmicas.

Silva Júnior et al. (2013a) analisaram a distribuição espacial do conforto térmico, por meio do Índice de Calor - IC, em Belém/PA em novembro de 2010, a fim de identificar se as condições térmicas desta região estão relacionadas com as tipologias sócio-ocupacionais, no entanto, as conclusões deste estudo apontam que os aspectos físicos dos bairros influenciam mais no índice do que a classe social, assim os locais menos confortáveis termicamente foram os com pouca área verde e grande quantidade de áreas pavimentadas e edificadas e o mais confortável foi o bairro do Curió-Utinga, por ocupar a Área de Proteção Ambiental - APA, o que impede o desmatamento e o avanço descontrolado da urbanização.

Diante do exposto, o índice de desconforto térmico evidenciou que na área urbana, a população é mais afetada, justamente pelas mudanças na paisagem, pois os materiais empregados nas estruturas urbanas alteram os fluxos de calor latente e

sensível e interferem diretamente na temperatura e umidade relativa do ar local, como já foi discutido nos tópicos anteriores. Desta forma, a compreensão da dinâmica no campo térmico é imprescindível para elaboração de políticas públicas que contribuam para ordenamento dos espaços urbanos, preservação de áreas verdes e melhoria da qualidade de vida da população. Com ênfase para o Norte, que segundo Mandú e Gomes (2019) ainda são escassos estudos sobre essa temática para região.

#### **4.7 Medidas mitigadoras**

Com base em diversos estudos, as medidas mitigadoras mais citadas para amenizar os efeitos das ilhas de calor e o desconforto térmico foram o planejamento urbano e o aumento de áreas verdes (LATIF; KAMSAN, 2017; PORANGABA; TEIXEIRA; AMORIM, 2017; BEZERRA; MORAES; SOARES, 2018; NURWANDA; HONJO, 2018; ALEXANDER, 2020; BARBOSA; BEZERRA NETO; CAIANA, 2020; LI; ZHA; ZHANG, 2020).

A presença de vegetação propicia duas estratégias naturais de controle térmicos relevantes: o sombreamento e a evapotranspiração, porém a distribuição deve ser regular e equitativa em meio às áreas construídas (SOUZA; SILVA, 2017). Zhang et al. (2017), evidenciaram a importância na escolha de espécies utilizadas em áreas verdes para obter melhor desempenho na amenização da temperatura e descobriram que a floresta mista era mais eficiente que a floresta pura para mitigar os efeitos de ICU.

Silva et al. (2017) citaram diversos benefícios que as áreas verdes proporcionam tais como, aumento da evapotranspiração, regulamentação da umidade do ar e da temperatura, diminuição da poluição, conforto térmico, proteção contra erosão e assoreamento de rios urbanos, redução dos níveis de ruídos das cidades. As áreas verdes ainda podem gerar ilhas de frescor, efeito inverso das ilhas de calor e, portanto, positivo para ambientes (ZHANG et al., 2017).

Assim, as áreas verdes têm função ecológica, social, educativa e estética. Sendo que, a mitigação dos efeitos de ilha de calor urbana é ainda mais intensificada quando as áreas verdes estão distribuídas em pequenas áreas

intercaladas nas cidades, em vez de em um único parque ambiental, pois reduziria a contiguidade urbana (DEBBAGE; SHEPHERD, 2015; WARD, 2016).

Pontes et al. (2017), enfatizaram a importância de mais pesquisas sobre a formação e detecção de ICU, a fim de embasar trabalhos preventivos e corretivos para garantir o bem-estar das pessoas e do ambiente urbano. Segundo Zhang et al. (2017), os métodos para mitigar a ICU são importantes focos de pesquisas. Souza e Silva (2017) destacaram a colaboração entre os gestores e os pesquisadores para se obter melhores escolhas de desenvolvimento e planejamento urbano.

Estudo desenvolvido por Barbosa et al. (2015) na FLONA Caxiuanã, na cidade de Belém e Manaus, evidenciou os efeitos do crescimento urbano e os benefícios da vegetação na regulação térmica dos ambientes amazônicos e na melhoria das condições de conforto térmico dos habitantes.

O clima tropical contribui de maneira crítica para intensificar o desconforto térmico (DIN et al., 2014). Dessa forma, é crucial compreender a dinâmica da interação do homem com o meio ambiente e as consequências provocadas pelas mudanças de uso e ocupação do solo nas variáveis climáticas e conseqüentemente no conforto térmico da população residente em municípios de pequeno porte na Amazônia. Assim como, a relevância de pesquisas interdisciplinares sobre o clima, meio ambiente e a sociedade local, para um aporte referencial na área de conhecimento das ciências ambientais, uma vez que há uma lacuna no conhecimento desta região na literatura.

## 5 CONCLUSÃO

Com uso do sensoriamento remoto na plataforma do GEE foi possível realizar a caracterização e análise na mudança do uso do solo, da cobertura vegetal e da temperatura de superfície na escala temporal de 30 anos nos municípios de Vigia, Colares, Santo Antônio do Tauá e São Caetano de Odivelas no estado do Pará. Esta ferramenta mostrou-se útil para as diversas análises, uma vez que foi possível executar o trabalho de forma rápida e precisa, sem que fosse necessário utilizar alta capacidade de processamento computacional, pois todo o processo e armazenamento são realizados em nuvem, isso possibilita que a pesquisa se torne mais acessível e abrangente aos diversos públicos.

No presente estudo foi possível observar o aumento de áreas impermeabilizadas ou solo exposto correspondente as classes de urbanização e agropecuária na análise de mudança de uso e ocupação do solo, diminuição de áreas verdes, aumento da temperatura de superfície terrestre, crescimento populacional e conseqüentemente existência de ilha de calor de superfície nos últimos 30 anos.

Em relação aos dados de campo foi verificada que a sazonalidade climática da região é definida pelo comportamento da precipitação, com duas estações bem definidas ao longo do ano, por outro lado a temperatura do ar apresentou pouca amplitude térmica anual, característica da região Equatorial. Em áreas consideradas substancialmente rurais, o índice de conforto térmico foi classificado como parcialmente confortável, enquanto nas áreas urbanas foi desconfortável.

## SUGESTÕES

Nesse contexto, destaca-se a importância do aumento de áreas verdes para minimizar estes efeitos indesejados, uma vez que suas características interferem diretamente na dissipação dos fluxos de calor, além disto, a vegetação possui função ecológica, social, educativa e estética. Compreender as variáveis meteorológicas e ambientais de forma interdisciplinar pode ajudar os municípios a se adaptarem as mudanças no microclima por meio do planejamento urbano e elaboração de políticas públicas de gestão da paisagem urbana para mitigar os efeitos de ilhas de calor e manter a qualidade de vida da população de pequenos municípios do Nordeste Paraense, além de contribuir no entendimento da variabilidade climática da região, uma vez que, não há estação do INMET nas localidades e tão pouco trabalhos voltados a essa temática.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F. de *et al.* Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 6, ano 6, p. 151-168, 2010.
- ALEXANDER, C. Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 86, p. 102013, [11p], 2020.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, E. D. L. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 20, ano 13, p. 97 – 116, 2017.
- ALVES, L. M. *et al.* Sensitivity of Amazon regional climate to deforestation. **American Journal of Climate Change**, v. 6, n. 1, p. 75-98, 2017.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.
- AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: Exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra**, Lisboa, v. 52, n. 105, p. 111-133, 2017.
- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 15, p. 22-46, jun. 2019.
- AZEVEDO, F. T. M. *et al.* Prognóstico sazonal de precipitação regionalizada na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, p. 1520-1534, 2017.
- AZEVEDO-RAMOS, C.; MOUTINHO, P. No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation? **Land Use Policy**, v. 73, n. 1, p. 125-127, 2018.
- BARBOSA, P. H. D. *et al.* Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 98-118, jul./dez. 2015.
- BARBOZA, E. N.; BEZERRA NETO, F. das C.; CAIANA, C. R. A. Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor Urbano na cidade de Vitória, Espírito Santo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, 21p., 2020.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP: Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016.

BECKER, B. K. Undoing myths: the Amazon – an urbanized forest. *In*: CLÜSENER-GODT, M.; SACHS, I. (orgs.). **Brazilian perspectives on sustainable development for the Amazon region**. Paris: UNESCO, v. 15. p. 53-89, 1995.

BEZERRA, P. E.; MORAES, E. T.; SOARES, I. Análise da temperatura de superfície e do índice de vegetação no município de Belém na identificação das ilhas de calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 70, n. 3, p. 803-818, 2018.

BEZERRA, P. T. da C.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; AZEVEDO, P. V. Ilhas de Calor e Desconforto Térmico no Semiárido Brasileiro: Um Estudo de Caso na cidade de Petrolina-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 427-441, 2013.

BRAGA, T. G. M. *et al.* Caracterização e análise dos fragmentos florestais e uso do solo no município de Colares, Nordeste do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 13, n. 3, p. 383-407, 2018.

CALLEJAS, I. J. A. *et al.* Uso do solo e temperatura superficial em área urbana. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 207-223, 2011.

CALLEJAS, I. J. A. *et al.* Variação sazonal do balanço de energia em cidade localizada na região central do Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 15, n. 3, p. 85-106, 2016.

CARDOSO, R. *et al.* Assessment of urban heat Islands in Small- and Mid-Sized cities in Brazil. **Climate**, v. 5, n.1, [13 p.] 2017. <https://doi.org/10.3390/cli5010014>.

CAVALCANTE, J. da C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELO, T. B. Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do Google Earth Engine em área de savana Amazônica e floresta secundária, no município de Vigia-PA. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 1, p. 64-70, 2020.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

CHEN, M.; ZHOU, Y.; HU, M.; ZHOU, Y. Influence of urban scale and urban expansion on the urban heat island effect in metropolitan areas: case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2020.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. Temperatura de superfície celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.

COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.4, n.11, p.34-40, 1989.

COSTA, A. C. L. *et al.* Distribuição geoespacial e horária da temperatura do ar na cidade de Belém, estado do Pará, Brasil. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research Medium**, v. 4 n. 1, p. 150-168, 2013a.

COSTA, A. C. L. *et al.* Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na região Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 03, p. 478-487, 2013c.

COSTA, A. C. L. *et al.* Variabilidade horária, diária e sazonal da frequência e intensidade de precipitação em uma floresta tropical chuvosa na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1290-1302, 2018.

COSTA, A. C. L. *et al.* Variabilidade mensal e horária de elementos meteorológicos na área experimental do Projeto ESECAFLOR na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 11, n. 3, p. 365-375, 2016.

COSTA, A. C. L. *et al.* Variações termo higrométricas e influências de processo de expansão urbana em cidade equatorial de médio porte. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 4 n. 2, p. 615-632, 2013b.

COUTINHO, Eliane de Castro *et al.* Variabilidade climática da precipitação na bacia Amazônica brasileira entre 1982 e 2012. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 476-500, 2018.

DEBBAGE, N.; SHEPHERD, J. M. The urban heat island effect and city contiguity. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 54, p. 181-194, 2015.

DEBORTOLI, N. S. *et al.* Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971–2010). **Climatic Change**, v. 132, p. 251-264, 2015.

DIAS, J. V. F.; PEREIRA, P. R. M. Evolução urbana e transformações na temperatura de superfície do município de Imperatriz-MA. **Revista GeoAmazônia**, v. 7, n. 13, p. 68-84, 2019.

DIAS, T. S. S. *et al.* Urban environment and the air temperature trend: the case of the metropolis of Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 159-171, 2021.

DIN, M. F. Md *et al.* Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. **Journal of thermal biology**, v. 41, p. 6-15, 2014.

DONG, J. *et al.* Moore Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v.185, p. 142-154, 2016.

ESPINOZA, J. C. *et al.* Climate variability and extreme drought in the upper Solimões river (western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 13, p.13406, 2011.



FERREIRA, D. B. da S.; SOUZA, E. B. de; OLIVEIRA, J. V. de. Identificação de extremos de precipitação em municípios do Estado do Pará e sua relação com os modos climáticos atuantes nos Oceanos Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, ano 16, p. 197-222, 2020.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito (Heat island: reflections on a concept). **Acta Geográfica**, p. 61-76, 2012. DOI: 10.5654/actageo2012.0002.0004.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

FRANÇA, M. S. *et al.* Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 55, p. 141-151, Set. 2015.

FREITAS, A. F. *et al.* Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 777-792, 2013.

FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 3, p. 487-512, 2017.

FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. **International journal of biometeorology**, v. 59, n. 1, p. 109-120, 2015.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo : Oficina de textos, 2010. 248p.

GERMANO, M. F. *et al.* Analysis of the breeze circulations in Eastern Amazon: an observational study. **Atmospheric Science Letters**, v. 18, n. 2, p. 67-75, 2017.

GOMES, H. B. *et al.* Temperatura da superfície e albedo na região de ilha Solteira, São Paulo. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, 2017.

GOMÉZ, F.; TAMARIT, N.; JABALOYES, J. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. **Landscape and Urban Planning**, n. 55, p. 151-161, 2001.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology**. New York : Academic Press Inc., 1994.

HUANG, H. *et al.* Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 166-176, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/vigia/panorama>. Acesso em: 24 out. 2019.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ. IDESP. **Estatística municipal**. 2015. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/797.pdf?id=1618090708>. Acesso em: 02 mar. 2021.

JEEVALAKSHMI, D.; REDDY, S. Narayana; MANIKIAM, B. Land surface temperature retrieval from LANDSAT data using emissivity estimation. **International Journal of Applied Engineering Research**; v.12, n.20, p.9679-87, 2017.

LASHKARI, H.; MOHAMMADI, Z.; KEIKHOSRAVI, G. Annual fluctuations and displacements of intertropical convergence zone (ITCZ) within the range of Atlantic Ocean-India. **Open Journal of Ecology**, v. 7, n. 1, p. 12-33, 2017.

LATIF, Z. A.; KAMSAN, M. E. S. Assessing the relationship of land use land cover on surface temperature in city of Shah Alam, Malaysia using LANDSAT-8 OLI. **Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN**, Argéria, v. 9, n. 5S, p. 514-525, 2017.

LEE, K.; KIM, Y.; SUNG, H. C.; RYU, J.; JEON, S. W. Trend analysis of urban heat Island intensity according to urban area change in Asian mega cities. **Sustainability**, v. 12, n. 1, [112], 2019. <https://doi.org/10.3390/su12010112>.

LEMOS, M. de Barros *et al.* Surface temperature and NDVI Behavior analysis in september in Manaus/AM City. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 11, p. 467-474, 2019.

LEVERMORE, G. *et al.* The increasing trend of the urban heat island intensity. **Urban Climate**, v. 24, p. 360-368, 2018.

LI, L.; ZHA, Y.; ZHANG, J. Spatially non-stationary effect of underlying driving factors on surface urban heat islands in global major cities. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 90, 12 p., 2020.

LIN, T. P.; DEAR, R. de; HWANG, R. L. Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 2, p. 302-312, 2011.

LIRA, B. R. P. *et al.* Agrupamento pluviométrico no estado do Pará. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, 10 p., 2020.

LIU, W. T.; XIE, X. Double intertropical convergence zones - A new look using scatter meter. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 22, [4 p]., 2002.

LOLA, Antonio Carlos *et al.* Distribuição geoespacial e horária da temperatura do ar na cidade de Belém-PA: estudo de caso em 1995. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 4, n. 1, 2013.

- LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B. de; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, p. 84-102, 2013.
- LUBER, G.; MCGEEHIN, M. Climate change and extreme heat events. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 35, n. 5, p. 429-435, 2008.
- MACHADO, L. A. T. *et al.* Overview: precipitation characteristics and sensitivities to environmental conditions during GoAmazon2014/5 and ACRIDICON-CHUVA. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 9, p. 6461-6482, 2018.
- MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. dos S. Identificação de tendências no conforto térmico na região Norte do Brasil: estudo de caso em Manaus-AM. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 34, p. 63-81, 2019.
- MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. dos S.; COUTINHO, M. D. L. Caracterização do conforto térmico da cidade de Santarém-PA. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 37, p. 279-291, 2020.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas** – Collection 5.0 Plataforma. 2020. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org>. Acesso em: 31 jan. 2021.
- MARENGO, J. A. *et al.* The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, [5p], 2011.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. Clima da região Amazônica. *In*: CAVALCANTI, I.F. de A. *et al.* **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 197-212.
- MARGALHO, E. S. *et al.* Influence of Land Use and Coverage Change on Continental Surface Temperature in the Urban Area of Belem-PA. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 2, p. 07-19, 2020.
- MCCARTHY, M. P.; BEST, M. J.; BETTS, R. A. Climate change in cities due to global warming and urban effects. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 9, L09705, 2010.
- MEDEIROS, A. M. T. de *et al.* Mudanças climáticas em Campina Grande-PB - um estudo sobre o aquecimento urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 278-285, 2011.
- MIRANDA, Y. C.; MARTINS NETO, F. F.; BORTOLI, M. M. Sensoriamento remoto aplicado à detecção de Ilhas de Calor Urbanas: uma revisão sistemática. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 13, n. 8, p. 105-119, 2017.
- MOHAMMAD, P.; GOSWAMI, A.; BONAFONI, S. The impact of the land cover dynamics on surface urban heat island variations in semi-arid cities: a case study in Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data. **Sensors**, v. 19, n. 17, p. 3701, 2019.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Instituto de Geografia IGEOG/USP, 1976. 181p. (Série Teses e Monografias, n. 25).

MORAES, B. C. *et al.* Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

MOREIRA, A. M.; MOTA, M. A. S. da. Valoração econômica de danos causados por inundações na cidade de Manaus nos últimos 20 anos (1999-2018). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 855-869, 2020.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. da. Influência da expansão urbana em Recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM LANDSAT 5. **Revista de Geografia**, v. 30, n. 2, p. 153-168, 2013.

MOREIRA, F. S. A.; VITORINO, M. I. Relação de áreas verdes e temperatura da superfície para cidade de Belém. **Paper do NAEA (UFPA)**, Belém, v. 369, p. 1-25, 2017.

MOURA, M. M. *et al.* Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1639-1651, 2019.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I.; ADAMI, M. Análise de componentes principais da precipitação pluvial associada à produtividade de soja na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, ano 14, p. 574-588, 2018.

MURO, J.; STRAUCH, A.; HEINEMANN, S.; STEINBACH, S.; THONFELD, F.; WASKE, B.; DIEKKRÜGER, B. Land surface temperature trends as indicator of land use changes in wetlands. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 70, p. 62–71, 2018.

NOBRE, C. A.; ÓBREGON, G. O.; MARENGO, J. A. Characteristics of Amazonian climate: main features. **Amazonia and Global Change**, v. 186, p. 149-162, 2009.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

NÓBREGA, R. S.; VITAL, L. A. de B. Influência da urbanização sobre o microclima de Recife e formação de Ilha de Calor. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 3, p. 151-156, 2010.

NURWANDA, A.; HONJO, T. Analysis of land use change and expansion of surface urban heat Island in Bogor city by remote sensing. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Basileia, v. 7, n. 5, p. 165, 2018.

OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress in Physical geography**, v. 12, n. 4, p. 471-508, 1988.

OKE, T. R.; CLEUGH, H. A. Urban heat storage derived as energy balance residuals. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 39, n. 3, p. 233–245, 1987.

OLIVEIRA, M. do C. F. *et al.* Climatologia urbana da cidade de Belém-Pará, através das precipitações e temperaturas do ar, das normais climatológicas de 1941 a 1970, 1971 a 2000 e da normal provisória de 2001. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 3, p. 803-819, 2016.

PATEL, N. N. *et al.* Multitemporal settlement and population mapping from landsat using google earth engine. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 35, p. 199-208, 2015.

PEDREIRA JUNIOR, A. L. *et al.* Temperatura, umidade relativa do ar e Índice de Desconforto Térmico (IDT) no Município de Boca do Acre- Amazonas. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 75-86, jan.-jun., 2018a.

PEDREIRA JUNIOR, A. L. *et al.* Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá–AM. **Revista brasileira de Climatologia**, ano 14, v. 22, p. 463-475, jan./jun. 2018b.

PONTES, A. K. S. *et al.* Temperatura em superfície urbanas usando sensor TIRS- Landsat 5 e 8 : estudo de caso em Belém-PA. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, p. 118-132, 2017.

PONZONI, E.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

PORANGABA, G. F. O.; TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. 225-247, 2017.

QAID, A.; BIN LAMIT, H.; OSSEN, D. R.; RAJA SHAHMINAN, R. N. Urban heat island and thermal comfort conditions at micro-climate scale in a tropical planned city. **Energy and Buildings**, v. 133, p. 577–595, 2016.

QUADRO, M. F. L. *et al.* Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 152-162, 2012.

RAJAGOPALAN, P.; LIM, K. C.; JAMEI, E. Urban heat island and windflow characteristics of a tropical city. **Solar Energy**, v. 107, p. 159-170, 2014.

ROUSE J. R. *et al.* **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Texas: A&M University Remote Sensing Center, 1973.

SANTOS, J. S. dos *et al.* Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 540-557, 2012.

SANTOS, S. R. Q. *et al.* Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n.1, p. 111-122, 2017a.

SANTOS, S. R. Q. *et al.* Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 468-478, 2017b.

SILVA, E. R. M. da *et al.* Análise do desempenho da estimativa de precipitação do produto CHIRPS para Sub-Bacia do rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1094-1105, 2020.

SILVA, K. A. da; EL-DEIR, S. G.; MONTEIRO JÚNIOR, J. J.; SANTOS, J. P. O.; ARAÚJO SILVA, E. Analysis of vegetation dynamics using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) at the archipelago of Fernando de Noronha, Pernambuco, Brazil. **Interações (Campo Grande)**, v. 21, n. 4, p. 885-901, 2020.

SILVA, K. B. *et al.* Ilhas de calor em Vitória da Conquista – BA: Identificação e proposta para criação de áreas verdes. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 10, n. 3, p. 825–847, 2017.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. Ritmo climático e conforto térmico na cidade de Palmas (TO) em anos-padrão selecionados. **Geo UERJ**, n. 34, [27 p]. 2019. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40953>.

SILVA JÚNIOR, L. A. S. da; DELGADO, R. C.; WANDERLEY, H. S. Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 237-250, 2018.

SILVA JÚNIOR, R. S.; MARTILLI, A.; SILVA, E. H de L. Efeito da urbanização sobre a dispersão de poluentes e formação de ilha de calor. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, ano 16, p. 34-56, jul./dez., 2020.

SILVA JÚNIOR, J. A. *et al.* Análise da distribuição espacial do conforto térmico da cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 218-232, 2012b.

SILVA JÚNIOR, J. A. *et al.* Relações entre as percepções térmicas e índices de conforto térmico dos habitantes de uma cidade tropical na Amazônia Oriental. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 3, n. 2, p. 395-407, jul./dec. 2012a.

SILVA JÚNIOR, J. A. *et al.* Sazonalidade de elementos meteorológicos da área urbana e periférica na cidade de Belém, PA, **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 4, n. 2, p. 650-662, 2013b.

SILVA JÚNIOR, J. A. *et al.* Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 419-428, 2013a.

SILVEIRA, R. N. P. O.; FERNANDES, L. L.; SILVA, M. de N. A. da. Tendência de precipitações pluviométricas e avaliação da influência dos ENOS no distrito de Abunã, Rondônia. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 14-20, 2017.

SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; PAOLINI, L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 4, p. 434-440, 2004.

SODRÉ, G. R. C. *et al.* Teleconexões oceânicas nos padrões climatológicos da Amazônia Oriental: Análise dos últimos 40 anos (1974-2013). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, ano 11, p. 52-66, 2015.

SOUSA, A. M. L. de *et al.* Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 13-24, 2015.

SOUZA, C. A.; SILVA, M. H. S. Análise da distribuição térmica da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, no ano de 2015. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 21, ano 13, p. 467-487, jul./dez. 2017.

SOUZA, E. B. de; NOBRE, P. Uma revisão sobre o padrão de dipolo no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 1, p. 31-44, 1998.

SOUZA, E. B. de *et al.* Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, ano 13, p. 81-93, 2017.

SOUZA, E. B. de *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

SOUZA, E. B. de *et al.* Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo regcm4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, ano 12, p. 293-306, 2016.

TANAKA, L. M. d S.; SATYAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3574-3584, 2014.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. D. C. T. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p.186-209. Maio/ago. 2018.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weather Wise**, v. 12, n. 2, p. 57-60, 1959.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. C. Cidades médias na Amazônia Oriental: das novas centralidades à fragmentação do território. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 13, n. 2, p. 135-135, 2011.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. C. Pensando a modernização do território e a urbanização difusa na Amazônia. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. SPE, p. 93-106, 2015.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. C.; BARBOSA, E. J. S. Reestruturação metropolitana na Amazônia oriental: empreendimentos econômicos e dispersão urbana na área de influência imediata de Belém. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 2, p. 349-363, 2016.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. C.; MADEIRA, W. V. Polos, eixos e zonas: cidades e ordenamento territorial na Amazônia. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 9, n. 1, p. 37-54, 2016.

VEIGA, J. E. **Cidades imaginárias**: o Brasil é menos urbano do que se calcula. Campinas: Autores Associados, 2002. 304 p.

VIEIRA, M. G.; MACHADO, G. Geotecnologias e ilhas de calor urbanas : uma aplicação a Uberlândia. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 4, n. 3, p. 137-158, 2018.

VILLAVICENCIO, L. M. M. *et al.* Google Earth Engine: mapeamento das mudanças na Cordilheira Vilcanota-Peru. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, 2018.

WANG, D. *et al.* The Green Ocean: precipitation insights from the GoAmazon2014/5 experiment. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 12, p. 9121-9145, 2018.

WARD, K. *et al.* Heat waves and urban heat islands in Europe: a review of relevant drivers. **Science of the Total Environment**, v. 569, p. 527-539, 2016.

WU, X.; WANG, G.; YAO, R.; WANG, L.; YU, D.; GUI, X. Investigating surface urban heat Islands in South America Based on MODIS data from 2003–2016. **Remote Sensing**, v. 11, n. 10, p. 1212, 2019.

YANG, Li *et al.* Research on urban heat-island effect. **Procedia Engineering**, v. 169, p. 11-18, 2016.

YOUSIF, T. A.; TAHIR, H. M. M. Application of thom's thermal discomfort index in Khartoum state, Sudan. **Journal of Forest Products and Industries**, v. 2, n. 5, p. 36-38, 2013.

ZHANG, X. *et al.* Effects of land use/cover changes and urban forest configuration on urban heat islands in a loess hilly region: case study based on yan'an city, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Switzerland, v. 14, n. 8, 2017.



## **APÊNDICE A – RELATÓRIO FINAL DO PROJETO “ENTENDENDO A VARIABILIDADE DO CLIMA REGIONAL NO NORDESTE PARAENSE”**

### **1 IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO**

#### **Objetivo**

Disseminar a ciência do clima entre alunos do ensino fundamental e médio, de área rural, promovendo atividades e tarefas que sirvam à compreensão da meteorologia, a partir da observação e análise da variabilidade de alguns elementos climáticos.

#### **Metas**

- a) Inclusão científica, digital e social de crianças/jovens carentes residentes na área rural das cidades da região nordeste do Estado do Pará;
- b) Integração dos alunos com a ciência da meteorologia; conscientização sobre as questões ambientais e mudanças climáticas;
- d) Divulgação das experiências com a meteorologia nas escolas e comunidades;
- e) Fazer atividades práticas de monitoramento do clima, medindo precipitação e temperatura (observador meteorológico); entendimento do uso e manejo da água da chuva.

### **2 INTRODUÇÃO**

A preocupação com as mudanças climáticas no globo terrestre é crescente, sobretudo na necessidade de prever ou minimizar os impactos provocados por condições ambientais adversas e/ou desconhecidas, que possam causar sérios prejuízos à sociedade. Então, é importante conscientizar cada cidadão sobre os problemas ambientais e que estes exigem atitude e mudanças de comportamento em relação ao meio ambiente. Desta maneira, conhecer o comportamento das variáveis meteorológicas é fundamental, pois além de ajudar nas políticas públicas e

planejamento da gestão ambiental e socioeconômica, fornece subsídios para melhoria dos modelos climáticos e ambientais.

A importância da região Amazônica, como uma grande fonte de calor tropical, para estabelecer e manter a circulação da atmosfera em grande escala e a precipitação sobre o continente da América do Sul, tem sido discutida por diversos autores (NOBRE, 1983; SANTOS, 1986; CARVALHO, 1989). Esta região, situada entre os paralelos de 05° N e 10° S e meridianos de 70° e 40° W, tem área de aproximadamente 7 milhões de quilômetros quadrados, é a maior floresta tropical e maior bacia hidrográfica do globo, representando 35% da área do continente e 65% da área tropical da América do Sul. Por ter precipitação média acima de 2000 mm é uma grande fonte de calor e umidade não só para a América do Sul, mas também para o balanço de energia da atmosfera global.

As condições de gradientes de temperaturas muito pequenos (variação entre 25 e 26°C) e ocorrência de grande quantidade de precipitação, na região, muitas vezes são alteradas por influência de sistemas de meso e grande escala que penetram na região, como frentes frias, ZCIT, linha de instabilidade, etc., que agem ora acelerando ora enfraquecendo os sistemas locais, e com isso aumenta ou diminui a quantidade de precipitação (OLIVEIRA, 1994; MOTA; SOUZA, 1996; SOUZA; OLIVERIA, 1997). Ou seja, as atividades convectivas podem ser fortalecidas e conseqüentemente nuvens de grande desenvolvimento vertical são desenvolvidas, provocando forte precipitação. Ou a atividade convectiva é inibida e com isso as nuvens desaparecem. Essas características fazem com que o conteúdo de vapor d'água presente na atmosfera embora de valores altos (entre 16 e 20 g/kg), sofra variações acentuadas, principalmente pela presença de atividade convectiva.

As variações mensais da quantidade de precipitação que ocorre na região fazem com que surja um novo conceito de estações do ano: "a mesma chuvosa" que ocorre durante o inverno e primavera (junho a novembro) do Hemisfério Sul (HS), com precipitações inferiores a 100 mm/mês; e a estação chuvosa que ocorre no verão e outono do HS (dezembro a maio), com precipitações superiores a 200 mm/mês. Na estação chuvosa a grande quantidade de precipitação é causada principalmente pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que nesta época está localizada mais ao sul do equador. A ZCIT por se um sistema de grande escala é determinante no processo de formação da precipitação na região.

Além da ZCIT, outros sistemas e processos dinâmicos/termodinâmicos promovem as chuvas na região, como: convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de grande escala favoráveis; linhas de instabilidade originadas na costa norte-nordeste do litoral do Atlântico; aglomerados convectivos de grande e mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais da região sul-sudeste do Brasil que interagem com a região Amazônica, conforme estudo realizado por Molion (1987). Já na estação menos chuvosa, quando a ZCIT se encontra no Hemisfério Norte, ocorre baixa precipitação e altas temperaturas. Nesta época grande parte da precipitação que ocorre na região é devido as Linhas de Instabilidade, principalmente na região costeira (MOLION, 1987; GARSTANG et al., 1994; GRECO et al., 1994; COHEN et al., 1995).

A produção agrícola é substancialmente afetada pelas condições atmosféricas. Esta influência se torna mais imperativa na genética da produção, e conseqüentemente na rentabilidade econômica de uma região. Então, em virtude de suas marcantes influências na vegetação, os dois elementos meteorológicos mais observados e registrados são a temperatura e a precipitação. Sendo que em latitudes extratropicais, a temperatura é mais importante, devido ao gradiente de temperatura sofrer expressiva influência dos sistemas de meso e grande escala. Enquanto que, nas regiões tropicais, o gradiente de temperatura é muito pequeno e a precipitação tem valores bastante elevados. Desta maneira, estudos sobre a variabilidade da precipitação assumem grande importância, pois além de propiciar um maior entendimento da dinâmica dos sistemas meteorológicos que afetam a região, possibilita um melhor planejamento do uso e manejo da água da chuva e da terra, possibilitando uma eficiência econômica com a capacidade de suporte do sistema Solo-Planta-Atmosfera.

No caso específico do Estado do Pará, a produção agrícola é determinada principalmente pela quantidade e distribuição da chuva. O Estado está situado na parte leste da região Amazônica, entre os paralelos de 02° 37'N e 09° 50'S e os meridianos de 46° 06'W e 59° 22'W, tem uma área superficial de 1.248.042 km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 15% do território brasileiro. Devido a posição geográfica do Estado ele apresenta uma variabilidade climática acentuada, principalmente quanto a sazonalidade. Mas, de uma maneira geral tem um clima tropical, quente e úmido, segundo a classificação de Koppen. E também, devido a sua grande área

territorial apresenta uma necessidade de melhoria de observações meteorológicas. O aumento das observações não só auxiliaria a melhorar a previsão de tempo para região, validando os modelos, como também balizaria as atividades da região como: agronegócios, agricultura familiar, uso e manejo adequado dos recursos naturais, dentre outros.

A variabilidade da precipitação afeta a população, de todas as maneiras, desde as mais básicas até as de lazer, desta maneira pode provocar sérios prejuízos a sociedade. Grande quantidade de precipitação pode afetar vários setores, como a economia, a saúde, transportes, energia, etc., da mesma maneira que seca prolongada afeta a agricultura. Portanto, pesquisar a variabilidade da ocorrência de tais fenômenos, como eles se desenvolvem e quais as cidades mais afetadas, é importante para ajudar a sociedade de uma maneira geral. Então considerando essa necessidade é que apresentamos a proposta desta pesquisa, que teve como objetivo principal analisar a variabilidade regional da precipitação no nordeste do Estado do Pará, fazendo a inserção científica, digital e social de 17 alunos da área rural dessa região.

O projeto em questão proporcionou aos alunos uma visão mais ampla das mudanças climáticas que estão ocorrendo em todo o mundo, em especial aqui na região nordeste do Pará, tendo como foco principal observação da precipitação e temperatura, e quais as possíveis causas e impactos sobre a sociedade.

O projeto também está fazendo uma reflexão de quais as melhores formas de agir e ajudar o meio ambiente, fazendo com que os alunos e comunidades tomem consciência da realidade em que vivem e de sua própria capacidade de transformar para melhor o mundo em que habitamos. Assim, o projeto está fazendo a inclusão científica, digital e social de crianças/jovens carentes residentes na área rural das cidades dessa região.

Além dos alunos da área rural da região nordeste do Estado do Pará, o projeto também atendeu 13 alunos de escola pública de Belém e região metropolitana, moradores em áreas de risco de Belém e nos municípios que fazem parte da região metropolitana.

### **3 METODOLOGIA**

O Projeto além de introduzir os fundamentos de medidas meteorológicas com a construção de pluviômetros, faz a inclusão científica e digital de alunos moradores da área rural e alunos moradores de Belém e região metropolitana. Eles aprenderam a utilizar planilhas eletrônicas, editor de texto, e navegar na Internet. Com esse conhecimento foram capazes de elaborar tabelas e gráficos, fazer descrição dos resultados e escrever relatórios científicos. Ficaram familiarizados com modernos meios e técnicas de monitoramento e registros automatizados, instalados na UFPA, destinadas a estudos climáticos e ambientais. Também receberam bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Júnior (PIBIC-JR) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA), no valor de R\$ 100,00 (cem reais) mensal.

#### **3.1 Escolha dos locais**

Para se fazer a análise da variação diária da precipitação, foram selecionados alguns pontos de observação em Belém, região metropolitana e nordeste do Estado do Pará, onde não tivesse nenhum tipo de coleta de precipitação.

A ideia consistiu em adotar pontos em diferentes bairros de Belém, onde não tivesse coleta de precipitação, realizadas por órgãos oficiais como INMET, DTCEA e EMBRAPA. Na região nordeste do Estado foram determinados dois pontos de observação em cada município escolhido, dessa forma foram selecionados 12 pontos (Figura 1A), os quais foram distribuídos entre os seguintes municípios: Benevides, Santa Bárbara, Santa Izabel, Santo Antônio do Tauá, Colares, Vigia e São Caetano de Odivelas, totalizando 17 bolsistas. Para o município de Santa Bárbara foi escolhido somente um ponto, pois ele já faz parte da região metropolitana de Belém. Por outro lado, em Vigia foram selecionados 7 pontos entre a área urbana e a área rural, para um estudo sobre diferenças entre a área urbana e rural, visto que este município de pequeno porte, já apresenta temperaturas muito elevadas na área urbana, apesar de estar situado as margens do rio Guajará-Mirin.

A Tabela abaixo apresenta o nome de cada comunidade onde foram coletados os dados e seus respectivos municípios.

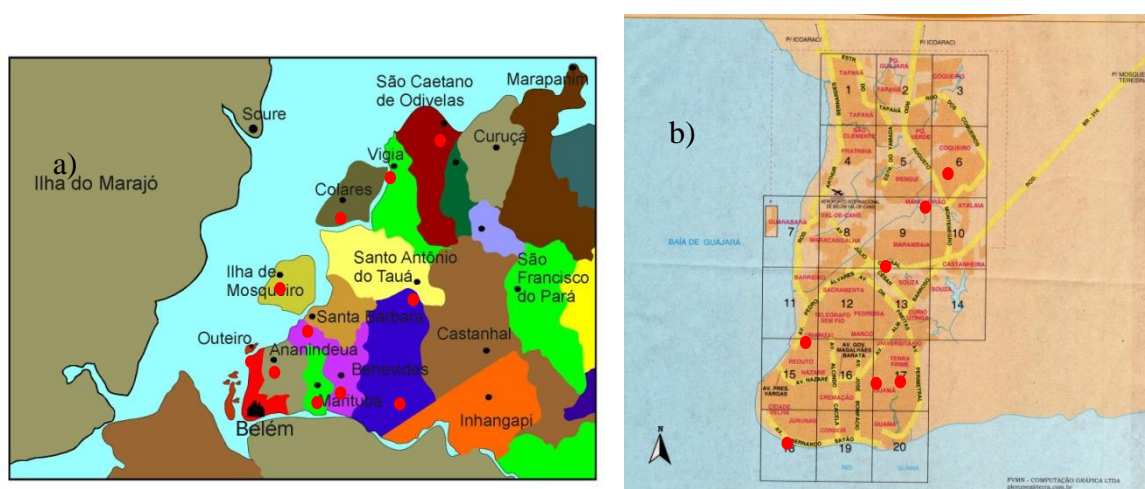
Tabela 1 - Relação de comunidades selecionadas e seus respectivos municípios.

<b>Município</b>	<b>Local</b>
Benevides	Coréia
	Taiassuí
Colares	Jenipaúba da Laura
Santo Antônio do Tauá	Área urbana
	Vila Betânia
Santa Bárbara	Santa Bárbara
São Caetano de Odivelas	Santo Antônio da Barreta
	Vila Jutáí
Santa Izabel do Pará	Vila Juazeiro
	Vila Sapucaia
Vigia	Bairro Centro
	Bairro do Arapiranga
	Bairro Centro
	Vila Santa Rosa
	Vila São Sebastião do Guarimã
	Vila Porto Salvo
	Vila Maracajá

Vale ressaltar que o projeto foi iniciado, em junho/2008, com o intuito de analisar a precipitação em Belém e região metropolitana, sendo que os bolsistas participantes também pertenciam a essas regiões. Nessa primeira etapa do projeto, participaram 10 bolsistas, entre os quais 6 moradores de área de risco da cidade de Belém (distribuídos nos bairros da Marambaia, Terra Firme, Jurunas, Conjunto Maguari e Mangueirão) e 4 moradores da região metropolitana (Ananindeua, Marituba, Santa Bárbara e Mosqueiro). Atualmente em Belém estão instalados pluviômetros nos seguintes bairros (Figura 1B): Marambaia, Terra Firme (com dois

pontos), Jurunas, Mangueirão, Mosqueiro, Outeiro e Umarizal. Na região metropolitana (Figura 1A), nos municípios de Ananindeua (bairro Guanabara e Coqueiro), Marituba, totalizando 11 bolsistas. Então o projeto finalizou com um grupo de 28 bolsistas, que coletam chuva diariamente, abrangendo Belém, região metropolitana e nordeste do Pará.

Figura1- Locais onde foram instalados os pluviômetros e feitas as coletas, marcados com um círculo vermelho: a) Municípios do Estado do Pará; b) Bairros de Belém.



A coleta dos dados só começou a partir de julho de 2009, pois em meses anteriores, as crianças tiveram que participar de algumas oficinas, onde elas aprenderam a construir o pluviômetro e fazer a coleta correta da chuva.

### 3.2 Confeção dos Pluviômetros

Os bolsistas participaram de oficinas onde confeccionaram os pluviômetros utilizando garrafa PET, adaptando a técnica de Assunção e Assis (1997). O pluviômetro possui uma área de captação de 165 cm<sup>2</sup>, construído com tubo PVC de 35 cm de comprimento e 14,5 cm de diâmetro, acoplado, na parte superior, a uma redução de 150 para 100 mm. A base do pluviômetro é composta pela garrafa PET, e por uma torneira (registro de esfera em PVC). Teoricamente, este instrumento possui uma precisão similar ao obtido com o pluviômetro padrão, que possui uma área de captação de 400 cm<sup>2</sup>. A Figura 2 ilustra o corpo do instrumento.

Figura 2- Esboço do corpo do pluviômetro utilizado no projeto.



Cada adolescente confeccionou o seu próprio pluviômetro e aprendeu a fazer a leitura da proveta em oficinas realizadas na UFPA (Figura 3). Em alguns pluviômetros foi adaptado com uma mangueira entre a garrafa PET e o registro de esfera, para locais em que o pluviômetro teve que ser instalado em um ponto alto das casas dos bolsistas. Nessas casas não existe uma área propícia para colocar o instrumento a, pelo menos, 1,5 m de altura do solo. Ou seja, para uma boa captação da chuva pelo pluviômetro, não pode existir obstáculos muito próximos ao mesmo, como exemplo, árvores, muros, casas, etc.



Figura 3- Oficina na UFPA: (a) Confeccção do pluviômetro pelos bolsistas do projeto, (b) aprendendo a fazer a leitura da proveta.



Após a montagem do instrumento, cada bolsista o instalou nas dependências de sua residência e, diariamente às 7:00 horas, eles fazem a leitura da chuva conforme explicado a eles nas oficinas. As Figuras 4 e 5 ilustram o local onde foi

instalado o pluviômetro e o termo-higrômetro, e o bolsista fazendo a leitura da chuva.

Figura 4- (a) Pluviômetro instalado no quintal da casa da Katieli; (b) ela fazendo a leitura da chuva; (c) Termo-higrômetro instalado na casa.

### Vila Jutáí

(a)



(b)



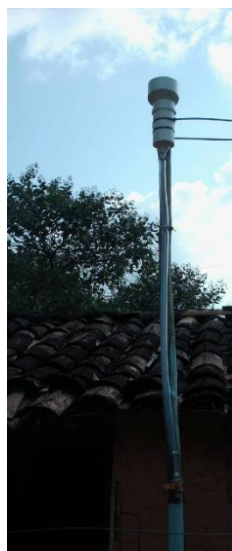
(c)



Figura 5- (a) Pluviômetro instalado na casa do Paulo Tito (com mangueira); (b) ele fazendo a leitura da chuva; (c) Termo-higrômetro instalado na casa.

### São Sebastião do Guarimã

(a)



(b)



(c)



Todo mês, geralmente no terceiro sábado, eram realizadas reuniões com os bolsistas e seus respectivos responsáveis, no laboratório de informática da

Faculdade de Meteorologia, na UFPA. Nestas reuniões, os adolescentes aprenderam a utilizar os computadores (internet, planilha Excel, e editor Word), digitar as observações realizadas durante o mês anterior, fazer gráficos e relatórios (Figura 6).

Figura 6- Digitação dos dados em planilhas eletrônicas e utilização de editor de texto.



#### 4 RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 apresenta os dizeres dos bolsistas participantes do projeto, ao escreverem as Considerações Finais no relatório, pode ser verificado que os resultados foram muito promissores, haja vista o interesse e a curiosidade científica despertado em cada bolsista, demonstrando o quanto amadureceram e desenvolveram responsabilidade social. A relevância do ambiente universitário proporcionou uma compreensão de que só com estudo e cultura eles poderão ter uma expectativa de um futuro melhor, e que apesar das dificuldades de seu dia a dia, sempre há uma luz em seus caminhos.

Tabela 2 - Parecer de alguns bolsistas sobre o projeto

(continua)

<b>Participante do Projeto</b>	<b>Dizeres</b>
L.P.S. (14 anos)	<i>Eu concluo que o projeto não beneficia apenas o “bolso” dos alunos, mais sim a mente, faz eu pensar que há outro “mundo” lá fora, e que eu não sou só mais uma moradora da Terra Firme, que é considerado um dos bairros mais perigosos de Belém, e que pode sair de lá uma das maiores cientistas de Belém. O projeto me incentiva a estudar, a ser organizada, e acima de tudo, responsável</i>
Z.B. M.	<i>Para mim o projeto mudou a minha vida porque eu passava quase a metade do dia fora de casa e hoje eu não saio quase de casa fazendo o meu trabalho da Universidade, mais quando chega a tarde eu pego a minha bola e vou para o campo jogar, mas antes disso eu já fiz o meu trabalho, e isso é muito bom porque eu aprendi a mexer no computador e eu também conheci várias pessoas, eu achei muito legal e espero que seja assim mesmo daqui para frente.</i>

(continuação)

<b>Participante do Projeto</b>	<b>Dizeres</b>
D. A. C.	<i>Durante esse um ano realizando esse projeto eu aprendi várias coisas, como: confeccionar o pluviômetro, realizar a leitura da precipitação diária, escrever relatórios e digitá-los no computador. Esse projeto foi muito importante para eu aprender um pouco sobre a variabilidade do clima de meu município, foi bem interessante.</i>
L. H. C. S.	<i>Eu gostei muito do projeto porque eu aprendi muitas coisas como: a construir o pluviômetro, coletar a água, aprendi também no termômetro ver quando a temperatura está baixa e quando está alta. Também aprendi a conviver com os meus colegas que participam do projeto junto comigo. O projeto é maravilhoso, pena que terminou, vou sentir saudades. Mas espero que volte o projeto no ano que vem para poder continuar esse maravilhoso trabalho.</i>
W. F. C.	<i>Eu gostei muito de tudo, além de ter me dado a oportunidade de entender melhor o clima de onde eu moro, esse projeto me fez pensar melhor em tudo o que está acontecendo ao redor de minha residência, com esse clima cada vez mudando em relação a cada ano.</i>
E. L. B. B.	<i>No trabalho eu gostei muito de aprender a tirar a água da chuva e medir a temperatura. Espero que tudo o que aprendi possa no futuro servir na minha vida quando estiver trabalhando. E pelo trabalho aprendi a ter mais responsabilidade que eu não tinha.</i>

(continuação)

<b>Participante do Projeto</b>	<b>Dizeres</b>
M. C. S.	<p><i>O projeto nos deu conhecimentos que não tínhamos. Os próprios aparelhos para medir a precipitação e a temperatura são provas disso. Jamais tinha escutado falar em medição de chuva, e muito menos em observação da temperatura, o que agora é primordial já que se encontra cada vez mais quente e com menos frequência de chuva. Talvez e alguns anos atrás esse tipo de informação não seria importante como nós é hoje, isso e decorrente as mudanças climáticas que é de entendimento da maioria da sociedade.</i></p> <p><i>Somou para a compreensão do clima, e principalmente as variações que hoje temos em nosso planeta. No mês que vem completaremos um ano de trabalho, de observação ao clima e de visitas a universidade, creio que tudo vá acrescentar em meu futuro.</i></p>
J. M. S. C.	<p><i>Este projeto me ajudou e me ajuda muito no meu ensino, descobrir coisas muito importantes como os aparelhos usados para medir a temperatura e o usado para medir os milímetros da chuva (termômetro e pluviômetro) que nunca tinha ouvido falar, e estão servindo muito principalmente na minha escola. Ajudou também a ter mais responsabilidade o que eu não tinha antes do projeto.</i></p> <p><i>Eu percebi nas minhas observações que o meu bairro tem uma mudança de temperatura muito rápida. Também observei que minha cidade em geral tem meses que o tempo fica muito abafado e muito calor como aconteceu agora no mês de outubro. Gostei também das reuniões aonde todos vêm digitar os seus dados observados. Gostei muito e continuo gostando desse projeto e trouxe muito ensino para mi e tenho certeza que para todos também.</i></p>

(conclusão)

<b>Participante do Projeto</b>	<b>Dizeres</b>
S. A. A.	<i>Esse trabalho foi muito bom para mim, porque aprendi muito sobre o clima, aprendi ver o pluviômetro e o termômetro. Os encontros que realizaram os professores e os colegas são muitos legais. Os professores levaram todos os alunos no mês de setembro para apresentar o nosso trabalho no Hangar, e foi muito bom eu gostei muito, e no futuro esse trabalho pode servir muito para mim.</i>

## 5 PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Do ponto de vista de produção científica, foram publicados 22 trabalhos, nos anais dos eventos científicos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Produção Científica em números

<b>EVENTO</b>	<b>QUANTIDADE DE TRABALHOS</b>
4º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária	01
III Simpósio Internacional de Climatologia	07
VI Brazilian Micrometeorology Workshop	03
XVI Congresso Brasileiro Meteorologia	08
4º Congresso Nacional de Extensão Universitária	09
V Congresso Brasileiro de Biometeorologia	01
XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia	01
XIV International Conference on Atmospheric Electricity	01
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>

Foi submetido 01 trabalho para workshop de micro e serão submetidos 06 trabalhos para o IV Simpósio Internacional de Climatologia. Além dos trabalhos, estão sendo confeccionados dois artigos para submissão em revista científica qualificada.

Os bolsistas PIBIC\_Jr participantes do projeto apresentaram os trabalhos na II Feira Estadual de Ciência e Tecnologia dentro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, realizada no período de 19 a 22 de outubro de 2009 (Figura 7). Em 2010, participaram da III Feira Estadual de Ciência e Tecnologia dentro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, no período de 18 a 20 de agosto de 2010 (Figura 8) e da Feira Internacional de Ciência e Tecnologia. Os eventos foram realizados em Belém/PA.

Figura 7- Bolsistas apresentando o trabalho na II Feira Estadual de Ciência e Tecnologia na |Semana Nacional de Ciência e Tecnologia.



Figura 8- Bolsistas apresentando o trabalho na III Feira Estadual de Ciência e Tecnologia na |Semana Nacional de Ciência e Tecnologia





## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto diminuiu a distância entre a universidade e pessoas de baixa renda, refletida em vários dizeres tantos dos bolsistas como dos responsáveis, demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Opinião sobre o projeto

<b>Responsável</b>	<b>Dizeres</b>
I.P.M mãe de P. T.	<i>Ah! professora eu nunca imaginei que um dia eu viria a conhecer a Universidade Federal do Pará em Belém, eu sempre quis conhecer, mas pensei que pessoas como nós não podíamos. E agora eu estou aqui com meu filho conhecendo e melhor ele está usando as máquinas daqui. Ela é tão bonita</i>
A.D.P. mãe de A.P.	<i>Para mim o projeto é super importante. Porque é uma ocupação a mais para o meu filho e está sendo ótimo para o aprendizado dele.</i> <i>O Projeto da Precipitação trouxe curiosidade em aprender coisas novas e é muito importante para incentivar a ser mais responsável tanto no trabalho como nos estudos.</i>
O.B. pai do M.V.B	<i>Em primeiro lugar quero cumprimentar toda a equipe comandada pela professora Aurora, pela dedicação e afeto aos alunos das escolas que estão neste projeto que é de grande importância para o aprendizado e conhecimento deles.</i> <i>Parabenizo também, os alunos pelo compromisso assumido, já que estão correspondendo com este projeto da Universidade Federal do Pará. Quem sabe num futuro próximo tenhamos aqui, alguns meteorologistas. Estes são os desejos desses pais que tem seus nesta missão. Que Deus abençoe a todos.</i>

A inclusão social, científica e digital possibilita a retirada dessas crianças das ruas e áreas de risco, mostrando-lhes que podem ter um futuro melhor e ser um grande cidadão brasileiro. Ademais, os alunos de graduação e pós-graduação, que ajudam voluntariamente no projeto, estão percebendo que através da troca do conhecimento, ninguém sai perdendo. Todos ganham de alguma forma, seja ela através do conhecimento teórico ou também do conhecimento afetivo adquirido em determinadas situações. Pois não existe maneira melhor para diminuir a solidão quer ser solidário.

No dia em que informei que o projeto tinha terminado, foi uma tristeza geral, a maioria se propôs a continuar fazer as medições mesmo sem receber a bolsa PIBIC\_Jr. e, portanto, as medidas continuam sendo feitas. Isso indica que essas pessoas querem apenas que o poder público “as enxerguem”, pois o simples fato de chegarmos até elas já é uma vitória, assim não se sentem abandonadas e esquecidas nos lugares longínquos onde moram. Ou mesmo, na situação de risco em que se encontram, bastando apenas que alguém lhes estenda a mão. Pretendo continuar o projeto mesmo sem os recursos necessários pois só assim podemos ter no futuro um País melhor e desenvolvido.

O projeto também teve repercussão na mídia, foram feitas várias entrevistas e programas com a participação dos bolsistas, o que os deixava bastantes felizes, como podemos ver no relato do bolsista M.V.B; *“Eu queria dizer que o projeto abriu os meus olhos para o futuro, agora posso pensar melhor no que ser quando crescer. Além disso, minha vida pessoal mudou um pouco, principalmente nos estudos. Na rua de casa todos perguntam o que é um pluviômetro e eu explico, todos se admiram, até minha família fica feliz. Ao longo do projeto participei de várias oficinas, palestras e participamos das feiras de ciências e tecnologia, e mais, nos apresentamos na TV Liberal, TV Cultura e TV Record. Eles gostaram muito do nosso projeto”*.

A Figura 9 apresenta um grupo de bolsistas com a camiseta do projeto, doada pela Prefeitura de Belém.

Figura 9 - Bolsistas com a camiseta do Projeto.



Os resultados científicos foram muitos bons, e no momento a UFPA possui um banco de dados inédito sobre a precipitação e temperatura de várias localidades onde não são efetuadas medidas pelos órgãos oficiais.

## REFERÊNCIAS

ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, part I. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, p. 674-701, 1974.

ASSUNÇÃO, H. F.; ASSIS, I. C. Construção de uma mini-estação agroclimatológica de baixo custo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Anais[...]** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP, 1997. p.237-239.

CARVALHO, A. M. G. **Conexões sobre entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. 1989. 189 f. Dissertação (Mestrado) - (INPE 4923-TDL 283). São José dos Campos, 1989.

MOTA, M. A. S.; NOBRE, C. A. Relação da variabilidade da energia potencial convectiva disponível (CAPE) com a precipitação e alta da Bolívia durante a campanha "Wet-AMC/LBA". **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p.344-355, dez. 2006.

NOBRE, C. A. **Tropical heat sources and their associated large-scale atmospheric circulation**. 1983. 297f. (Phd. Thesis) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1983.

RENNÓ, N. O.; INGERSOLL, A. P. Natural convection as a heat engine: a theory for CAPE. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 53, n. 4, p. 572-585, 1996.

SANTOS, I. A. **Variabilidade da circulação de verão da alta troposfera na America do Sul**. 1986. 95f. Dissertação (Mestrado) - USP, São Paulo, 1986.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science: an introduction survey**. New York: Academic Press, 2006. 483p.

WILLIAMS, E.; RENNO, N. An analysis of the conditional instability of the tropical atmosphere. **Monthly Weather Review**, v. 121, n. 1, p.21-36, 1993.

YAO, M-S.; DEL GENIO, A. D. Effects of cloud parameterization on the simulation of climate changes in the GISS GCM. **Journal of Climate**, v. 12, n. 3, p. 761-779, 1999.

ZAWADZKI, I.; RO, C.U. Correlations between maximum rate of precipitation and mesoscale parameters. **Journal Applied Meteorology**, v.17, n. 9, p. 1327-1334, 1978.

ZAWADZKI, I.; RO, C. U.; TORLASCHI, E.; SAUVAGEAU, R. The relationship between mesoscale thermodynamic variables and convective precipitation. **Journal Atmospheric Sciences**, v.38, p. 1535-1540, 1981.

ZHANG, C.; CHOU, M-D. Variability of water vapor, infrared radiative cooling, and atmospheric instability for deep convection in the equatorial western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, n. 5, p. 711- 723, 1999.