



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

CLAUDIA ALICIA MARÍN PÉREZ

**ESTUDO DO MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO
PROPORCIONADO POR CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES
URBANAS DO MUNICÍPIO DE GURUPI, TO.**

**GURUPI - TO
2017**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

CLAUDIA ALICIA MARÍN PÉREZ

**ESTUDO DO MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO
PROPORCIONADO POR CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES
URBANAS DO MUNICÍPIO DE GURUPI, TO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. André Ferreira dos Santos

**GURUPI - TO
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

P438e Pérez, Claudia Alicia Marín .
Estudo do Microclima e Conforto Térmico Proporcionado por Cinco
Espécies de Árvores Urbanas do Município de Gurupi, TO. / Claudia
Alicia Marín Pérez. – Gurupi, TO, 2017.
67 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2017.

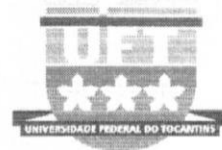
Orientador: André Ferreira dos Santos

1. Arborização urbana. 2. Sombreamento. 3. Índice de calor. 4.
Carta Bioclimática de Olgay. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

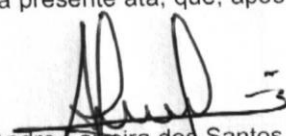


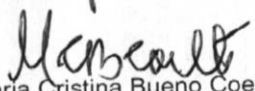
Defesa nº 036/2017

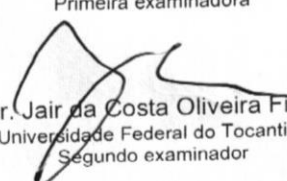
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CLAUDIA ALICIA MARIN PEREZ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 21 dias do mês de março do ano de 2017, às 14 horas, na sala 01, do edifício CeMAF, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. ANDRE FERREIRA DOS SANTOS da Universidade Federal do Tocantins, Profª Drª MARIA CRISTINA BUENO COELHO da Universidade Federal do Tocantins e Prof Dr JAIR DA COSTA OLIVEIRA FILHO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de CLAUDIA ALICIA MARIN PEREZ, intitulada "**Estudo do microclima e conforto térmico proporcionado por cinco espécies de árvores urbanas do município de Gurupi - TO**". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-a ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

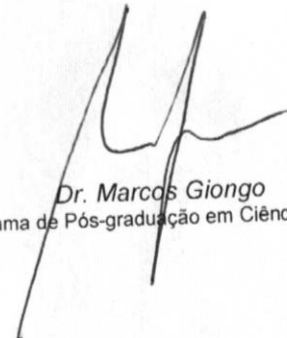
Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Dr. Andre Ferreira dos Santos
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora


Drª. Maria Cristina Bueno Coelho
Universidade Federal do Tocantins
Primeira examinadora


Dr. Jair da Costa Oliveira Filho
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador

Gurupi, 21 de março de 2017.


Dr. Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Ferreira dos Santos, pela orientação e compreensão durante estes dois anos.

Ao Prof. Dr. Jair Da Costa Oliveira Filho e á Dr.^a Maria Cristina Bueno Coelho, pelas contribuições nesta dissertação.

Ao Dr. Mauricio Cesaretti, pelas contribuições e sugestões para a melhoria desta tese assim como na análise dos dados.

À equipe de campo os quais acompanharam durante o trabalho e entre outras coisas, (Liliana, Allan e Layla).

Sou grata ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, e aos professores do programa, que contribuíram na minha formação (André Ferreira dos Santos; Marcos Vinicius Giongo; Valdir Carlos Lima de Andrade; Cristiano Bueno de Moraes; Antônio Carlos Batista; Eduardo Andrea Lemus Erasmo; Augustus Caeser Franke).

Minha gratidão ao conselho nacional de ciência e tecnologia do México (CONACYT), pela bolsa de estudos, assim como também às instituições que fizeram possível minha estadia no Brasil (Embaixada do México em Brasil, e o Instituto Tecnológico Nacional do México (TecNM)).

Aos pilares da minha vida: minha família, pelo apoio, incentivo e amor, apesar da distância, meus pais amados Alicia Pérez e Francisco Marín, assim também para meu irmão Omar Marín, minha avó Carmelita e tios (Aracely, Moises, Lucy, Gabriel e Alfonso) pelo apoio e incentivos. Ao meu querido esposo que é meu companheiro e amigo, fonte de minha admiração pela motivação e inspiração.

Para vocês tudo meu afeto e dedicação !Muito Obrigada!

“A floresta é um organismo de bondade e benevolência infinitas que não faz qualquer exigência para seu sustento e espalha generosamente os frutos da sua atividade vital. Ela fornece proteção a todos os seres e oferece sombra até mesmo ao lenhador que a destrói.”

Buda

RESUMO

A vulnerabilidade ao estresse térmico, uma das principais causas do desconforto humano, pode ser um dos elementos chaves, nos centros urbanos em regiões de climas quentes. Neste cenário, a arborização urbana é considerada uma das ferramentas na mitigação deste efeito, sobre o ambiente urbano. Para tal efeito, esta ferramenta precisa de maior informação sobre a consequência que as árvores produzem nas imediações em termos de redução do estresse térmico e sobre a variabilidade deste efeito com as espécies e as estações do ano. Neste trabalho objetivou-se caracterizar e analisar o microclima e o conforto térmico, nas imediações de cinco espécies de árvores *Pachira aquática* Aubl.(Monguba); *Mangifera indica* L.(Mangueira); *Caesalpinia pluviosa* DC.(Sibipiruna); *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo vermelho) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti), localizadas no setor central de Gurupi, Tocantins no ano 2016. As variáveis microclimáticas consideradas foram: temperatura, umidade relativa, e velocidade do vento, registradas através de uma estação meteorológica portátil, marca *Skymaster*, modelo SM-28, às distâncias: 0 m (sombra), 5 m, 10 m e 15 m (sol) do fuste da árvore, nos horários 10:00 h, 12:00 h e 14:00 h. A caracterização do conforto térmico se baseou no índice de calor e na carta bioclimática de Olgay adaptada a climas quentes. Todas as variáveis foram consideradas no espaço atingido pelo efeito da árvore e analisadas estatisticamente. Com respeito ao índice de calor, a média do estudo foi de $34 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ categorizado como “cuidado extremo”, ao passo que no período úmido dos meses outubro e dezembro a média esteve próxima à categoria: “cuidado”. Também se observaram atenuações de temperatura de $0,5^{\circ}\text{C}$ e de 2°C entre a sombra e o sol, com probabilidades de 0,76 e 0,53, respectivamente. Das espécies estudadas, a Mangueira foi a que mais contribuiu para atenuações de $0,5^{\circ}\text{C}$ ($p=0,92$) e de 2°C ($p=0,67$). O período seco foi analisado particularmente por ser considerado crítico termicamente, encontrando-se destaque das espécies Oiti, Mangueira e Sibipiruna. Com relação ao conforto térmico, pela carta de Olgay mostrou-se que na sombra o conforto pode ser atingido desde que tenha ventos superiores aos 1ms^{-1} . Pelos resultados podem-se inferir efeitos positivos de todas as árvores presentes na arborização urbana com as características das espécies estudadas.

Palavras-chave: arborização urbana; sombreamento; índice de calor; carta bioclimática de Olgay.

ABSTRACT

The vulnerability to thermal stress, one of the main causes of human discomfort, may be one of the key elements in urban centers in hot climates. In this scenario, the urban forestry is considered one of the tools for mitigating this effect, in the urban environment. For this purpose, this tool needs for more information about the consequence that the trees produce in the vicinity in terms of reduction of thermal stress and on the variability of this effect with the species and the seasons of the year. The objective of this work was to characterize and analyze the microclimate and the thermal comfort, in the vicinity of five tree species *Pachira aquática* Aubl.(Monguba); *Mangifera indica* L.(Mangueira); *Caesalpinia pluviosa* DC.(Sibipiruna); *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo vermelho) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti), located in the central sector of Gurupi, Tocantins in the year 2016. The considered microclimatic variables were: temperature, relative humidity, and wind speed; recorded through a portable weather station, brand Skymaster, Model SM-28, at distances: 0 m (shade), 5 m, 10 m and 15 m (sun) from the shaft of the tree, at 10:00 h, 12:00 h and 14:00 h. The characterization of thermal comfort was based on the heat index and Olgay's bioclimatic chart adapted for hot climates. All variables were considered in the space affected by the tree effect and analyzed statistically. Regarding the heat index, the mean of the study was $34 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$, categorized as "extreme caution", while in the wet period from October to December the average was close to the category: "caution". There were also observed attenuations of 0.5°C and 2°C between the shade and the sun, with probabilities of 0.76 and 0.53, respectively. Of the studied species, Mangueira contributed the most to attenuations of 0.5°C ($p=0.92$) and 2°C ($p=0.67$). The dry period was analyzed particularly as being considered thermally critical, with prominence of the species Oiti, Mangueira and Sibipiruna. Regarding the thermal comfort it was shown by the chart of Olgay that in shade comfort can be reached providing winds higher than 1ms^{-1} . From the results can be inferred positive effects of all the trees present in the urban arborization with the characteristics of the studied species.

Keywords: urban forestry; shading; heat index; Olgay's bioclimatic chart.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	9
2	CAPÍTULO 1: EFEITO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO ÍNDICE DE CALOR DO ESPAÇO CIRCUNDANTE SOB NO MUNICÍPIO DE GURUPI, TOCANTINS.	13
2.1	INTRODUÇÃO	14
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.2.1	Área de estudo	15
2.2.2	Seleção dos indivíduos arbóreos.....	16
2.2.3	Seleção dos locais de medição.....	19
2.2.4	Coleta dos dados.....	20
2.2.5	Medição dos parâmetros ambientais.....	20
2.2.6	Análise estatística	23
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
2.3.1	Análise geral dos dados.....	25
2.3.2	Variação sazonal.....	26
2.3.3	Variação na hora	27
2.3.4	Variação na distância	30
2.4	CONCLUSÃO	32
2.5	REFERÊNCIAS.....	33
3	CAPITULO 2: EFEITO MICROCLIMÁTICO E CONFORTO TÉRMICO NAS PROXIMIDADES DE CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES DO SETOR CENTRAL DA CIDADE DE GURUPI, TOCANTINS.....	37
3.1	INTRODUÇÃO	38
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.2.1	Seleção das espécies arbóreas.....	40
3.2.2	Seleção dos locais de medição.....	41
3.2.3	Medição dos parâmetros ambientais e conforto térmico	42
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
3.3.1	Análise dos dados	49
3.3.2	Conforto térmico.....	56
3.4	CONCLUSÃO	58
3.5	REFERÊNCIAS.....	59
4	CONCLUSÕES.....	62
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS CONSIDERADAS PARA O ESTUDO.	17
TABELA 2: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS INDIVÍDUOS ARBÓREOS CONSIDERADOS PELO ESTUDO.	18
TABELA 3: DIAS E HORA DA AMOSTRAGEM.	20
TABELA 4: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PORTÁVEL SKYMASTER.	22
TABELA 5: VALORES DE ÍNDICE DE CALOR ELABORADO PELA NOAA (2017).	23
TABELA 6: MÉDIA DOS VALORES PARA SUA COMPARAÇÃO POR ESTAÇÃO COM INCERTEZAS-PADRÕES.	26
TABELA 7: MÉDIAS HORÁRIAS NOS GRUPOS DAS 10 H, 12 H E 14 H PARA O ANO 2016 INDICANDO A INCERTEZA-PADRÃO COMBINADA DE CADA MÉDIA E O RESULTADO DO TESTE T, A <i>POSTERIORI</i>	27
TABELA 8: MÉDIAS DO ÍNDICE DE CALOR EM SOMBRA E SOL POR ESPÉCIES DO ANO 2016 E AS DIFERENÇAS COM AS RESPECTIVAS INCERTEZAS.	28
TABELA 9: VALORES MÉDIOS DE DIFERENTES RAIOS DE COPA PARA O ANO 2016.	29
TABELA 10: VALORES MÉDIOS A DIFERENTES DISTÂNCIAS	31
TABELA 11: NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990) PARA O MUNICÍPIO DE PEIXE, TO.	40
TABELA 12: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS INDIVÍDUOS ARBÓREOS CONSIDERADOS PELO ESTUDO.	41
TABELA 13: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PORTÁVEL SKYMASTER.	44
TABELA 14: VALORES DA MÉDIA (M), ERROS EXPERIMENTAIS (E), HIPÓTESES DE SEQUÊNCIA (HS) E DE DESIGUALDADE (HD) DE TEMPERATURA DO AR (TA, °C), UMIDADE RELATIVA DO AR (URA, %) , TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE (TRM, °C) E CARGA TÉRMICA RADIANTE (CTR, Wm^{-2}) OBTIDOS PARA OS EXEMPLARES DE ÁRVORES AVALIADOS NOS DIAS DA COLETA.	50
TABELA 15: VARIAÇÃO RELATIVA PERCENTUAL (VR%) DA ATENUAÇÃO DA VARIÁVEL AMBIENTAL TA POR CADA ESPÉCIE DE ÁRVORE E POR CADA HORÁRIO ESTIMADA COM A EQUAÇÃO 12 E CALCULADA EM RELAÇÃO À POSIÇÃO 15 M (SOL) PARA A POSIÇÃO 0 M, POSIÇÃO 5 M E POSIÇÃO 10 M.	53
TABELA 16: TEMPERATURA (TA) E UMIDADE RELATIVA (URA) DAS ESPÉCIES DE ÁRVORES <i>L. TOMENTOSA</i> (OITI) E <i>C. PLUVIOSA</i> (SIBIPIRUNA) PARA COMPARAR EMPREGANDO OS CRITÉRIOS OLGAY PARA O CONFORTO TÉRMICO.	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO COM O SETOR CENTRAL DA CIDADE DE GURUPI, TOCANTINS. ADAPTADO: (GURUPI, 2017).	16
FIGURA 2: LOCALIZAÇÃO DAS ÁRVORES SELECIONADAS NO ESTUDO (1-15). EM VERDE AS AMOSTRAS CUJOS NÚMEROS CORRESPONDEM AOS NÚMEROS DA ÁRVORE NA TABELA 2. EM VERMELHO A PREFEITURA MUNICIPAL DE GURUPI (PM) E ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA (A019). ADAPTADO: GOOGLE EARTH (2017).	19
FIGURA 3: ILUSTRAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS, EM RELAÇÃO À MEDIÇÃO DA ÁRVORE, NO SENTIDO DA RUA (FONTE: AUTOR).	21
FIGURA 4: PORCENTAGEM DE ESTRESSE TÉRMICO SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO DA NOAA. FONTE: AUTOR.	27
FIGURA 5: VARIAÇÃO TÉRMICA EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DA ÁRVORE. (FONTE: AUTOR).	32
FIGURA 6: CARTA BIOCLIMÁTICA DE OLGAY PARA HABITANTES DE REGIÕES DE CLIMA QUENTE, EM TRABALHO LEVE, VESTINDO 1 “CLO”	48
FIGURA 7: MÉDIAS DE TEMPERATURA DO AR CONSIDERANDO OS RAIOS DE INFLUÊNCIA E OS HORÁRIOS DETERMINADOS A PARTIR DO FUSTE À 0 M (SOMBRA), 5 M, 10 M E 15 M (SOL) PARA AS ESPÉCIES DE ÁRVORES DE <i>L. TOMENTOSA</i> (OITI) E <i>C. PLUVIOSA</i> (SIBIPIRUNA).	54
FIGURA 8: VARIAÇÕES RELATIVAS PERCENTUAIS (VR%) DAS MUDANÇAS DE TEMPERATURA DO AR (TA) A PARTIR DA COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS A SOMBRA, A 5 M E A 10 M COM RESPEITO AO SOL (15 M DO FUSTE) PARA AS ESPÉCIES DE ÁRVORES <i>L.</i> <i>TOMENTOSA</i> (OITI) E <i>C. PLUVIOSA</i> (SIBIPIRUNA).	55
FIGURA 9: CARTA BIOCLIMÁTICA DE OLGAY (1968) ADAPTADA PARA CLIMA QUENTE, EM TRABALHO LEVE, VESTINDO 1 “CLO” (0,155m ² °C-1. W-1), COM A PLOTAGEM DOS VALORES DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR PARA <i>L. TOMENTOSA</i> (OITI) E <i>C. PLUVIOSA</i> (SIBIPIRUNA). PONTOS: NC (AZUL) CORRESPONDE ÀS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS; IM (ROXA) CORRESPONDENTE AO VALOR INMET; O1-4 (VERMELHO) CORRESPONDENTE AOS PONTOS SOL E SOMBRA PARA AS 10 H E 14 H DA ESPÉCIE OITI; S1-4 (VERDE) CORRESPONDENTE AOS PONTOS SOL E SOMBRA PARA AS 10 H E 14 H DA ESPÉCIE SIBIPIRUNA.	57

1 INTRODUÇÃO GERAL

Desde sua origem o homem questiona-se sobre como controlar o entorno e criar condições adequadas às suas necessidades e ao desenvolvimento de suas atividades. Ao longo do tempo, ele tem procurado na construção de seu refúgio e dos espaços para as suas atividades, satisfazer necessidades básicas como a proteção frente a climas adversos como o frio, o calor, o vento, a chuva e o sol, e a provisão de espaços dotados de atmósferas favoráveis para as suas atividades. Por outro lado, o homem no desenvolvimento das suas atividades tem também alterando negativamente seu entorno, desafiando o conforto nos espaços adaptados.

Uma destas consequências antropogênicas é a crescente urbanização mundial e a criação de focos urbanos muito povoados. No Brasil este fenômeno aconteceu através do êxodo rural, onde o homem deixou o campo e veio para as cidades o que ocorreu no século XX impulsionado pelo surgimento das indústrias (SILVA, 2016). Atualmente este fenômeno é comprovado, onde quase as totalidades das pessoas vivem nas cidades. No censo correspondente ao ano 2010, Brasil teve o 84% de sua população habitando em zonas urbanas e, ao passo que a cidade de Gurupi, onde se realizou o este trabalho, tem o 97% da população morando na zona urbana (IBGE, 2010).

Um dos principais fenômenos da urbanização frente à ocupação das cidades é a variação microclimática que via o efeito da Ilha de calor urbana ¹(ICU), a qual indica uma considerável concentração de calor nas áreas mais centrais do que nas periféricas das cidades (OKE, 1988, EPA, 2009, CÓRDOVA, 2011). Isto ainda assume maior importância nas cidades que apresentam climas quentes caracterizados por grandes períodos de estiagem, como é o caso da cidade de Gurupi do Estado de Tocantins.

Neste cenário é evidente que o atual planejamento urbano não pode amortecer os impactos climáticos como as ruas da cidade. Isto leva ao questionamento sobre a sustentabilidade atual das cidades (SIEBERT, 2012). Em resposta a isto, no Brasil, o governo federal em colaboração com a sociedade civil, o setor privado e governos estaduais, entre estes o governo do estado de Tocantins,

¹ ICU: a ilha de calor atmosférica é definida a partir da diferença de temperatura do ar observada dentro da área urbana ou em comparação com a área rural (FIALHO, 2012).

elaboraram o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA). Este Plano tem como objetivo a promoção da redução da vulnerabilidade nacional à mudança do clima e a realização da gestão do risco associada a esse fenômeno. Entre suas estratégias se encontram a identificação da exposição do país a impactos atuais e futuros com base em projeções de clima, a identificação e análise da vulnerabilidade á esses possíveis impactos e a definição de ações e directrizes que promovam a adaptação voltada para cada setor.

Um dos setores abordados neste plano são as cidades. Entre as ações voltadas à promoção da adaptação neste setor, o desenho urbano bioclimático interessa pelas diferentes vantagens como a sustentabilidade, a eficiência energética e a inclusão das características climáticas do entorno e da biologia do homem. Estes dois últimos aspectos revestem de notável e atual importância na definição e na obtenção do conforto térmico² humano, ou seja, a manifestação subjetiva de satisfação com o ambiente térmico existente (MONDELO et al., 2001).

O estresse térmico humano, ou seja, as agressões intensas por calor ao organismo humano é a principal causa de declínio do conforto térmico e também pode ser considerado um dos impactos do qual o plano pretende conhecer a exposição e identificar a vulnerabilidade para poder, conseqüentemente, definir ações de adaptação. Assim sendo, caracterizar e estudar o estresse térmico em diferentes tipos de espaços urbanos não é só de interesse científico mais também político, económico e social.

Entre os elementos climáticos responsáveis pelo conforto ou pelo estresse térmico os principais são a temperatura, a umidade e a movimentação do ar, e a radiação solar. A regulação destes os níveis aceitáveis de conforto é de vital importância para poder definir ações de adaptação sobre o impacto do estresse térmico. Portanto, definir e caracterizar ferramentas ou elementos reguladores é também importante.

Segundo Lin et al., (2010) a sombra e o vento podem melhorar as condições de conforto térmico nos climas tropicais. Dentre os métodos para melhorar as mudanças climáticas, e melhorar a qualidade de vida do homem encontra-se a arborização urbana como um dos métodos mais naturais e prometedores pelos diversos serviços ambientais oferecidos.

² Conforto térmico: É definido como uma condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico circunjacente (MONDELO et al., 2001).

As copas das árvores podem contribuir na condição microclimática nas imediações através de diversos meios. Elas podem interceptar a radiação solar por meio dos mecanismos de reflexão, transmissão e absorção o que leva à redução da irradiação embaixo das árvores.

Elas podem alterar a velocidade do vento, graças aos mecanismos da evapotranspiração e da fotossíntese, podem gerar e manter certos níveis de umidade e sequestrar o dióxido de carbono. Grey e Deneke (1986) asseguram que uma árvore isolada pode transpirar em geral 380 litros de água em um dia, o que equivale a cinco aparelhos de ar condicionado trabalhando em paralelo por quase vinte horas.

Assim sendo, as árvores servem na captura de carbono (gás do efeito estufa), na regulação da temperatura, na provisão da qualidade e quantidade da água e geração de oxigênio. A regulação da temperatura e da umidade nas imediações das árvores para melhorar o conforto térmico humano reveste também importância e precisa de um melhor entendimento nos fundamentos para otimizar sua utilização (SUCOMINE et al., 2009).

Outro serviço ambiental de recente interesse é o emprego das árvores como barreira eletromagnética perante a poluição eletromagnética, e particularmente na blindagem de ondas de rádio e micro-ondas (ALI et al., 2014; AVILÉS e CHAPARRO 2010).

O planejamento da arborização urbana é uma das medidas mais eficientes para promover mudanças principalmente no microclima urbano. Na atualidade este leva em consideração diferentes critérios, entre os quais se têm a forma e a disposição das raízes e da copa, a estética, a altura da árvore adulta, e outros. Não obstante, na prática não se tem considerado o conforto térmico urbano como parte dessa análise (FERREIRA e HERRMAN, 2016) e também se devem considerar as ilhas de calor que possuem maior necessidade da concentração de vegetação (LEAL, 2012).

De acordo com Santos e Teixeira (2001), embora a arborização, não possa controlar totalmente as condições de desconforto, ela pode, eficientemente, abrandar a sua intensidade, proporcionar índices mais altos de umidade relativa do ar, e reduzir a temperatura ambiente.

Pandit e Laband (2010) afirmam que o uso da arborização pode proporcionar significativas reduções no consumo energético dos sistemas de

resfriamento dos ambientes construídos. Assim sendo, a caracterização dos efeitos das árvores urbanas dos pontos de vista da microclimatologia e do conforto térmico humano é importante para o desenho urbano de acordo com o plano PNA e pode ajudar em futuras elaborações de Planos Diretores de Arborização Urbana das diferentes cidades.

As motivações deste trabalho são ajudar em futuros estudos que fundamentem ainda mais a regulação microclimática das árvores nas cidades e de como estas trazem benefícios no conforto térmico do homem. Além disto, outra motivação é que estes estudos ajudem na elaboração de ações voltadas à adaptação à mudança do clima.

Assim sendo, o presente trabalho objetivou caracterizar e analisar o microclima e o conforto térmico nas imediações de árvores tropicais das ruas da cidade de Gurupi, Tocantins durante o ano 2016. A caracterização microclimática abrangeu as variáveis: temperatura, umidade e movimentação do ar no espaço atingido pelo efeito da árvore e foi analisada estatisticamente. A caracterização do conforto térmico, no mesmo jeito, se baseou em índices de conforto ou em outras ferramentas de análise no mesmo espaço.

Além de caracterizar e analisar o microclima e o conforto térmico, neste trabalho se provou a seguinte hipótese: A arborização de ruas afeta positivamente no conforto térmico dos cânions urbanos³ proporcionando melhores condições no bem-estar térmico humano.

³ É a rua ou avenida, que compreendendo edifícios em ambos os lados, os quais dão uma configuração de cânion (NAKATA-OSAKI et al., 2016)

2 CAPÍTULO 1: EFEITO DE ESPÉCIES ARBÓREAS NO ÍNDICE DE CALOR DO ESPAÇO CIRCUNDANTE SOB NO MUNICÍPIO DE GURUPI, TOCANTINS.

RESUMO

A arborização urbana é uma importante ferramenta para mitigar o desconforto térmico é cada vez mais considerada no desenho bioclimático. No Brasil, são poucos os estudos que trabalham com o Índice de Calor como ferramenta para diagnosticar o desconforto, embora sejam vários aqueles que têm tal índice como algo a ser avaliado. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar o Índice de Calor com base na caracterização e análise da variabilidade de imediações das seguintes espécies arbóreas: *Pachira aquática* Aubl. (Monguba), *Mangifera indica* L. (Mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo roxo) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti), existentes no setor central da cidade de Gurupi, Tocantins, durante todo o ano 2016. Na análise empreendida, foi possível observar as variações advindas dos raios de copa, bem como as variações sazonais e horárias. Os registros foram feitos a 0 m, 5 m, 10 m e 15 m da fusta da árvore, em horários próximos às 12 h e durante todo um ano, evidenciando as variações da variável por meio de tabelas e gráficas. Os resultados apontaram efeitos positivos das árvores para todas as espécies nas características estudadas, com atenuação média de 2^o C e com destaque para a espécie Mangueira e as árvores de copa grande. No entanto, as incertezas reportadas foram muito significativas. Encontrou-se um estresse térmico médio muito elevado ao nível de “cuidado extremo”, segundo o critério da *National Oceanic & Atmospheric Administration*, onde, no período úmido, o estresse se encontra próximo ao nível “cuidado”.

Palavras-chaves: Arborização urbana; Temperatura; Umidade relativa; Conforto térmico.

EFFECT OF TREE SPECIES ON THE HEAT INDEX OF THE SURROUNDING SPACE IN THE MUNICIPALITY OF GURUPI, TOCANTINS.

ABSTRACT

Urban forestry is considered more and more a good tool to mitigate the thermal discomfort in the context of bioclimatic design. In Brazil, there are few known studies reporting uncertainties and that work with the heat index as a tool to diagnose the discomfort, however there are several studies present in the literature evaluating it. In this work heat index is recorded and evaluated at different in relation to five tree species *Pachira aquática* Aubl. (Monguba), *Mangifera indica* L. (Mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo roxo) and *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) existent in the central sector of the city of Gurupi-TO. The records were made at 0 m, 5 m, 10 m and 15 m from the tree trunk, in hours close to 12 h and during the whole year, and were studied the attenuations of the variable through tables and graphics. The results

showed the good effects of the trees in the studied characteristics; however the reported uncertainties were very significant. The comparison of the results obtained in field with the adopted criterion of comfort showed a positive influence of the tree species studied in the improvement of thermal comfort in the surrounding space.

Keywords: Urban forestry, temperature; relative humidity; thermal comfort.

2.1 INTRODUÇÃO

No redesenho das áreas urbanas para a melhoria no conforto térmico humano, vale destacar a arborização urbana como um enfoque promissor por os serviços ambientais ofertados. Destes, o controle para a regulação da temperatura reveste grande importância e necessita de um melhor entendimento dos fundamentos sobre como as árvores ajudam na regulação térmica.

Diante a necessidade de geração e soluções para diminuir os impactos microclimáticos proporcionados pela ação antropogênica, que é uma das causas da crescente processo de urbanização no mundo, a arborização desempenha benefícios ligados aos parâmetros climáticos, acarretando variações térmicas favoráveis para o conforto térmico do homem – ação considerada como um regulador climático (SUCOMINE et al., 2009).

A cidade de Gurupi, Tocantins apresenta um 97% de sua população habitando em zonas urbanas (IBGE, 2010). Neste contexto, o atual planejamento urbano não logrou amortecer os impactos climáticos, como são os espaços exteriores (as ruas das cidades), levando ao questionamento sobre a sustentabilidade atual dos Municípios (SIEBERT, 2012).

Além disso, o Brasil apresenta um clima tropical e se situa em uma das áreas de máxima recepção de energia solar do planeta, conferindo-lhe aspectos particulares (MENDOÇA; DANNI, 2007).

Um dos principais fenômenos da urbanização que manifesta a variação microclimática é o efeito da Ilha de Calor Urbana (ICU), que indica consideravelmente maior concentração de calor nas áreas concêntricas do que nas áreas periféricas (CÓRDOVA, 2011; EPA, 2009; OKE, 1988). Tal fenômeno ainda assume maior importância nas cidades afetadas por climas caracterizados por grandes períodos de estiagem e altas temperaturas, como é o caso de Gurupi. Uma arborização adequada nas cidades comprova a melhoria na sensação de bem estar nas pessoas (GOMES; SOARES, 2003; SHAMS et al., 2009).

A ICU, no contexto de climas quentes, pode produzir efeitos adversos no ser humano. Tal condição pode ser estudada com a ajuda do Índice de Calor (IC). Este estima a temperatura sentida pelo indivíduo no entorno definido por certa temperatura e umidade do ar, bem como por outros elementos e, por conseguinte, pode ajudar a estimar o desconforto térmico sentido. O IC resulta de investigações sobre o clima e seus efeitos sobre o corpo humano, principalmente na biometeorologia, e tem por base as relações pré-estabelecidas que descrevam o intercâmbio de calor entre o corpo humano e o entorno (NOAA, 2017)

Diante do exposto, o presente estudo pretendeu conhecer a situação atual de desconforto humano no setor central do Município de Gurupi por meio do IC, além de estudar a contribuição das árvores urbanas na diminuição do desconforto do homem. Nesta perspectiva, as linhas que se seguem buscaram avaliar a relação de diferentes portes de árvores, comparando os cenários de floresta urbana em cinco espécies representativas na arborização urbana da localidade em questão.

Para tanto, formulou-se a seguinte hipótese: A arborização dos cânions afeta o índice de calor no espaço imediato e proporciona melhores condições no bem-estar térmico humano.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A cidade de Gurupi, é a terceira maior cidade do Estado de Tocantins, situa-se nas coordenadas 11° 43' S e 49° 04' O, com altitude média de 287 metros (SEPLAN, 2013) (Figura 1). Esta possui um clima quente e semiúmido com período seco bem definido na classificação de Thornthwaite¹: C2wA'a'.

⁴ Escolheu-se a classificação climática de Thornthwaite pela sua robustez em relação a outros sistemas (ÁVILA, 2016).

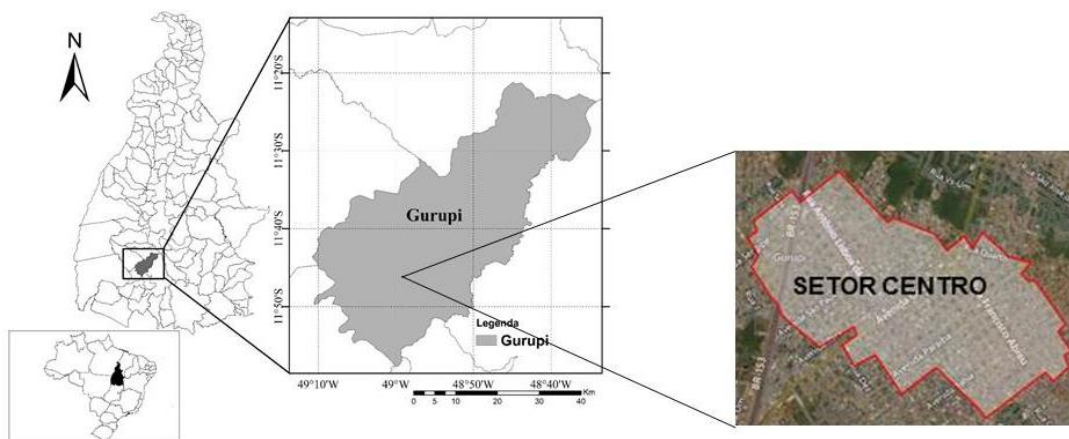


Figura 1: Localização do município com o setor central da cidade de Gurupi, Tocantins. Adaptado: (GURUPI, 2017).

O mês de abril é considerado por alguns autores como um mês do período úmido (NORONHA; PIRES, 2013), mas registros da estação meteorológica automática de Gurupi, de 2016 (INMET, 2016), apontam baixas umidades e altas temperaturas típicas do período seco. Consequentemente, o período seco aqui considerado abrange os meses de abril e julho, e úmido de outubro e dezembro.

A temperatura média anual é de 26°C, com uma precipitação média anual é de 1600 mm (PMAE, 2013).

O clima de Gurupi, igual a outras cidades, tem passado por mudanças, como consequência do crescimento populacional e do aumento da distribuição populacional ali identificado. A população estimada para Gurupi, em 2016, foi de 84.628 habitantes, sendo 76.744 habitantes morando em zonas urbanas (IBGE, 2016).






2.2.2 Seleção dos indivíduos arbóreos

No presente estudo, as espécies foram selecionadas considerando a sua ocorrência nas regiões tropicais, nos biomas brasileiros e a partir de sua utilização para arborização urbana do setor central de Gurupi. Recentes estudos feitos pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) sobre a biodiversidade na arborização urbana em Gurupi têm mostrado superior predomínio das seguintes espécies: *Pachira aquática* Aubl. (Monguba), *Mangifera indica* L. (Mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo

vermelho) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) (SANTOS et al., 2016; SILVA, 2016; SANTOS et al., 2013; SILVA, 2012; SANTOS; SILVA, 2011).

Neste sentido, para o presente estudo, foram escolhidas as seguintes espécies: Oiti, Mangueira, Monguba, Sibipiruna e Jambo. Estas não apresentam mudas de folhas durante todo o ano, ou seja, são perenes, e suas características gerais encontram-se expressas na (Tabela 1).

Tabela 1: Principais características das espécies arbóreas consideradas para o estudo.

Foto	Especie	Nome comun	Características gerais
	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nativa de Brasil ✓ Copa: Frondosa e arredondada ✓ Uso: Ornamental e sombra
	<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nativa de Brasil ✓ Copa: Densa e arredondada ✓ Uso: Ornamental
	<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Monguba	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nativa de Brasil ✓ Copa: Densa e arredondada ✓ Uso: Sombra
	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Jambo vermelho	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exótica, da Ásia ✓ Copa: Densa ✓ Uso: Ornamental, comestível e sombra
	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exótica, da Ásia ✓ Copa: Densa e arredondada ✓ Comestível e sombra

Fonte: BFG 2015; SOTHERS et al., 2015; DUARTE, M.C. 2015; PARROTTA, 1993; LORENZI, 1998.

Tais dados resultaram em um estudo bibliográfico que compreendeu as seguintes fontes: Sothers et al. (2015), Duarte (2015), BFG 2015, Lorenzi (1998) e Parrotta (1993). Estes serviram para conhecimento e melhor escolha dos indivíduos exemplares das espécies em estudo.

Foram escolhidos três indivíduos arbóreos por espécie com dados morfológicos semelhantes e que cumprissem uma série de condições de local mencionadas no seguinte item. Os dados morfológicos característicos tem evidência na (Tabela 2), fazendo em total 15 indivíduos arbóreos espalhados ao longo do setor central.

Destes, os parâmetros considerados foram: diâmetro à altura do peito que foi calculado por o (CAP), a altura total (AT) e o raio da copa da árvore. Neste último, foi considerado o raio médio (RM), que foi calculado conforme a equação a seguir:

$$RM = (R1 + R2) / 2.$$

Tabela 2: Principais características morfológicas dos indivíduos arbóreos considerados pelo estudo.

Nome científico	Nome comum	Número Árvore	*DAP (cm)	*RM (m)	*AT (m)	Tamanho da copa
<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	1	85,9	9,6	25,0	Grande
		2	88,8	8,5	24,5	Grande
		3	86,6	9,9	20,0	Grande
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & LMPerry	Jambo vermelho	4	20,7	2,2	6,0	Pequeno
		5	25,5	2,9	7,0	Pequeno
		6	17,5	2,8	7,0	Pequeno
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	7	68,8	5,6	12,0	Grande
		8	68,4	6,8	7,5	Grande
		9	40,1	4,3	7,0	Médio
<i>Pachira aquática</i> Aubl.	Monguba	10	61,1	4,6	8,7	Médio
		11	37,9	3,4	8,0	Médio
		12	36,0	3,8	8,5	Médio
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	13	43,9	3,7	5,0	Médio
		14	38,2	3,7	4,5	Médio
		15	47,7	2,9	5,0	Pequeno

*DAP: diâmetro à altura do peito. *RM: raio médio, *AT: altura total. (Fonte: Autor).

De acordo com o RM as árvores foram classificadas por o tamanho da copa em Pequena (RM < 3,0 m), Médio (3,0 m ≤ RM < 5,0 m) e Grande (RM ≥ 5,0 m).

2.2.3 Seleção dos locais de medição

Observou-se e levou em consideração o local onde as espécies se encontravam. Para isso, estas foram escolhidas somente aquelas que tiveram as seguintes condições:

- Em avenidas ou ruas asfaltadas.
- Sem interferência de sombreamento, afetado por algum elemento físico construído ou por outro indivíduo arbóreo.
- No caso de presença de outras árvores, próximas tinham que ficar na distância mínima de 25 metros, longe do indivíduo arbóreo em estudo.

Os indivíduos arbóreos selecionados cumpriram os requisitos das condições do local e as condições de morfologias semelhantes (DAP, RM, AT). As localizações dos indivíduos estão apresentadas na (Figura 2). Sendo os números de 1 a 15, correspondentes ao número da árvore da (Tabela 2), como também é apresentada a localização da Prefeitura municipal da cidade como PM, e também onde se localiza a estação meteorológica da cidade como A019.



Figura 2: Localização das árvores selecionadas no estudo (1-15). Em verde as amostras cujos números correspondem aos números da árvore na Tabela 2. Em vermelho a Prefeitura Municipal de Gurupi (PM) e Estação Meteorológica Automática (A019). Adaptado: Google Earth (2017).

2.2.4 Coleta dos dados

Os dias efetivos de coleta dos dados (Tabela 3), realizou, observando as considerações de condições microclimáticas semelhantes entre os dias e meses, para isto utilizou as previsões feitas pela estação meteorológica INMET “A019” situada no município.

Tabela 3: Dias e hora da amostragem.

	Período	Estação	Mês	Dias	Hora*
Anual	Seco	Outono	Abril	06,07,08,09	10:00-11:00
		Inverno	Julho	14,15,16	12:00-13:00
	Úmido	Primavera	Outubro	09,10,12	14:00-15:00
		Verão	Dezembro	28,29,30	

*Obs: Hora nominal as 10:00, 12:00 e 14:00.

No mês de abril foram considerados quatro dias já que no primeiro dia não foi possível concluir a coleta correspondente por imprevistos no planejamento. Todos os dias escolhidos tiveram céu ensolarado em que 80% dos casos as condições microclimáticas de temperatura, umidade e vento foram semelhantes variando um pouco entre os dias, devido às previsões feitas pela estação meteorológica INMET A019.

O horário das 12 h representa o período onde o sol atinge o zênite. É bem conhecido o aumento da temperatura do período da manhã até a tarde, apresentando os maiores valores depois das 12 h, ou seja, perto das 14 h (FERREIRA; HERRMAN, 2016; MARTINI et al., 2016; LANGARO; SOUZA, 2012; HERRMANN, 2008). No entanto, um estudo feito em São Paulo por Shinzato (2014) encontrou temperaturas máximas registradas às 16 h. Assim, foi possível alcançar três grupos horários, a saber: 10 h, 12 h e 14 h, perfazendo o estudo da relação em questão com o IC.

Os três grupos dos horários abrangem um período de aproximadamente ± 1 h, a partir da hora nominal da (Tabela 3). Para que a equipe fizesse o traslado, nos diferentes indivíduos arbóreos.

2.2.5 Medição dos parâmetros ambientais

Para coleta dos parâmetros ambientais se considerou o seguinte:

- Quatro pontos de amostragem localizados radialmente, no sentido da rua ou avenida aos 0 m, 5 m, 10 m e 15 m a partir do fuste⁵ da árvore e chamados: Posição 0 m, Posição 5 m, Posição 10 m e Posição 15 m (Figura 3);
- Onde a Posição 0 m, sempre estivesse na sombra, ou seja, onde se tem a maior influência da árvore; e
- A Posição 15 m se considerou onde sempre estivesse diretamente ao sol, ou seja, a posição que recebe a menor influência da árvore e representa a ausência da sua influência;

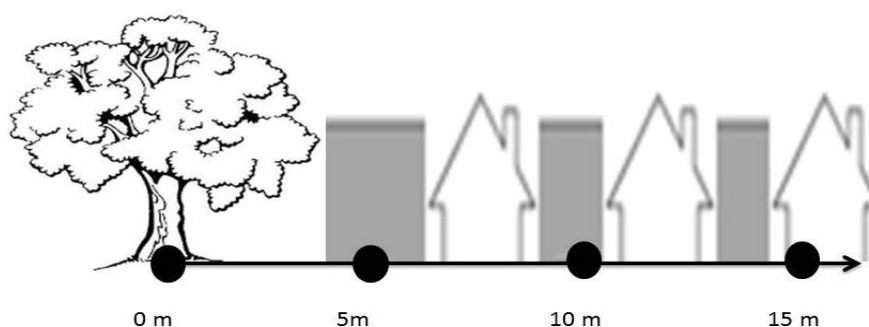


Figura 3: Ilustração dos pontos de coleta de dados, em relação à medição da árvore, no sentido da rua (Fonte: Autor).

Os pontos de amostragem foram dispostos de modo para possibilitar a avaliação da influência dos indivíduos arbóreos sobre a variável de IC com base na interpretação e análise dos valores nos quatro pontos radiais considerados e a 1,50 m acima do chão.

Em relação ao alcance do raio de influência, Ferreira e Herrman (2016) e Herrmann, (2008) definem como a posição sol a distância de 15 m longe do fuste da árvore. Martini et al (2014) apontam que entre 10 m e 50 m da árvore, as temperaturas não apresentam considerável variação. Marín et al. (2017) consideram a distância 20 no sol. Neste sentido, tais constatações fazem pensar que a 15 ou 20 m da árvore pode estar situada a posição sol longe da influência da árvore. Assim, no presente estudo considera-se a posição sol aos 15 m de fuste da árvore pelas razões apresentadas e por motivos logísticos, a fim de cumprir todas as medições em tempo reduzido.

⁵ Fuste: Parte da árvore que emerge do solo e crece em direção oposto à das raízes, e compreendida entre o colo e os primeiros galhos, ou seja, a parte compreendida entre o pé a as primeiras ramificações. Tronco. (IBGE, 2004).

Para a coleta de dados foi utilizado uma estação meteorológica portátil, marca Skymaster, modelo SM-28, com recente calibração de fábrica (02/2016) e suportada por um tripé. As especificações de medição do equipamento encontra-se listadas na (Tabela 4).

Tabela 4: Especificações técnicas da estação meteorológica portátil Skymaster.

Precisão	Temperatura	Umidade Relativa	Velocidade do vento	Índice de Calor
Erro da Medição	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Alcance de variáveis	0 – 50 °C	0 – 99 %	0,18 – 39,78 m/s	21 – 68,78 °C
Tempo de resposta	1 minuto	1 minuto	2 segundos	1 minuto

Fonte: Manual do fabricante *Skymaster* SM-28.

As variáveis: temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento são variáveis medidas diretamente pelo aparelho, ao passo que o índice de calor (IC) tem sua medição de modo indireto. O IC é conhecido como uma temperatura aparente ou percebida pelo homem e resulta da combinação da temperatura do ar, da umidade e de outros parâmetros microclimáticos e biológicos relacionados ao homem.

No site web da *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA, 2017) publicou a tabela que evidencia a relação do IC com a Ta e Ura (Tabela 5). Neste sentido, quanto maior for o IC, mais quente se sente o clima, sendo um dos usos práticos no bem-estar térmico nos entornos do trabalho, ou de atividade esportiva, que fiquem em condições exteriores ou ao ar livre.

Aquele organismo publicou ainda, através das estações meteorológicas dos Estados Unidos da América (EUA), informações sobre os efeitos adversos das atuais condições climáticas na saúde humana em relação à IC, bem como apresentou um guia para os trabalhadores, atletas e demais indivíduos que tenham suas atividades em condições externas. Neste estudo foi utilizada a tabela da NOAA, para os valores de IC segundo como se apresenta sua classificação (Tabela 5).

Tabela 5: Valores de índice de calor elaborado pela NOAA (2017).

Temperatura (°C)		27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43
Umidade Relativa (%)	40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	40	43	45	48	51	54	58
	45	27	28	29	30	32	34	36	39	40	43	45	48	51	54	58	
	50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	55	58		
	55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58			
	60	28	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58				
	65	28	29	32	34	37	39	42	45	49	53	58					
	70	28	30	32	35	38	38	44	48	52	57						
	75	29	31	33	36	39	43	47	51	55							
	80	29	32	34	37	40	45	49	54								
	85	29	32	36	38	43	47	52	57								
	90	30	33	37	40	45	50	55									
	95	30	34	38	42	47	53										
	100	30	35	39	44	49	55										

Temperatura	Notas	NOAA
27–32 °C	Cuidado. Probabilidade de fadiga após exposição e atividade demorada.	<i>Cuidado</i>
33–40 °C	Cuidado extremo. Hipertermia e câimbras de calor possíveis.	<i>Cuidado extremo</i>
41–53 °C	Perigo. Hipertermia e câimbras de calor prováveis.	<i>Perigo</i>
Acima de 54 °C	Perigo extremo. Hipertermia e câimbras de calor iminentes.	<i>Perigo extremo</i>

Adaptada: (NOAA, 2017)

2.2.6 Análise estatística

No total foram registrados 513 dados, dos quais foi feita uma base de dados no software Excel 2010, para sua posterior análise estatística, onde se empregou a análise de variância (ANOVA) e foram processadas as leituras em correspondência com a hipótese em questão.

Foi também empregado o teste T, *a posteriori* com 5% de significância (nível alfa). Sendo as repetições para cada tratamento diferentes, se utilizou o experimento inteiramente causalizado (DIC) com repetições diferentes.

Diante o exposto os análises foram feitos com o programa ASSISTAT versão 7.7 (SILVA, 2016).

Para a avaliação de confiabilidade na medição dos dados coletados, foi necessário um procedimento de aceitação geral para avaliar sua incerteza⁶, a qual é utilizada como um atributo quantitativo que determina a qualidade de uma medição (GUM, 2008).

Sendo a incerteza de medição o parâmetro que é associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (GUM, 2008).

Utilizaram-se os dois métodos de avaliação das incertezas do Tipo A e do Tipo B, onde as do Tipo A que correspondem ao número de observações do IC e as do Tipo B são baseadas em conhecimentos prévios da estação meteorológica portátil, marca *Skymaster*.

Somente foi utilizada a incerteza-padrão expandida com um nível de confiança de 95%, seja para as amostras ou para as médias. No caso das amostras, foram apenas consideradas as incertezas do aparelho de medida, ou seja, as incertezas do Tipo B. No caso das médias, foram incluídas as incertezas devido às distribuições das frequências das amostras e dos correspondentes grupos analisados, ou seja, as incertezas do Tipo A.

O fator numérico utilizado como um multiplicador da incerteza-padrão⁷ de modo a obter uma incerteza expandida é o fator de abrangência, que foi empregado para as incertezas do Tipo B para o nível de confiança de 95%, considerando uma distribuição retangular ($c_{B;R;95\%}$), foi 1,65 (PEREZ, 2012). A distribuição retangular foi escolhida devido ao fato de que todos os valores no intervalo de exatidão fornecido pelo fabricante são considerados igualmente prováveis.

Consequentemente, a incerteza expandida do Tipo B ao valor de 95% de confiança se dá conforme a Equação 1.

$$I_{B;95\%} = c_{B;R;95\%} \sqrt{\left(\frac{E_{A;E}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_{A;R}}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad (1)$$

⁶ Incerteza: Incerteza (de medição): É o atributo quantificável é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (quantidade particular submetida a medição) (GALLAS, 1998).

⁷ Incerteza-padrão: incerteza do resultado de uma medição expressa como um desvio padrão (GALLAS, 1998).

Onde:

$E_{A;E}$ = incertezas devidas à exatidão,, do instrumento de medida.

$E_{A;R}$ = incertezas devidas à resolução, do instrumento de medida.

No caso das incertezas do Tipo A, o fator de abrangência empregado dependerá dos graus de liberdade e da distribuição do conjunto de amostras. Se a distribuição não é normal, emprega-se a distribuição T-Student. Quando a distribuição for normal, emprega-se tal distribuição para o cálculo do fator de abrangência.

Assim, a incerteza-padrão total é definida como a média quadrática das incertezas expandidas do tipo A e B, para um nível de confiança de 95% evidente na Equação 2, a seguir.

$$I_{C;95\%} = \sqrt{\left(c_{A;i;N-1;95\%} \frac{E_D}{\sqrt{N}}\right)^2 + (I_{B;95\%})^2} \quad (2)$$

Onde:

E_D = incerteza devida à distribuição de frequências das amostras;

$c_{A;i;N-1;95\%}$ = fator de abrangência para a incerteza do tipo A segundo a distribuição i ao 95% de confiança e com $N-1$ graus de liberdade; e

N = número de amostras.

Obs. o primeiro termo corresponde à incerteza-padrão estendida do Tipo A.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Análise geral dos dados

Os valores mínimo e máximo do IC registrados foram de $21,2 \pm 0,6^\circ\text{C}$ e $42,1 \pm 1,2^\circ\text{C}$, respectivamente, desvio padrão de $2,7^\circ\text{C}$ e média geral de $34,4 \pm 1,0^\circ\text{C}$. Para as amostras dos valores mínimo e máximo empregou-se a incerteza-padrão do Tipo B, enquanto que para a média geral foi utilizada a incerteza-padrão total.

A amostragem não apresentou uma distribuição de frequências normal e tampouco de forma aproximada (Shapiro-Wilk, $V=0.98710$, $V\text{-crit} = -$, $\alpha=5\%$). Por

consequente, foi empregada a distribuição T-Student para o cálculo da componente Tipo A da incerteza combinada estendida.

O valor médio de 34°C do conjunto de dados corresponde a um nível de Cuidado Extremo, correspondente na (Tabela 5) de índice de calor segundo a NOAA.

2.3.2 Variação sazonal

A análise de variância (ANOVA) apontou a existência de diferenças significativas entre as estações, ou seja, $F(3, 509) = 28,29$, $p < 0,01$. Além disso, o teste T *a posteriori*, indicou que as estações verão, primavera, inverno e Outono diferem significativamente entre elas em $p < 0,05$, mas que as duas últimas não diferem entre si, como evidenciado na (Tabela 6). Empregando-se as incertezas-padrões combinadas das médias, foi possível observar que as estações que correspondem ao período seco (outono e inverno) se diferenciam das estações que correspondem ao período úmido (primavera e verão), e que as temperaturas apontadas no primeiro período são superiores às do segundo período. Tal fato dá uma ideia de que o período seco é caracterizado pelas altas temperaturas. Por outro lado, a média anual calculada corresponde à média anual reportada pela SEPLAN (2013), que pode oscilar entre 30 °C e 36 °C.

Tabela 6: Média dos valores para sua comparação por estação com incertezas-padrões.

Estação	Média (°C)
Outono	35,5±1,1 a
Inverno	35,2±1,1 a
Primavera	32,7±1,1 c
Verão	33,5±1,0 b
Ano 2016	34±1,1

* Obs: as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste T, *a posteriori* ($p < 0,05$); dms (MAX) = 0,7 °C).

Segundo a classificação do conforto térmico da *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA), dos dados obtidos no presente estudo, correspondentes a todo o ano 2016, foi possível perceber a existência de estresse

térmico (82,7% no nível cuidado extremo) e que ainda, em alguns casos, pode chegar a níveis extremos (16,2 % no nível cuidado), como se observa na (Figura 4).

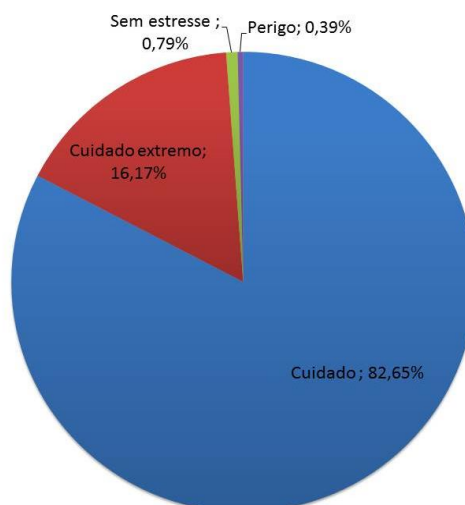


Figura 4: Porcentagem de estresse térmico segundo a classificação da NOAA.
Fonte: Autor.

2.3.3 Variação na hora

A análise de variância (ANOVA) apontou que todos os horários são diferentes, ou seja, $F(2, 510) = 89,69$, $p < 0,01$. Além disso, o teste T, *a posteriori*, em $p < 0,05$, e a análise das incertezas-padrões combinadas indicam que todos os horários diferem entre si, conforme evidenciado na Tabela 7, a seguir, confirmando que o aumento do Índice de Calor (IC) no período das 10 h às 14 h.

Tabela 7: Médias horárias nos grupos das 10 h, 12 h e 14 h para o ano 2016 indicando a incerteza-padrão combinada de cada média e o resultado do teste T, *a posteriori*.

Hora	Média (°C)	Comparação*
10	32,6±1,0	c
12	34,5±1,1	b
14	36,0 ±1,1	a

*Obs: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o Teste T, *a posteriori* ($P < 0,05$; dms (MAX) = 0,5°C). Fonte: Autor.

As espécies arbóreas melhoraram o ambiente térmico em virtude da atenuação da radiação proporcionada pelo sombreamento das espécies arbóreas, principalmente no horário com menor ângulo solar OLIVEIRA, et al. (2013).

2.3.4 Variação devida às espécies e aos tamanhos das copas

Foram analisadas as variações no IC devido às características particulares de cada espécie dentro do raio de influência. O interesse se deu em relação às possíveis diferenças entre as espécies e a identificação da espécie ou das espécies que apresentaram menor valor de IC no raio de influência, principalmente embaixo da copa da árvore. A análise de variância (ANOVA) sobre os resultados agrupados por espécie gerou diferenças significativas entre as cinco espécies, ou seja, $F(4, 508) = 10,26$, $p < 0,01$. Um teste T, *a posteriori*, evidenciou que a espécie *Mangifera indica* L. (Mangueira) apresentou a maior atenuação (maior diferença absoluta) do IC e diferiu significativamente das outras espécies em $p < 0,05$; as outras espécies não diferiram significativamente entre si. Por outro lado, as incertezas-padrões são elevadas, sendo pouco significativas as diferenças encontradas para uma comparação, conforme evidenciado na (Tabela 8). Neste sentido, foi possível afirmar que a Mangueira pode ofertar uma atenuação maior de 2°C em $p = 0,67$.

Tabela 8: Médias do índice de calor em sombra e sol por espécies do ano 2016 e as diferenças com as respectivas incertezas.

Espécie		Média Sombra (°C)	Média Sol (°C)	*D.A. (°C)	*D.R. (%)
Nome Científico	Nome Comum				
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & LMPerry	Jambo	31,9±1,3	34,5±1,4	3±3	7±6
<i>Pachira aquática</i> Aubl.	Monguba	33,9±1,4	36±2	2±3	6±8
<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	33,3±1,3	35,3±1,4	2±3	6±8
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Sibipiruna	33,9±1,3	35,9±1,3	2±3	6±7
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Oiti	33,2±1,4	35±2	2±4	5±9

*Diferença absoluta. *Diferença relativa.

Martini, Biondi e Batista (2014), estudaram três espécies: *Handroanthus chrysotrichus* (ipê-amarelo-miúdo), *Lagerstroemia indica* (extremosa) e *Libidibia ferrea* var. *leiostachya* (pau-ferro). Eles encontraram também que não diferem os valores em sol.

Ferreira e Herrman (2016) reportam um estudo da influência microclimática e de conforto térmico das seguintes espécies do Cerrado Goiano: *Lophantera*

lactescens Ducke (lanterneiro ou chuva de ouro), *Caesalpinia pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) G. P. Lewis (sibipiruna), *Sapindus saponaria* L. (saboneteira) e *Stryphnodendron adstringens* Mart (Coville) (barbatimão), eles não apresentaram erros de medidas. Mas, ao observar os valores reportados na Tabela 2 ali existente, reconstruindo os valores de IC, aplicando o *Heat Index Calculator* da NOAA e fazendo a devida análise, pode ser inferido pelo teste T que os valores em sombra e sol não diferem entre eles ao nível alfa ($p < 0,05$).

De qualquer maneira, considerando os valores médios e as incertezas-padrões das diferenças absolutas sol-sombra na (Tabela 8) para definir a probabilidade de que a diferença seja superior a um valor determinado, pode afirmar-se o seguinte:

- A espécie Mangueira possui diferenças sol-sombra superior ao $0,5^{\circ}\text{C}$ ($p=0,92$) e a 2°C ($p=0,67$);
- A espécie Monguba e a Sibipiruna possuem diferenças sol sombra superiores a $0,5^{\circ}\text{C}$ ($p=0,75$);
- A espécie Jambo e a Oiti possuem diferenças sol sombra superiores ao $0,5^{\circ}\text{C}$ ($p=0,69$);

Em relação ao agrupamento por tamanho da copa ou raio da copa em pequeno, médio e grande, a análise de variância (ANOVA) gerou diferenças significativas entre os três tamanhos, ou seja, $F(2, 510) = 6,58$, $p < 0,01$. Um teste T, *a posteriori*, apontou que o grupo de árvores de tamanho de copa grande é diferente aos tamanhos de copa médio e pequeno em $p < 0,05$; entre os grupos de árvores de copas pequena e mediana, não se tem diferenças significativas. Por outro lado, na análise das incertezas-padrões totais, não se tem diferenças significativas em nenhum dos três grupos, conforme evidenciado na (Tabela 9).

Tabela 9: Valores médios de diferentes raios de copa para o ano 2016.

Tamanho da copa	Média ($^{\circ}\text{C}$)	Comparação*
Pequeno	$35,0 \pm 1,1$	a
Médio	$34,6 \pm 1,1$	a
Grande	$33,8 \pm 1,1$	b

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o teste T, *a posteriori* no nível alfa ($p < 0,05$ dms (MAX) = $0,7^{\circ}\text{C}$).

Não pode ser inferido que quanto maior a copa da árvore, menor o IC embaixo da copa. Os erros são reportados com a incerteza-padrão total estendida para um nível de confiança de 95%.

Hernandes; Pedro e Bardin (2002) destacam que as copas das árvores evitam a penetração da maior parte da radiação solar do dia. Tal quantitativo de radiação solar implica em menor aquecimento do solo e, conseqüentemente; em menor emissão de radiação de ondas longas e menor aquecimento do ar no espaço entre o solo e as copas das árvores. Lundgren, et al. (2015) verificou a existência de diferença na temperatura abaixo das copas entre três espécies (*Ficus benjamina*, *Acacia farnesiana*, *Acacia farnesiana*) e entre o tamanho das copas delas.

Além disso, Velasco (2007) acredita que a vegetação propicia o resfriamento passivo nas áreas construídas pelos seguintes meios: o sombreamento gerado pela vegetação, que reduz a conversão da energia radiante em calor, conseqüentemente, reduz as temperaturas da superfície dos objetos sombreados; e, a evapotranspiração na superfície da folha, que resfria a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente. Efetivamente, a vegetação tende a estabilizar as variáveis microclimáticas do seu entorno, reduzindo os valores extremos (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003).

2.3.4 Variação na distância

Em relação ao agrupamento na distância, a análise de variância (ANOVA) gerou diferenças significativas entre as distâncias analisados, ou seja, $F(4, 508) = 22,16$, $p < 0,01$. Um teste T, *a posteriori*, (Tabela 10) apontou que as distâncias 0 m e 5 m não diferem entre si, e tampouco as distâncias entre 5 m e 10 m diferem entre si. As demais comparações apresentam diferenças significativas em $p < 0,05$.

Por outro lado a análise das incertezas-padrões não mostrou diferenças significativas entre as distâncias todas ($p = 0,75$ para diferenças entre distância 0 m e 5 m e entre distância 5 m e 10 m, e $p = 0,63$ para diferenças entre 10 e 15 m) ao passo que a diferença entre a posição sombra (0 m) e sol (15 m) ficou significativa ($p=0,88$).

Com tudo isto não pode se afirmar a existencia de um escalonamento gradativo e inversamente proporcional entre as atenuações ao se afastar do fuste da árvore, mas sim uma diferença significativa entre a posição sombra e a posição sol

(distância externa). Portanto pode ser observado o efeito que a arborização de ruas exerce no microclima do espaço imediato (5m, 10m, 15m).

Tabela 10: Valores médios a diferentes distâncias

Distância	Média (°C)	Comparação *
0 m	33,3±1,1	c
5 m	33,9±1,1	bc
10 m	34,5±1,1	b
15 m	35,4±1,1	a

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o teste T, *a posteriori* no nível alfa ($p < 0,05$, dms (MAX) = 1,2°C).

Foi possível notar a influência que a cobertura arbórea exerce no microclima na (Tabela 10). Jauregui (1991) verificou que a temperatura no Parque Chapultepec da cidade do México foi de 2 a 3 °C menor do que nos arredores. Kurbán et al. (2002), na cidade de San Juan, Argentina, demonstraram que o efeito da arborização resultou com uma diminuição de 2,1 °C na temperatura média. Estes estudos foram feitos em áreas verdes de grande extensão, como parques e bosques. Não sendo apresentados os erros de medição, a simples vista podem ser considerados comparáveis com os resultados encontrados nesta pesquisa devido aos valores semelhantes.

Na figura 5, observam-se os valores do IC diferenciados por espécie, é possível notar que a espécie Mangueira com os valores mínimos, diferente das outras quatro espécies então analisadas. Assim, mostra-se evidente a relação direta (ou inversa da atenuação) da distância com a temperatura.

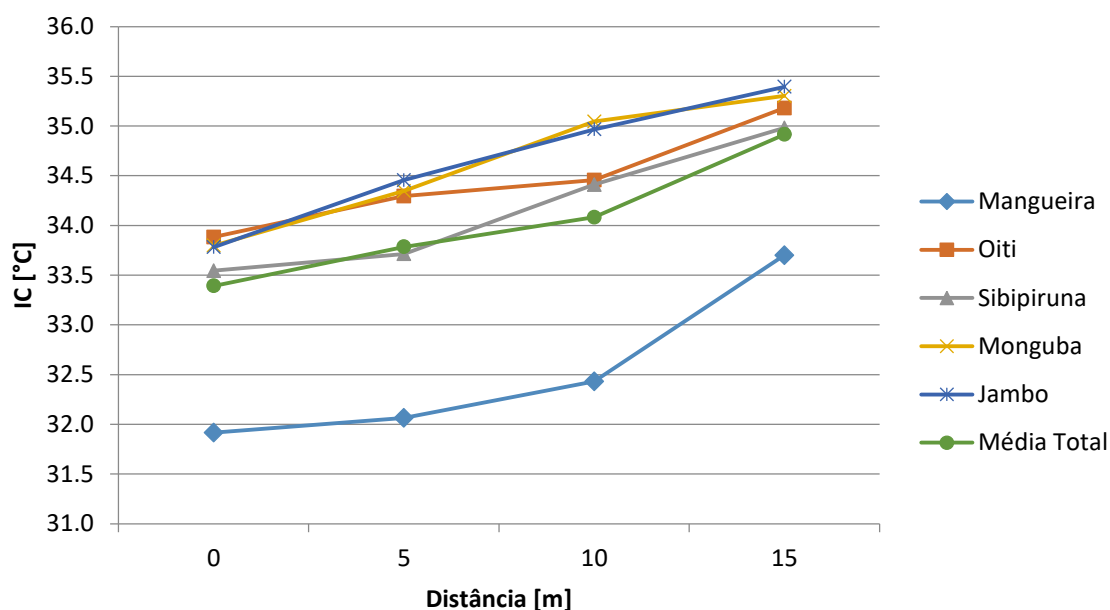


Figura 5: Variação térmica em função da distância da árvore. (Fonte: Autor).

Foi possível perceber que as árvores atenuam o IC na distância devido à sombra projetada por elas e aos processos de evapotranspiração associados às mesmas. A sombra, sem dúvida, protege da radiação solar direta e, conseqüentemente, atenua carga térmica radiante (FERREIRA; HERRMAN, 2016). A evapotranspiração retém a umidade a um nível mais confortável. A temperatura próxima ao tronco é inversamente proporcional a dimensão da copa e a temperatura do solo abaixo da copa tem dependência espacial (LUNDGREN, et al. 2015).

2.4 CONCLUSÃO

Encontrou-se para o ano 2016 uma situação de desconforto humano expressa pela média geral do (IC) de $34,4 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ correspondente a “cuidado extremo” segundo a NOAA. Por outro lado, encontrou-se que aproximadamente 16 % estiveram numa situação de “cuidado”.

Encontrou-se que árvores urbanas contribuíram com atenuações sol-sombra superiores aos $0,5^{\circ}\text{C}$ com probabilidades superiores aos 0,70. Destacou-se a espécie Mangueira (Copa Grande) que apresentou as maiores atenuações (2°C).

2.5 REFERÊNCIAS

- ÁVILA, M. F. et al. **Clasificación climática según la metodología de Thornthwaite**. Universidad agraria del Ecuador, 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/23641279/Clasificaci%C3%B3n_clim%C3%A1tica_seg%C3%BA_n_la_metodolog%C3%ADa_de_Thornthwaite>. Acesso em: 2 set. 2016.
- BFG. Growing knowledge: An overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015.
- CÓRDOVA, S., Karenia. Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas. **Terra Nueva Etapa**, Caracas, v. XXVII, n. 42, p. 95–122, 2011.
- DUARTE, M.C. **Pachira in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23585>>. Acesso em: 2 set. 2016.
- DIMOUDI, A. NIKOLOPOULOU, M.; Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, Inglaterra, v. 35, n. 1, p. 69–76. 2003.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA. **Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands**. Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S, 2009. Disponível em: <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>. Acesso em: Setembro, 2015.
- FERREIRA, R. DE C.; HERRMANN, C. R. A. Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado goiano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Paraná, v. 11, n. 1, p. 14–33, 12 jun. 2016.
- GALLAS, R. M. **Incerteza de Medição**. Guia Para a Expressão da Incerteza de Medição, 2ª edição, ABNT, INMETRO, 1998.
- GURUPI. **Plano diretor de desenvolvimento sustentável de Gurupi**. Tocantins (Mapa Multifinalitário). Prefeitura de Gurupi. Disponível em: <<http://www.gurupi.to.gov.br/?page=plano-diretor>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- GUM, **Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008**. Avaliação de dados de medição Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN. 141 p. 2008.
- GOMES, M. A. S. e SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. **Rev. Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.1, n. 1, p. 19-29, Junho, 2003.

HERNANDES, J. L.; PEDRO J., M. J.; BARDIN, L. Diferenças estacionais entre variáveis microclimáticas para ambientes de interior de mata, vinhedo e posto meteorológico em Jundiá (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 169 – 180. 2002.

HERRMANN, A. C. **Qualidade do sombreamento de espécies arbóreas e sua influência no microclima do entorno imediato em ambientes urbanos**. Dissertação de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia p.160. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. Vocabulário básico de recursos naturais e madio ambiente. 2da Edição. Rio de Janeiro. 326 p. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. Informações estatísticas 2010. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=170950&search=||infor%EFicos:-informa%EF5es-completas>>. Acesso em: 23/11/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. Censo 2016. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tabela_1_15.pdf>. Acesso em: 23/01/2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

JAUREGUI, E. Effects of vegetation on urban and buildings climate: influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 15, p. 457 – 463. 1991.

KURBÁN, A. et al. Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 43 - 48, 2002.

LANGARO, A. P.; SOUZA, E. Influência da radiação solar e umidade do ar na concentração do ozônio. **Revista de Ciências Exatas e da Terra**, UNIGRAN, v. 1, n. 1, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ed. Nova Odessa: editora Plantarum.1998.

LUNDGREN, W. J. C. et al. Análise da temperatura do solo abaixo da copa de três espécies de árvores na cidade de serra talhada–PE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 9, n. 4, p. 1–21, 1 jun. 2015.

MARÍN, P. C.A.; PEREZ, M.D.; SANTOS, A. F. Temperatura em sombra e sol de três espécies de árvores no centro da cidade de Gurupi, Tocantins, **Enciclopédia Biosfera**, Enviado: 14/02/2017.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. O porte das árvores e o efeito microclimático -uma contribuição ao planejamento da arborização de ruas. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Belo Horizonte/MG, 2014.

MARTINI, A. et al. Microclima em diferentes tipologias de floresta urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 10, n. 4, p. 12–22, 24 fev. 2016.

MENDOÇA, F.; DANNI, O.; M.I. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo. Oficina de Textos. P.11-20, 2007.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L. de; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87, jul./set. 2016.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **NOAA**. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201604>>. Acesso em: 10 Jan 2017.

NORONHA M, F. F.; PIRES G, E. R. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 17 jul. 2013.

OLIVEIRA, A. S. DE et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 389–400. 2013.

OKE, T. R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1/3, p. 103-113, 1988.

PARROTTA, J.A. **Mangifera indica L.** Mango. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. p. 6. 1993.

PEREZ H., M. Estimación de incertidumbres. Guía GUM. In: **e-medida Revista Española de Metrología**. p. 113-130. 2012.

PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. **PMAE**. Prefeitura municipal de Gurupi. [s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.gurupi.to.gov.br/resources/arquivos-publicados/planos-municipais/agua_esgoto_2013.pdf>. Acesso em: 1 set. 2016.

SANTOS, A. F; CLEITON J, A; APARECIDA D,S,P. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas das praças centrais do município de Gurupi-TO. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 4, p. 33–43. 2013.

SANTOS, L. K. L et al. Florística e diversidade de espécies arbóreas em 13 avenidas de Gurupi-TO. **XX Congresso brasileiro de arborização urbana/I Congresso Sul Americano da ISA**. Belo horizonte. 2016.

SANTOS, A. F.; SILVA, S. M. O. Levantamento preliminar das principais espécies de árvores plantadas nas ruas centrais de Gurupi-TO. In **Congresso Brasileiro de Arborização urbana** Recife. 2011.

SHAMS, J. C. A.; et al., Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA. **SEPLAN**. Gurupi-Governo do Estado do Tocantins. 2013. Disponível em: http://www.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/Municipios_Perfil_2013/Gurupi.pdf.

SHINZATO, P. **Impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Tese de Doutorado, v. Universidade de São Paulo, n. facultade de arquitetura e urbanismo, p. São Paulo, 2014.

SIEBERT, C. Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. **VI Encontro Nacional da Anppas** 18 a 21 de Setembro Belém-PA Brasil. 2012.

SILVA, A. D. P.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, L. M. Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO. **Floresta**, v. 46, n. 3, p. 353. 2016.

SILVA, S. M. O; SANTOS, A.F. Arborização urbana do centro de Gurupi: identificação das principais espécies de árvores ocorrentes na malha urbana. **Seminário de iniciação científica UFT-Campus de Palmas**. 11-14 de dezembro. 2012.

SILVA, F.A.S. **ASSISTAT: Versão 7.7**. DEAG-CTRN-UFCG – Cópia atualizada em 01 de agosto de 2016. Disponível em < <http://www.assistat.com> >. Acessado em: 20 de agosto de 2016.

SOTHERS, C.; ALVES, F.M.; PRANCE, G.T. **Chrysobalanaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <[http://floradobrasil.jbrj.gov.br /jabot/floradobrasil/FB16857](http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB16857)>.

SUCOMINE, N.M.; et al. A. Análise microclimática de uma área verde e de seu entorno imediato. In: SIMPGEU-Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana, 2009, Maringá. **Anais...**Maringá: [s.n.], 2009.

VELASCO, G. D. N. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor**. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

3 CAPITULO 2: EFEITO MICROCLIMÁTICO E CONFORTO TÉRMICO NAS PROXIMIDADES DE CINCO ESPÉCIES DE ÁRVORES DO SETOR CENTRAL DA CIDADE DE GURUPI, TOCANTINS

RESUMO

No desenho urbano bioclimático, a regulação psicrométrica do ar nos microclimas urbanos pode garantir as condições de conforto térmico aceitáveis. A arborização cumpre o papel regulador e necessita de melhor entendimento para sua utilização. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo caracterizar e analisar nas imediações cinco espécies arbóreas (*Pachira aquática* Aubl. (Monguba), *Mangifera indica* L. (Mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo roxo) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti)) existentes no setor central da cidade de Gurupi, Tocantins, desde os pontos de vista microclimático e de conforto. Os registros foram feitos a 0 m (plena sombra), 5 m, 10 m e 15 m (pleno sol) do fuste da árvore, quantificando-se a diminuição das variáveis através da variação relativa ao pleno sol, com a representação dos dados em cartas adaptadas de Olgyay. Resultados em destaque foram obtidos pelas espécies Oiti, Mangueira e Sibipiruna ao passo que todas as espécies lograram atenuações superiores a 1°C. Tendo os casos analisados apresentando desconforto térmico sem movimentação do ar, em plena sombra obtiveram-se os menores valores de desconforto com o conforto atingido por pequenas movimentações do ar. Assim, foi possível reafirmar a influência positiva das árvores nas imediações.

Palavras-chave: Arborização Urbana; Carta Bioclimática; Clima urbano.

EFFECT ON MICROCLIMA IN ARBOREAL SPECIES AND THERMAL COMFORT OF THE CENTER OF THE CITY OF GURUPI, TOCANTINS

ABSTRACT

*In the bioclimatic urban design, the psychrometric regulation of air at the urban microclimates can guarantee acceptable thermal comfort conditions. Forestry concerns as regulator and need for better understanding for its utilization. Therefore, the present work was aimed to characterized and analysed thereabout five tree species: *Pachira aquática* Aubl. (Monguba), *Mangifera indica* L. (Mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo roxo) and *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) present at the central downtown of the city from the microclimatic and comfort viewpoints. Registers were made at 0 m (full shade), 5 m, 10 m and 15 m (full sun) from the tree shaft, the variable attenuations were quantified by relative variations at full sun and represented in the Olgyay's adapted charts. Outstanding results were obtained by the species Oiti, Mangueira and Sibipiruna while every species reached attenuations higher than 1°C. Although every analysed case was always with thermal discomfort without air movement, at full shade smaller discomfort values were found with*

comfort reached by small air movements. In this way, it was reaffirmed the positive influence of trees in the vicinity.

Keywords: Urban forestry; Bioclimatic Chart; Urban climate.

3.1 INTRODUÇÃO

Entre os elementos climáticos responsáveis pelo conforto térmico, os principais são: a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a irradiação solar. Neste sentido, mostra-se de suma importância a realização de estudos individuais nas cidades, para pequenas contribuições na regulação de temperatura.

O estado do Tocantins, além de situar-se em um clima tropical, é um das sete Unidades da Federação (UFs) responsáveis pelo desenvolvimento do plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas SEMARH, (2016). Este apresenta as medidas necessárias para a redução da mudança climática. No Plano, tem-se a identificação de medidas que ajudam para uma melhor adaptação nas mudanças climáticas. Um dos setores considerados no Plano são as cidades e o desenvolvimento urbano.

Segundo Lin et al. (2010), a sombra e o vento podem melhorar as condições de conforto térmico nos climas tropicais. Entre os métodos que visam à melhoria das mudanças climáticas e da qualidade de vida do homem, vale destacar a arborização urbana sendo um dos métodos mais naturais.

As copas das árvores podem ajudar na modificação do microclima nas imediações afetado a radiação solar via mecanismos de reflexão, transmissão e absorção, acarretando na redução da irradiação ali existente; afetar o vento mudando a sua velocidade; e ainda graças aos mecanismos da evapotranspiração e da fotossíntese, podem gerar e manter certos níveis de umidade e sequestrar o dióxido de carbono.

Em suma, as árvores capturam o carbono (gás do efeito estufa), regulam a temperatura, provêm a qualidade e quantidade da água, bem como a geração de oxigênio. Outro serviço ambiental de recente interesse é o emprego das árvores como barreira eletromagnética diante da poluição eletromagnética e, particularmente

na blindagem de ondas de rádio e micro-ondas (ALI et al., 2014; AVILÉS e CHAPARRO 2010).

Atualmente, o planejamento da arborização urbana leva em consideração diferentes critérios, entre os quais, a forma e a disposição das raízes e da copa, a estética, a altura da árvore adulta, entre outros. Porém na prática não se tem considerado o conforto térmico urbano como do planejamento urbano (FERREIRA; HERRMAN, 2016; HERRMANN, 2008).

Segundo Santos e Teixeira (2001), apesar de a vegetação não totalmente possa controlar as condições de desconforto, pode de modo eficiente, abrandar tal adversidade, proporcionar índices mais altos de umidade relativa do ar e reduzir a temperatura ambiente. Ainda sobre a questão, Pandit e Laband (2010) afirmam que o uso da arborização pode proporcionar significativas reduções no consumo energético dos sistemas de resfriamento dos ambientes construídos. Logo, a caracterização dos efeitos das árvores urbanas dos pontos de vista da microclimatologia e do conforto térmico humano é importante para o desenho urbano e podem ajudar em futuras elaborações de Planos Diretores de Arborização Urbana nas mais diversas localidades..

Diante o exposto, o presente estudo teve por objetivo analisar as espécies de árvores dominantes na cidade de Gurupi para sua contribuição microclimática nas proximidades, considerando a modificação dos parâmetros ambientais relacionados ao conforto térmico humano. Estes parâmetros são: a temperatura (T_a), a umidade relativa do ar (U_{ra}) e a carga térmica radiante (C_{tr}). As mudanças em tais parâmetros foram analisadas mediante a variação em relação à posição não (ou menos) influenciada pela árvore. Também se fez uma análise do conforto térmico mediante a carta de Olgyay.

A pesquisa deu-se no Município de Gurupi, Tocantins, no período seco que ali abrangente entre os meses de abril e setembro – período mais crítico em termos de intensa irradiação solar e, por conseguinte, alta temperatura e baixa umidade com os mais elevados níveis de estresse térmico ambiental (CASTRO; OLIVEIRA; GUILHEM, 2009), animal (SANTOS; VASCONCELOS, 2016) e, por conseguinte, humano.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A temperatura média anual de Gurupi é de 32°C (SEPLAN, 2013), podendo oscilar entre 30°C e 36°C. A precipitação média anual é de 1600 mm (PMAE, 2013).

Foram considerados como valores representativos das condições climáticas típicas da microrregião em questão na meso escala, os valores médios mensais para os meses de coleta considerados da estação meteorológica convencional de Peixe, Tocantins. Os meses da coleta foram os meses de abril e julho, escolhidos por serem os meses com as temperaturas mais quentes dos dados do trabalho de Marín (2017). O município de Peixe fica a pouco mais de 60 km de Gurupi (Tabela 11). Tais valores representam as condições climáticas típicas da região do sul de Tocantins na macro escala.

Tabela 11: Normais Climatológicas (1961-1990) para o município de Peixe, TO.

Mês	Temp. Max. (°C)	Temp. Med. Comp. (°C)	Temp. Min. (°C)	Amplitude (°C)	UR (%)	Precip. (mm)	Nebul. (d)	Insol. Diária (h)	Vel. do Vento (m/s)
Jan	31,1	25,5	21,7	9,4	81,0	284,8	0,8	155,20	1,28
Fev	31,2	25,5	21,8	9,4	83,0	250,6	0,8	142,10	1,28
Mar	31,5	25,7	22	9,5	84,0	232,1	0,8	161,60	1,11
Abr	32,0	26,0	21,8	10,2	80,0	119,0	0,6	205,50	1,12
Mai	32,4	25,6	20,5	11,9	74,0	29,1	0,4	255,50	1,32
Jun	32,4	24,1	17,9	14,5	67,0	4,1	0,3	277,30	1,57
Jul	33,1	24,1	17,5	15,6	61,0	4,3	0,3	294,10	1,68
Ago	35,0	25,6	18,2	16,8	55,0	6,5	0,3	283,80	1,72
Set	35,3	27,1	20,7	14,6	57,0	35,9	0,5	191,30	1,53
Out	33,5	26,8	21,8	11,7	71,0	133,6	0,7	178,10	1,36
Nov	31,9	26,1	21,8	10,1	77,0	216,9	0,8	162,30	1,29
Dez	31,0	25,5	21,7	9,3	82,0	284,2	0,8	144,90	1,22
Ano	32,5	25,6	20,6	11,9	72,7	1601,0	0,6	2451,70	1,37

Nota: Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET 2017).

3.2.1 Seleção das espécies arbóreas

Recentes estudos da Universidade Federal do Tocantins (UFT) sobre a biodiversidade na arborização urbana têm apontado superior predomínio das

seguintes espécies: *P. aquática* Aubl. (Monguba), *M. indica* L. (Mangueira), *C. pluviosa* DC. (Sibipiruna), *S. malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (Jambo vermelho) e *L. tomentosa* (Benth.) Fritsch (Oiti) (SANTOS et al., 2016; SILVA, 2015; SANTOS et al., 2013; SILVA e SANTOS 2012; SANTOS e SILVA 2011). Neste sentido, foram escolhidas as seguintes espécies: Oiti, Mangueira, Monguba, Sibipiruna e Jambo. Estas não apresentam desfolha durante todo o ano, ou seja, são perenes.

Também foram escolhidos três indivíduos arbóreos por espécie com dados morfológicos o mais próximo entre eles e que cumprem uma série de condições do local em estudo- condições apontadas na subsecção a seguir. Seus dados morfológicos característicos foram expostos na (Tabela 12). Os dados morfológicos considerados foram: a altura total (AT) e raio da copa da árvore. Neste último foi considerado o raio médio (RM) que vem calculado em metros:

$$RM = (R1 + R2) / 2.$$

Tabela 12: Principais características morfológicas dos indivíduos arbóreos considerados pelo estudo.

Nome científico	Nome comum	*DAP (cm)	*RM (m)	*AT (m)
<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	85,9	9,6	25,0
		88,8	8,5	24,5
		86,6	9,9	20,0
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & LMPerry	Jambo vermelho	20,7	2,2	6,0
		25,5	2,9	7,0
		17,5	2,8	7,0
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	68,8	5,6	12,0
		68,4	6,8	7,5
		40,1	4,3	7,0
<i>Pachira aquática</i> Aubl.	Monguba	61,1	4,6	8,7
		37,9	3,4	8,0
		36,0	3,8	8,5
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	43,9	3,7	5,0
		38,2	3,7	4,5
		47,7	2,9	5,0

* DAP: diâmetro à altura do peito em cm. RM: raio médio em m. AT: altura total em m.

3.2.2 Seleção dos locais de medição

Na seleção dos locais de medição do experimento deviam estar em condições de local similares. Para isso, estas foram escolhidas só aquelas que tiveram as seguintes condições listadas a continuação:

- As avenidas ou ruas apresentam asfalto.
- De nenhuma forma existe sombreamento afetado ao indivíduo estudado que possa vir de outro tipo de elemento físico construído ou por outro indivíduo arbóreo.
- No caso de presença de outras árvores, estas ficam mínimo até 25 metros longe do indivíduo arbóreo em estudo.

Os indivíduos arbóreos selecionados devem, então, cumprir com tais condições, além das condições morfológicas semelhantes, perfazendo em total de 15 indivíduos arbóreos espalhados pelo setor central de Gurupi.

3.2.3 Medição dos parâmetros ambientais e conforto térmico

Para a coleta de dados foi utilizado uma estação meteorológica portátil, marca Skymaster, modelo SM-28, com recente calibração de fábrica (02/2016) e suportada por um tripé a uma altura de 1,50 m do chão.

Na medição dos parâmetros têm-se as seguintes considerações:

- a) Quatro pontos de amostragem localizados radialmente na direção da rua ou avenida a 0 m, 5 m, 10 m e 15 m, a partir do fuste da árvore e assim etiquetados: Posição 0 m, Posição 5 m, Posição 10 m e Posição 15 m;
- b) A Posição 0 m, é considerada como sombra, já que sempre ficou embaixo da copa da árvore, ou seja, a posição que recebe e representa a maior influência da árvore;
- c) A Posição 15 m como a posição que sempre ficou no sol, ou seja, a posição que recebe a menor influência da árvore e representa a ausência da sua influência;
- d) Considera-se um escalonamento gradativo decrescente nas atenuações das variáveis: temperatura do ar⁸ (T_a) e carga térmica radiante (C_{tr}), e no incremento da variável umidade relativa do ar (U_{ra}) desde a posição sombra à posição sol;

⁸ A temperatura do ar é também conhecida por outros autores como temperatura seca, temperatura de bulbo seco ou temperatura ambiente (MONDELO et al., 2001).

- e) Considera-se presença do raio de influência à existência da influência da árvore para uma variável ambiental em questão (T_a , U_{ra} ou C_{cr});
- f) Considera-se que haverá presença se cumpridas as hipóteses de sequência (HS) e de desigualdade (HD), posteriormente mencionadas.
- g) Considera-se efeito do raio de influência à variação positiva ou negativa entre o valor da variável ambiental em questão (T_a , U_{ra} ou C_{cr}) na posição sombra e o valor na posição sol;
- h) Considera-se alcance do raio de influência à posição mais longe do fuste da árvore, com uma atenuação de 3% ou maior com respeito à posição sol;
- i) Considera-se que o efeito do raio de influência deve cumprir com a hipótese HD, ou seja, deve superar a incerteza-padrão total considerada na medição.

Para as hipóteses foram considerados alcances de 15 m ou inferiores, de modo similar que a metodologia de Ferreira e Herrmann (2016) e Herrmann, (2008), ou seja, para fins de ratificação de não somente a presença, mas também o efeito e o alcance da influência dos exemplares da árvore estudados nos seus arredores, e dos tipos de hipóteses levados em consideração. Neste sentido, tem-se a primeira hipótese: a hipótese de sequência (HS) que consiste nas seguintes desigualdades:

$$M_{T_a}(0 \text{ m}) < M_{T_a}(5 \text{ m}) < M_{T_a}(10 \text{ m}) < M_{T_a}(15 \text{ m}) \quad (1)$$

$$M_{U_{ra}}(0 \text{ m}) > M_{U_{ra}}(5 \text{ m}) > M_{U_{ra}}(10 \text{ m}) > M_{U_{ra}}(15 \text{ m}) \quad (2)$$

$$M_{C_{cr}}(0 \text{ m}) < M_{C_{cr}}(5 \text{ m}) < M_{C_{cr}}(10 \text{ m}) < M_{C_{cr}}(15 \text{ m}) \quad (3)$$

E ainda, tem-se a hipótese de desigualdade das medidas extremas (HD), que consiste nas seguintes desigualdades:

$$|(0\text{m}) - M_{T_a}(15 \text{ m})| > |E_{T_a}(0\text{m}) + E_{T_a}(15\text{m})| \quad (4)$$

$$|M_{U_{ra}}(0\text{m}) - M_{U_{ra}}(15 \text{ m})| > |E_{U_{ra}}(0\text{m}) + E_{U_{ra}}(15\text{m})| \quad (5)$$

$$|M_{C_{cr}}(0\text{m}) - M_{C_{cr}}(15 \text{ m})| > |E_{C_{cr}}(0\text{m}) + E_{C_{cr}}(15\text{m})| \quad (6)$$

Onde:

M= Valor Médio da variável; e

E= Incerteza-padrão Total do Valor Médio da variável.

Se ambas as hipóteses (HS e HD) mostrarem-se satisfeitas para uma variável particular, é possível considerar a presença de raio de influência da árvore. Se a hipótese HD mostra-se satisfeita, é possível considerar quantificável o efeito do raio de influência.

A incerteza-padrão total foi calculada tendo em consideração as seguintes fontes de incerteza:

- 1) Limite na resolução do instrumento de medida;
- 2) Efeitos desconhecidos das condições ambientais;
- 3) Valores inexatos dos padrões e materiais de referência utilizados;
- 4) Aproximações e hipóteses incorporadas no método e no procedimento;
- 5) Definição incompleta do mensurando ou da magnitude de medida; e
- 6) Valores inexatos de constantes e outros parâmetros de fontes externas.

Vale destacar o emprego de um único equipamento: uma estação meteorológica portátil marca *Skymaster*, modelo SM-28, com recente calibração de fábrica (02/2016). As especificações de medição do equipamento são as se seguem (Tabela 13):

Tabela 13: Especificações técnicas da estação meteorológica portátil Skymaster.

Precisão	Temperatura	Umidade Relativa	Velocidade do vento	Índice de Calor
Erro da Medição	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Alcance de variáveis	0 – 50 °C	0 – 99 %	0,18 – 39,78 m/s	21 – 68,78 °C
Tempo de resposta	1 minuto	1 minuto	2 segundos	1 minuto

Fonte: Manual do fabricante *Skymaster* SM-28.

As incertezas referentes aos valores inexatos e de limitação do aparelho empregado (pontos de fonte de incerteza 1, 3 e 6) já mencionados, se fazem presentes nas especificações supramencionadas. As condições da abordagem ajudam a minimizar os efeitos desconhecidos das condições ambientais (ponto 2), bem como na definição das incertezas dos pontos 4 e 5.

As incertezas-padrões totais das médias das variáveis foram calculadas com base em suas distribuições probabilísticas possíveis, observando-se as distribuições de frequências (Incertezas de Tipo A) e supostas *a priori* (Incertezas de Tipo B). De

modo específico, as incertezas totais foram assim calculadas: a raiz quadrada da soma dos quadrados das incertezas Tipo A e Tipo B estendidas a 58% e a 95% de nível de confiança. Nos casos que envolvessem cálculos indiretos, deu-se o emprego do método da propagação de erros.

As incertezas Tipo A foram calculadas empregando o método geral, levando em consideração as repetições ou os graus de liberdade, além de dois níveis de confiança 68% e 95%, presumindo uma distribuição T-Student para o cálculo da incerteza expandida.

As incertezas Tipo B foram calculadas empregando as especificações da estação portátil e pressupondo uma distribuição retangular com dois níveis de confiança 58% e 95% para o cálculo da incerteza estendida.

As variáveis (T_a) e (U_{ra}) são medidas diretamente com a estação meteorológica portátil. Não obstante, a variável (C_{cr}), que auxilia na avaliação dos efeitos da incidência solar, pertence a uma variável medida indiretamente.

O modelo para o seu cálculo é aquele proposto por Esmay (1979) e recentemente empregado por Ferreira e Herrman (2016). A C_{cr} estima quanto seria a radiação total percebida pelo objeto em estudo (um indivíduo humano típico) de todo o espaço ao redor. Esta pode ser calculada a partir da equação 7:

$$C_{tr} = \sigma (T_{rm} + 273)^4 \quad (7)$$

Onde:

C_{tr} = carga térmica radiante ($W m^{-2}$);

σ = Constante de Stefan – Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$; e

T_{rm} = Temperatura Radiante Média ($^{\circ}C$).

Tal modelo emprega o conceito do parâmetro Temperatura Radiante Média⁹ (T_{rm}), que ajuda para estimar indiretamente o intercâmbio de calor por radiação entre o homem e o seu entorno. Em geral, os modelos T_{rm} estimam uma temperatura equivalente, comparando o sistema a um sistema hipotético em equilíbrio térmico. Neste último, todos os elementos são considerados uniformemente negros para remover os efeitos das reflexões.

⁹ TRM: Corresponde à temperatura ambiente de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra para eliminar o efeito de reflexão, com a qual o corpo (neste caso o globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto à do ambiente considerado (FERREIRA E HERRMAN, 2016).

A determinação da T_{rm} somente se dá por meio de que sejam capazes de integrar a um valor médio à radiação, em geral, heterogênea, proveniente dos objetos circundantes no entorno (MONDELO, 2001). Um destes dispositivos é o Termômetro de Globo, que mede a Temperatura de Globo (T_g).

Dois modelos T_{rm} muito utilizados são aqueles estabelecidos pela norma (ISSO, 1998) para convecção natural e artificial/forçada. Conforme Mondelo (2001), fazendo uso do conceito de temperatura de globo e supondo um termômetro de globo de esfera de 15 cm de diâmetro e de material com um coeficiente de emissividade de 0,95, os modelos são estabelecidos conforme as Equações 8 e 9, a seguir.

a) Para a convecção natural, o modelo é:

$$T_{rm} = [(T_g + 273)^4 + 0.4 \times 10^8 |T_g - T_a|^{0.25} (T_g - T_a)]^{0.25} - 273 \quad (8)$$

b) Para a convecção artificial/forçada, o modelo é:

$$T_{rm} = [(T_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 Rv^{0.6} (T_g - T_a)]^{0.25} - 273 \quad (9)$$

Em tais modelos, T_g é a temperatura de globo em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), e Rv é a rapidez do vento em metros por segundo (m s^{-1}).

A fim de escolher o modelo apropriado, têm-se duas abordagens, a saber:

- 1) o coeficiente de transferência convectiva do calor; e
- 2) a rapidez do vento.

Sobre a questão, segundo Ferreira e Herrman (2016), estima-se um coeficiente de transferência convectiva do calor para cada caso de convecção e comparam-se os coeficientes na seleção do modelo. Os coeficientes de transferência convectiva de calor resultam nas Equações 10 e 11, a seguir.

$$h_{cn} = 2.25 |T_g - T_a|^{0.25} \quad (10)$$

$$h_{ca} = 13.46 Rv^{0.6} \quad (11)$$

Onde:

h_{cn} e h_{ca} =aplicam-se aos casos de convecção natural e artificial respectivamente.

Se $h_{cn} > h_{ca}$, aplica-se a equação 4, contrariamente para $h_{cn} < h_{ca}$, aplica-se a equação 5.

Mondelo (2001) destaca que o modelo para convecção natural deveria ser empregado para $Rv < 0.15 \text{ m s}^{-1}$, e o modelo para convecção artificial deveria para $Rv > 0.15 \text{ m s}^{-1}$.

Ter um Termômetro de Globo pode algo custoso. Por conseguinte, alguns trabalhos apresentam modelos para estimar a temperatura de globo com base nas medições meteorológicas básicas. O modelo utilizado para calcular a Trm foi de e o modelo de Liljergren (LILJERGREN, 2008).

Neste sentido, encontrou-se a função: "fMRT()", uma macro de Visual Basic para aplicação em Microsoft Excel (2010) que se situa dentro da aplicação WBGT & UTCI distribuída pela empresa neozelandesa ClimateSoft Ltd a través do *sito web* ClimateCHIP (www.climatechip.org).

Foi possível calcular o parâmetro Trm das variáveis ambientais (T_a) em $^{\circ}\text{C}$, radiação solar (S) em W m^{-2} e rapidez do ar (Rv) em m s^{-1} . Ela emprega o modelo de Liljergren para estimar a (T_g) das variáveis ambientais e, posteriormente, emprega o modelo de Ramsey e Bernard (2000) para estimar o parâmetro Trm da T_g . E ainda, ela assume as seguintes suposições:

- 1) os albedos das superfícies são de 0,4;
- 2) a pressão atmosférica é de 1010 hPa;
- 3) a rapidez do vento tem que ser maior de $0,1 \text{ m s}^{-1}$;
- 4) o angulo zenital é de 0° ;
- 5) a proporção de radiação solar direita é de 0,8 (a difusa, 0,2).

A relação entre a (T_{rm}) e (S) depende das proporções direita e difusa e do angulo zenital. Uma vez que os dias analisados no presente estudo foram ensolarados, as proporções para a radiação solar direita e difusa propostas por este modelo deveriam ser validas. No entanto, aqui, a média do grau zenital de todas as medições foi de 35° C, o que significou um erro na Trm que não foi levado em consideração. Neste sentido, a Trm é inclusa nos dados das tabelas.

Assim, a comparação das variações das variáveis microclimáticas (T_a , U_{ra} e C_{cr}) entre as espécies foi possível graças ao emprego do cálculo percentual

variacional entre os dados das amostras nas posições sombra (ou 0 m), 5 m e 10 m referidas à posição sol (ou 15 m). Neste sentido, foi determinado o parâmetro Variação Relativa Percentual para cada uma das distâncias previamente definidas, ou seja, para definir os raios de influência para cada variável microclimática (VR_{Ta} , VR_{Ura} , VR_{Ccr}). Logo, o parâmetro foi assim calculado na Equação 12:

$$VR_{VC;x} = \frac{VA_{VC;15\text{ m}} - VA_{VC;x}}{VA_{VC;15\text{ m}}} \times 100\% \quad (12)$$

Onde, para um mesmo individuo arbóreo:

$VR_{VC;x}$ = variação relativa em porcentagem (%) da variável ambiental considerada VC (Ta , Ura ou Ccr) referida à posição x ;

$VA_{VC;15\text{ m}}$ = variação absoluta da VC a 15 m do fuste da árvore; e

$VR_{VC;x}$ = variação absoluta da VC a $x = 0$ m, 5 m ou 10 m do fuste da árvore.

Para estimar como as árvores influem sobre o microclima, fez-se uso da Carta bioclimática¹⁰ adaptada para climas quentes (FERREIRA e HERRMAN, 2016; HERRMANN, (2008) e OLGAY, 1968) (Figura 6).

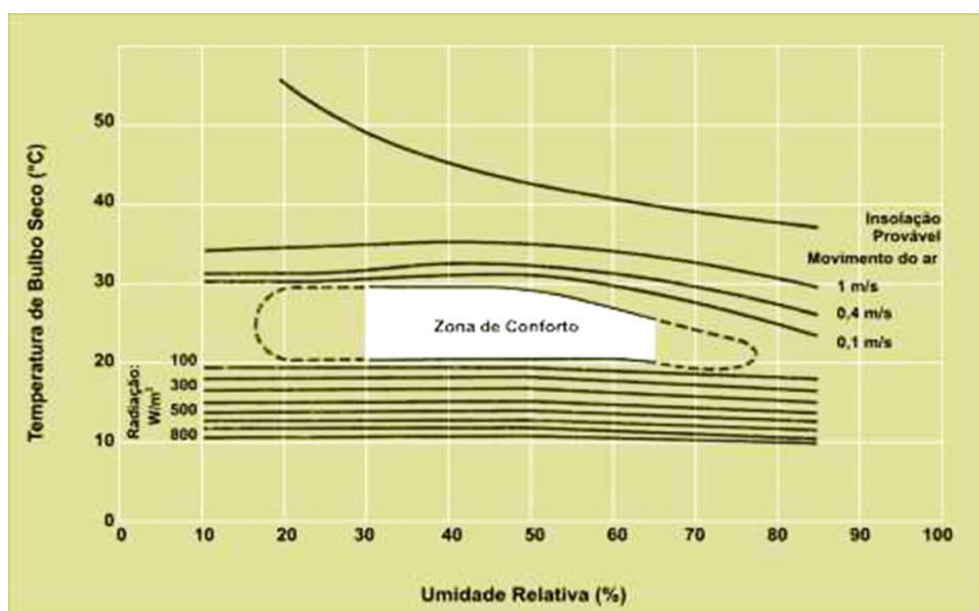


Figura 6: Carta Bioclimática de Olgay para habitantes de regiões de clima quente, em trabalho leve, vestindo 1 "clo"¹¹.

¹⁰ Carta bioclimática: São sistemas de representação gráfica das relações entre as diferentes variáveis térmicas que influenciam a sensação de conforto térmico (OLGAY, 1968).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Análise dos dados

Na (Tabela 14), têm-se os valores médios e os erros experimentais incerteza-padrão do total dos dados microclimáticos obtidos para cada espécie arbórea. Esta também apresenta os resultados das hipóteses de sequência (HS) e desigualdade (HD).

Entre as componentes dos erros experimentais (E) apresentados na (Tabela 13), a incerteza-padrão do Tipo A foi calculada com o emprego de uma distribuição T-student, um nível de confiança de 68% e 6, 5 ou 4 graus de liberdade, conforme o caso da Mangueira e Monguba, Jambo e Sibipiruna ou Oiti, respectivamente.

As incertezas-padrões do Tipo B para a exatidão e resolução do aparelho de medição foram calculadas em uma distribuição retangular e um nível de confiança de 58%. Ao observar a (Tabela 14), mostra-se evidente que não foi possível o emprego dos maiores níveis de confiança devido ao fato de que os intervalos definidos pelas incertezas sobrepõem as tolerâncias de praticidade.

Além das observações sobre as incertezas, outro aspecto importante é que no mês de abril, em vez de três dias de coleta, foram empregados quatro dias, uma vez que não se conseguiu encerrar todos os dados necessários.

Neste sentido, o período compreendido se deu entre os dias 06 e 09 de abril de 2016. Os dias de coleta do mês de julho são referentes ao período 14 a 16 de julho de 2016.

¹¹ Clo: É uma unidade de medida usada para o vestuário (OLGYAY, 1968).

Tabela 14: Valores da média (M), erros experimentais (E), hipóteses de sequência (HS) e de desigualdade (HD) de temperatura do ar (Ta, °C), umidade relativa do ar (Ura, %), temperatura média radiante (Trm, °C) e carga térmica radiante (Ctr, Wm⁻²) obtida para os exemplares de árvores avaliados nos dias da coleta.

Espécie Posição (m)	10 hs								12 hs								14 hs								
	Rapidez do vento (Rv, m s ⁻¹)								Rapidez do vento (Rv, m s ⁻¹)								Rapidez do vento (Rv, m s ⁻¹)								
	M E				M E				M E				M E				M E								
	0,7		0,3		0,7		0,2		0,7		0,3		0,6		0,3										
Ta (°C)	Ura (%)	Trm (°C)	Ctr (W/m ²)				Ta (°C)	Ura (%)	Trm (°C)	Ctr (W/m ²)				Ta (°C)	Ura (%)	Trm (°C)	Ctr (W/m ²)								
			M	E	M	E				M	E	M	E				M	E	M	E	M	E			
Mangueira	0	30,5	0,8	48	7	31	2	490	20	32,8	0,8	44	7	58	2	680	20	34,1	1,0	39	7	74	2	820	20
	5	30,9	0,9	47	7	32	2	490	20	33,3	0,9	44	7	59	2	690	20	34,3	1,0	38	7	74	2	820	20
	10	31,4	0,7	47	6	32	2	493	14	33,2	0,8	43	7	59	2	690	20	34,4	0,8	37	7	75	2	830	20
	15	32,8	0,9	45	5	34	2	503	14	33,9	0,9	43	7	59,3	1,4	691	12	35,8	0,9	37	6	76,8	1,4	849	14
	HS	SI	NÃO		SI	NÃO				NÃO	NÃO	NÃO	NÃO				SI	NÃO		SI	NÃO				
	HD	SI	NÃO		NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO		NÃO		
Jambo	0	32,5	0,8	43	7	36	2	517	11	35,3	1,0	40	6	60	3	700	30	36,2	1,0	34	6	78	1	856	14
	5	33,1	1,0	43	7	37	2	523	13	35,8	1,0	40	5	61	3	700	30	36,7	0,8	34	5	77	2	850	20
	10	34,1	1,1	42	7	38	2	530	20	35,8	1,0	38	5	61	3	710	30	37,9	1,2	33	5	79,4	1,3	874	13
	15	34,7	1,0	39	6	39	2	535	12	36,8	1,0	37	5	63	3	720	30	37,5	1,1	33	5	78,3	1,0	863	10
	HS	SI	NÃO		SI	SI				SI	NÃO		SI	SI				NÃO	NÃO		NÃO	NÃO			
	HD	SI	NÃO		NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO		NÃO		
Monguba	0	32,9	0,9	41	7	35	2	510	20	35,1	0,7	36	5	59	2	690	20	36,4	0,8	34	6	76,3	0,9	844	9
	5	33,2	1,0	40	7	36	2	520	20	35,6	0,8	36	5	60	2	690	20	36,7	0,7	34	5	77,1	1,0	852	9
	10	33,8	1,1	43	7	37	3	520	20	36,1	0,7	36	5	60	2	700	20	37,5	0,8	34	4	76,9	1,3	850	12
	15	34,9	1,1	42	7	38	3	530	20	36,5	0,7	37	5	56	6	660	50	37,6	0,8	34	6	77,2	1,4	853	13
	HS	SI	NÃO		SI	NÃO				SI	NÃO		NÃO	NÃO				SI	NÃO		NÃO	NÃO			
	HD	SI	NÃO		NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO		NÃO		
Sibipiruna	0	32,1	0,7	43	7	32,9	1,1	496	7	34,7	0,9	40	5	56	5	670	40	35,6	0,8	34	5	76,3	1,4	844	14
	5	32,3	0,7	43	7	33,2	1,1	498	7	34,7	0,9	39	4	57	5	670	40	35,7	0,7	35	5	75,6	1,0	837	9
	10	32,7	0,8	43	6	33,6	1,0	501	7	35,4	0,9	40	5	58	5	680	40	37,1	0,8	34	5	76,9	0,9	849	9
	15	33,2	1,0	42	7	34,2	1,2	505	8	36,0	0,9	38	4	58	5	680	40	37,4	1,0	33	5	76,8	1,1	849	11
	HS	SI	NÃO		SI	SI				SI	NÃO		SI	NÃO				SI	NÃO		NÃO	NÃO			
	HD	NÃO	NÃO		NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO				SI	NÃO		NÃO	NÃO			
Oiti	0	32,5	0,8	39	7	34	2	502	12	34,6	0,9	42	7	60	3	690	30	36,5	1,1	37	6	77	2	850	20
	5	32,7	0,9	40	7	34	2	504	12	34,7	0,9	42	7	60	4	700	30	36,4	1,1	36	6	77	2	860	20
	10	33,5	0,8	40	7	35	2	510	11	35,8	0,9	41	6	60	3	700	20	37,4	1,2	35	6	78	2	860	20
	15	35,0	0,8	39	10	37	2	523	12	36,1	0,9	39	6	61	3	700	20	37,5	1,1	37	5	79	2	870	20
	HS	SI	NÃO		SI	SI				SI	NÃO		SI	NÃO				NÃO	NÃO		SI	NÃO			
	HD	SI	NÃO		NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO				NÃO	NÃO		NÃO	NÃO		NÃO	

■ X ≥ 20 %
■ 20 % > X ≥ 10 %
■ 10 % > X ≥ 5 %
■ 5 % > X ≥ 1 %

Obs: Para avaliar rapidamente a indeterminação relativa de cada valor, é preciso empregar a escala de erro relativo observado na escala.

Pela (Tabela 14), é possível perceber que para quase todos os casos, ao afastar-se do fuste da árvore, a T_a aumenta (HS aceita para T_a em todos os horários com $p=0,80$). No entanto, poucos foram os casos onde as atenuações entre a posição sombra e sol foram maiores do que os erros experimentais (HD rejeitada para T_a em todos os horários com $p=0,33$), deixando somente às 10 h como o melhor grupo horário (HD aceita para T_a às 10 h com $p=0,80$), e demonstrando, para o presente caso, a existência do raio de influência (atribuição da variável- presença).

Por outro lado, não se mostrou evidente o aumento da C_{cr} e a diminuição da U_{ra} ao afastar-se do fuste da árvore (HS rejeitadas para C_{cr} e U_{ra} para todos os horários com $p=0,27$ e $p=0$, respectivamente), e tampouco para as atenuações maiores do que os erros experimentais (HD rejeitadas para C_{cr} e U_{ra} para todos os horários com $p=0$). Assim, não foi possível demonstrar nenhum raio de influência para tais variáveis.

Ferreira e Herrman (2016) comparando as espécies: Lanterneiro, Sibipiruna, Saboneteira e Barbatimão. Também evidenciou o aumento da C_{cr} e a diminuição da U_{ra} ao afastar-se do fuste da árvore (HS rejeitada para C_{cr} e U_{ra} em todos os horários com $p=0,33$ e $p=0,42$, respectivamente).

Os autores, ainda demonstraram o aumento da T_a para todos os horários (Hs aceita em todos os horários com $p=0,75$), mas, não obstante, não foi possível comparar as atenuações existentes entre as posições sombra e sol, ou seja, a hipótese HD, uma vez que não foram reportados os erros experimentais e, por conseguinte, a não afirmação da existência do raio de influência para algum caso.

Diante do exposto, não foi possível confirmar um registro acreditável sobre a diminuição da umidade do ar como efeito da árvore e sobre o efeito do sombreamento na carga térmica radiante. Em relação ao sombreamento, Ferreira e Herrman (2016); Herrmann, (2008) e Waldige (1994) demonstram maiores atenuações na variável C_{cr} do que a ocorrência no estudo aqui apresentado; isto é, devido ao fato de que no modelo empregado para Trm , o *input* de radiação solar utilizado foi aquele da estação meteorológica da cidade de Gurupi, e não a radiação solar direta e indireta medida em embaixo à copa da árvore, como deveria ser.





As variações encontradas em C_{cr} entre as diferentes posições se deram devido às variações na temperatura do ar e na rapidez do vento, e não pela radiação solar direta ou indireta, salvo as diferentes horas de coleta para os exemplares de uma mesma espécie.

Uma vez que somente a variável T_a se mostrou benéfica para análise, os valores médios das variações relativas percentuais para esta (VR_{T_a}) foram observados para o exame geral dos resultados (Tabela 14). Tal exame se deu de modo similar conforme descrito por Ferreira e Herrman (2016) e Herrmann, (2008). O desempenho entre as espécies foi avaliado a partir dos valores médios encontrados para as VR_{T_a} . A existência de raios de influência das espécies em estudo foi confirmada a partir dos valores médios das variações relativas para cada posição e sendo cotejados com as horas de amostragem.

É possível observar a importância do sombreamento para atenuar a T_a . Todas as espécies proporcionaram na posição sombra atenuações superiores aos 3% ($\sim 1^\circ C$) em todos os horários (Tabela 15). As espécies Mangueira e Oiti proporcionaram as maiores atenuações ($\sim 7\%$ ou $2^\circ C$) na sombra às 10 h, seguidas pelas espécies Jambo e Monguba, e apresentam os melhores raios de influência. Os maiores raios de influência (valores iguais ou superiores aos 3% na posição 10 m) às 10 h foram identificados nas espécies Mangueira, Monguba e Oiti, enquanto que o restante dos raios chegou até a posição 5 m. Às 12 h, o maior raio de influência foi identificado na Jambo, com 10 m, enquanto na Sibipiruna e na Oiti apontaram 5 m.

Tabela 15: Variação Relativa Percentual (VR%) da atenuação da variável ambiental Ta por cada espécie de árvore e por cada horário estimada com a Equação 12 e calculada em relação à Posição 15 m (sol) para a Posição 0 m, Posição 5 m e Posição 10 m.

Variação Relativa da Ta (%) com respeito Posição 15 m.	Horário	Espécie	0 m		5 m		10 m	
			Valor	Atributo*	Valor	Atributo*	Valor	Atributo*
			10 h	Mangueira	7,1	abcA	5,8	abB
Jambo	6,3	cdA		4,6	cdeB	1,8	deC	
Monguba	5,9	cdA		5,0	cdeB	3,2	bcC	
Sibipiruna	3,5	eAB		2,9	eABC	1,5	deABC	
Oiti	7,3	acA		6,5	aB	4,36	abC	
12 h	Mangueira	3,19	eA	1,9	eBC	2,1	bBC	
	Jambo	4,2	abA	2,9	cB	2,7	aBC	
	Monguba	3,63	cdA	2,4	dB	1,04	dC	
	Sibipiruna	3,8	cdA	3,69	abAB	1,82	cC	
	Oiti	4,3	abAB	4,0	aB	0,83	eC	
14 h	Mangueira	4,9	abAB	4,2	abeABC	4,0	aABC	
	Jambo	3,5	bcdAB	2,2	deB	1,0	bcBC	
	Monguba	3,4	cdA	2,5	cdeB	0,27	cdeC	
	Sibipiruna	5,0	abAB	4,6	abAB	1,0	bcdC	
	Oiti	2,7	ceAB	3,0	cdeAB	0,4	cdC	

Escala de Cores para Erro Relativo Percentual		
		X ≥ 20 %
		20 % > X ≥ 10 %
		10 % > X ≥ 5 %
		5 % > X ≥ 1 %

*Obs: O atributo é designado é um código alfabético gerado com a incerteza-padrão total (Nível de confiança de 95%). Para um mesmo horário, valores com atributos que tenham as mesmas letras minúsculas (comparação por linha, Espécie) correspondem a valores semelhantes estatisticamente, ao passo que valores com atributos que tenham as mesmas letras maiúsculas (comparação por coluna, Posição) correspondem a valores semelhantes estatisticamente.

Às 14 h, o maior raio de influência foi identificado na Mangueira, com 10 m, enquanto que na Sibipiruna e a Oiti foram identificados aos 5 m. No horário mais quente (14 h), as espécies Mangueira e Sibipiruna demonstraram os melhores desempenhos. Tais resultados demonstram a atuação das espécies de árvores nas imediações.

Obtiveram-se bons resultados para a Sibipiruna, principalmente nos períodos mais quentes, o que coincide com o reportado por Ferreira e Herrman (2016) e Herrmann, (2008), que estudaram a influência no entorno imediato no Cerrado Goiano, reportaram para a Sibupiruna entre os meses de setembro a novembro.

Um estudo de Abreu-Harbich; Labaki; Matzarakis (2015) reportou maior atenuação da espécie Sibipiruna em sombra em relação ao sol, com até 84% na diminuição entre as 10 h e 14 h.

No entanto, mediante o bom desempenho da Sibipiruna, as espécies Oiti e Mangueira tiveram os melhores desempenhos, com destaque ao Oiti, que é a espécie que representa aproximadamente o 70% da população arbórea no setor central da cidade de Gurupi.

Nas análises seguintes têm-se as espécies Oiti e Sibipiruna, a primeira, é uma das espécies com melhor resultados na tabela anterior, e aquela que representa a maior parte das árvores no microclima em estudo. A segunda tem sido utilizada em outros trabalhos e pode ser considerada uma referência.

Os dados da Ta apresentam, com certa clareza, a existência (presença) do raio de influência sobre as variáveis relacionadas às mudanças microclimáticas (Tabelas 14 e 15). A (Figura 6), mostra que as variações da Ta, para as quatro posições, provam as hipóteses iniciais HS e HD que levam a uma avaliação positiva da existência do raio de influência sobre o microclima.

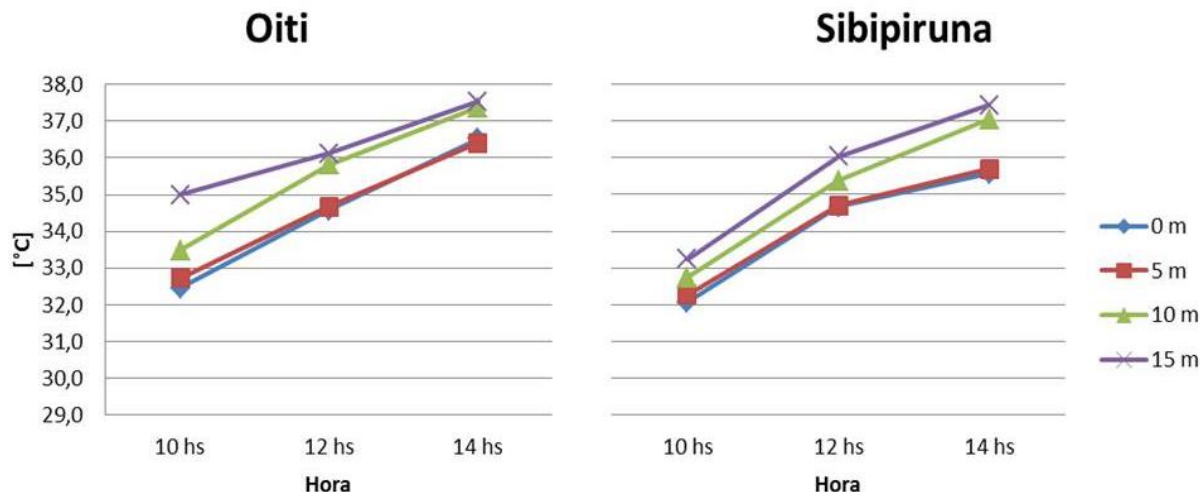


Figura 7: Médias de temperatura do ar considerando os raios de influência e os horários determinados a partir do fuste à 0 m (sombra), 5 m, 10 m e 15 m (sol) para as espécies de árvores de *L. tomentosa* (Oiti) e *C. pluviosa* (Sibipiruna).

A proximidade das linhas referentes às posições 0 m e 5 m do fuste para todos os horários para as duas espécies (Figura 6) se mostram ou são muito semelhantes devido ao fato de que a dimensão da copa cobre com sombra tais posições. Este pode provar a importância do sombreamento na atenuação da referida variável microclimática.

A diferença entre os valores em sombra e em sol situou-se na ordem dos 3°C para a espécie Oiti no início das medições, diminuindo nos horários subsequentes. Contrariamente, para a Sibipiruna, a diferença inicial foi de 1°C, e aumentou até 2°C para o final do período de amostragem. No entanto, tal diferença nunca foi inferior a 1°C para a Oiti.

Diante do exposto, tem-se uma avaliação positiva da hipótese do raio de influência dos exemplares de árvores das espécies estudadas e da importância do sombreamento na atenuação da Ta. Nos trabalhos de Ferreira e Herrman (2016) e Herrmann, (2008), no período analisado (das 10 h às 14 h), as mudanças medidas apresentaram a sequência do tipo: atenuação sol/sombra \geq atenuação sol/5 m > atenuação sol/10 m.

Na (Figura 6), bem como na (Figura 7) a Sibipiruna apresentou uma vantagem na atenuação nos horários mais quentes. No entanto, a Mangueira, que não foi escolhida para este análise em questão, apresentou ainda melhores resultados que a Sibipiruna para a faixa horária (Tabela 14).

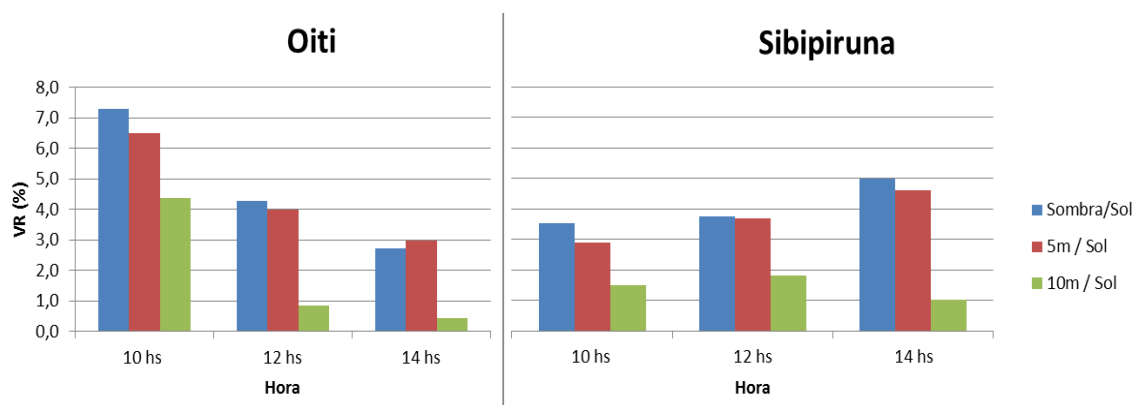


Figura 8: Variações relativas percentuais (VR%) das mudanças de temperatura do ar (Ta) a partir da comparação das temperaturas a sombra, a 5 m e a 10 m com respeito ao sol (15 m do fuste) para as espécies de árvores *L. tomentosa* (Oiti) e *C. pluviosa* (Sibipiruna).

Em suma, de igual modo, como manifestado por Herrmann, (2008) e Ferreira e Herrman (2016), Martini et al. (2016), Martins et al. (2011) e Redin et al. (2010), Herrmann, (2008) as árvores urbanas devem ser melhor valorizadas, sendo uma ótima estratégia para os projetos ambientais, culminando em benefícios para a amenização das temperaturas urbanas.

3.3.2 Conforto térmico

O conforto térmico foi analisado para as espécies Oiti e a Sibipiruna, dos valores das variáveis microclimáticas expostos na (Tabela 16), uma vez que foram elas as que representam os melhores resultados para diminuição das variáveis Ta e Ccr e incremento da Ura.

Estes foram localizados na Carta Bioclimática de Olgay (1968) e a relação da posição destes pontos na carta referentes à posição da área de conforto permite caracterizar o tipo de desconforto e como atingir o conforto.

Tabela 16: Temperatura (Ta) e Umidade Relativa (Ura) das espécies de árvores *L. tomentosa* (Oiti) e *C. pluviosa* (Sibipiruna) para comparar empregando os critérios Olgay para o conforto térmico.

Espécies	Variáveis Ambientais	Normais Climatológicas Peixe-TO	INMET Peixe-TO	Espaços – Setor Central – Gurupi-TO (microescala)			
				Sol		Sombra	
				10h	14h	10h	14h
Oiti	AT (°C)	32,6	35,4	35,0	37,5	32,5	36,5
	RH (%)	70,5	57,7	39,0	36,8	39,0	36,9
Sibipiruna	AT (°C)	32,6	35,4	33,2	37,4	32,1	35,6
	RH (%)	70,5	57,7	42,1	33,0	43,1	34,3

O ponto de Normais Climatológicas (NC) para o município de Peixe, Tocantins, (Figura 8), indica que os valores de Ta e Ura encontram-se fora da zona de conforto, com base na movimentação do ar, na ordem de 1 m s^{-1} , um pouco mais abaixo do valor de $1,4 \text{ m s}^{-1}$ indicado pelas Normais Climatológicas (NC), como média de velocidade do vento para os meses de abril e julho, representativos do período seco. Tal fato indica que, em geral, naqueles meses, é possível sentir conforto térmico unicamente com ventos próximos a media do vento.

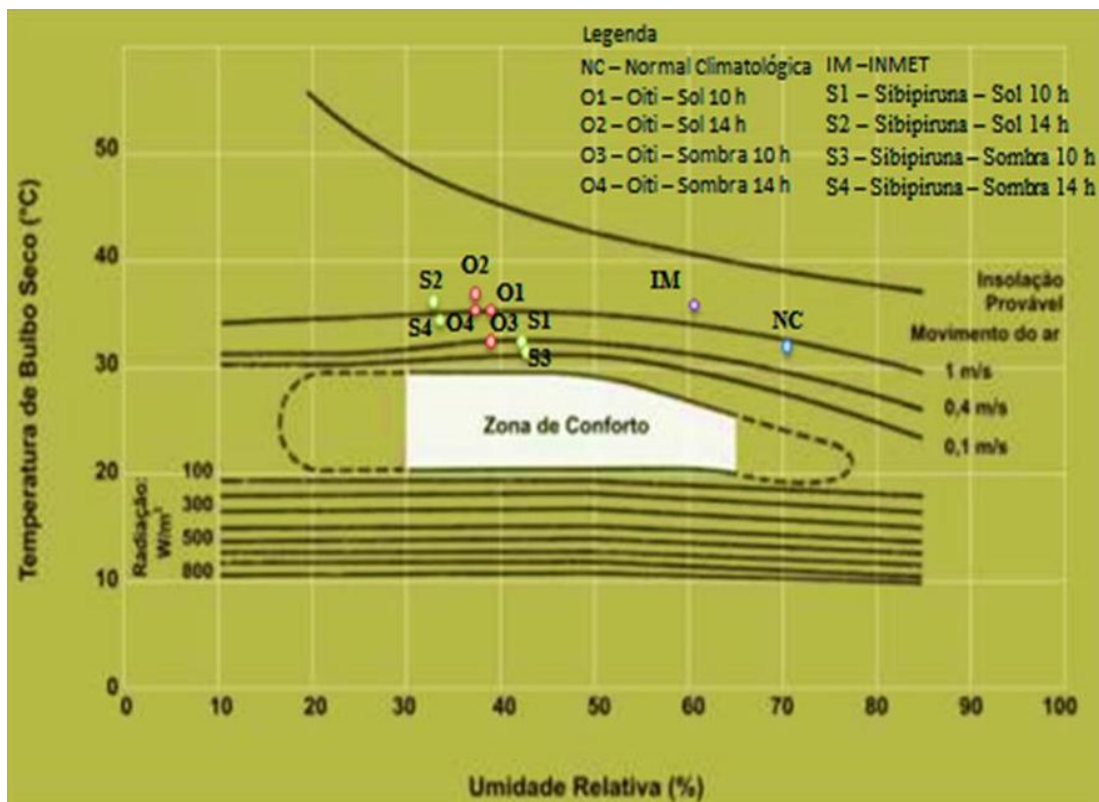


Figura 9: Carta Bioclimática de Olgay (1968) adaptada para clima quente, em trabalho leve, vestindo 1 “clo” ($0,155\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$), com a plotagem dos valores de temperatura e umidade relativa do ar para *L. tomentosa* (Oiti) e *C. pluviosa* (Sibipiruna). Pontos: NC (azul) corresponde às Normais Climatológicas; IM (roxo) correspondente ao valor INMET; O1-4 (vermelho) correspondente aos pontos sol e sombra para as 10 h e 14 h da espécie Oiti; S1-4 (verde) correspondente aos pontos sol e sombra para as 10 h e 14 h da espécie Sibipiruna.

O distanciamento dos valores de NC e IM dos valores obtidos em campo para as duas espécies de árvore (posições O1-4 e S1-4) fornece indícios sobre as diferentes escalas climáticas. Por exemplo, as posições das espécies fornecem informação sobre o microclima urbano, ao mesmo tempo em que os valores indicados pelas Normais Climatológicas representam o macroclima para a microregião de Gurupi.

Em todos os casos analisados, os pontos se mostram fora dos limites estabelecidos pela Zona de Conforto para climas quentes. No entanto, é preciso destacar que sendo a rapidez média do vento de aproximadamente $0,7 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 14), os pontos O3, S1 e S3 atingiriam a Zona de Conforto. Os demais pontos apenas atingiriam a Zona de Conforto com rapidez do vento de até 2 m s^{-1} . Tal fato demonstra a necessidade de um melhor planejamento da arborização urbana e de outros elementos urbanos para um melhor conforto térmico para os cidadãos.

O ponto como: IM representa a média dos dados do INMET para o período de 06 a 09 de abril de 2016, bem como de 14 a 16 de julho de 2016. Neste sentido, é possível observar que o sombreamento e a movimentação do ar podem proporcionar, para este caso, limites aceitáveis para o conforto térmico. Por outro lado, ao comparar o ponto IM com os pontos das duas espécies O1, O2, S1 e S2 (pleno sol às 10 h e 14 h para as duas espécies), é possível perceber a geração de um microclima particular no local onde se encontra a árvore com predomínio de desconforto térmico.

Os pontos O3 e S3, posições em sombra e às 10 h, evidenciam que, além do sombreamento, uma pequena movimentação do ar promove situações de conforto. Uma vez que os valores médios da rapidez do vento para as 10 h (Tabela 14) são superiores (0,7 m/s), é possível afirmar que nestas horas sempre haverá conforto térmico com as espécies em questão, contrariamente, nos pontos O4 e S4 (sombra às 14h).

Embora se situem acima da Zona de Conforto e dos pontos O3 e S3, uma movimentação do ar na ordem de 1 m s^{-1} , promoveria uma condição de conforto. No entanto, para este caso, como o valor médio de R_v registrado nos períodos estudados foi de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ (Tabela 15), não é possível afirmar que o sombreamento proporcionado pelas espécies Oiti e Sibipiruna ajudam a atingir o conforto térmico suficientemente, mas o promovem, sendo necessário uma maior movimentação do ar. Assim, confirma-se a hipótese de que os sombreamentos proporcionados pelas espécies analisadas fomentam uma melhoria no conforto térmico.

3.4 CONCLUSÃO

Foi possível caracterizar a contribuição microclimática nas proximidades de espécies das árvores urbanas em termos de mudanças de temperatura do ar encontrando-se um escalonamento gradativo e inversamente proporcional ao afastarse do fuste.

Não foi possível caracterizar outras contribuições como na umidade relativa devido às incertezas encontradas.

Todas as contribuições mostraram melhorias no conforto térmico, atingindo a zona do conforto quando acompanhadas de ventos leves de até 2 m/s.

As espécies que destacaram foram: Oiti, Mangueira e Sibipiruna, apresentando atenuações médias da temperatura do ar dentre 1°C e 2°C e proporcionando os melhores raios de influência (efeito e alcance). A Oiti e a Mangueira destacaram no horário das 10:00 h, ao passo que a Mangueira e a Sibipiruna no horário da 14:00 h.

Todas as espécies tiveram raios de influência com efeitos superiores aos 0,5°C e alcances maiores a alguns metros do fuste.

3.5 REFERÊNCIAS

ALI, M. F; RAY, S. Study of EM Wave Absorption and Shielding Characteristics for a Bonsai Tree for GSM-900 Band. In: **Progress In Electromagnetics Research**, 2014, 49, 149–157.

ABREU-HARBICH, L. V., LABAKI, L. C., MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. **Landscape and Urban Planning**, v.138,p.99-109, 2015.

AVILÉS, I. R.; CHAPARRO, J. J. G. Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de toluca. **Revista Quivera**, v. 12, n. 1, p. 102–96, 2010.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment. Environmental Engineering in Agriculture and Food Series**. The AVI Publishing Company, Inc. 325p. 1979.

FERREIRA, R. DE C.; HERRMANN, C. R. A. Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado Goiano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 11, n. 1, p. 14–33, 12 jun. 2016.

HERRMANN, A. C. **Qualidade do sombreamento de espécies arbóreas e sua influência no microclima do entorno imediato em ambientes urbanos**. Dissertação de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia p.160. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (INMET). 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. (Acesso em: 27/08/2016).

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STARDARDIZATION (ISO). Ergonomics of the thermal environment - Instruments formeasuring physical quantities, ISO 7726. Genebra, 1998.

LUNDGREN, W. J. C. et al. Análise da temperatura do solo abaixo da copa de três especies de árvores na cidade de serra Talhada–PE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 9, n. 4, p. 1–21, 1 jun. 2015.

MARIN, C.A.; PEREZ, M.D.; SANTOS, A. F. Temperatura em sombra e sol de três espécies de árvores no centro da cidade de Gurupi, Tocantins, **Enciclopédia Biosfera**, Enviado em: 14/02/2017.

MARTINI, A; BIONDI, D; BATISTA, A. C. O porte das árvores e o efeito microclimático-uma contribuição ao planejamento da arborização de ruas. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**: Belo Horizonte/MG, 2014.

MARTINI, A. et al. Microclima em diferentes tipologias de floresta urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 10, n. 4, p. 12–22, 24 fev. 2016.

MONDELO, P. R. et al. Alfaomega (Ed.), **Ergonomía 2: Confort y estrés térmico**, Edicions UPC, S.L., Universitat Politècnica de Catalunya. 2001.

MARTINS V, L. F. et al. Análise da compatibilidade da arborização viária com o ambiente construído na cidade de Luiziana, Paraná, Brasil. . **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 3, p. 103–127. 2011.

OLIVEIRA, A. S. et al. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 389–400, dez. 2013.

OLGYAY, V; FRONTADO, J; CLAVET, L. **Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. 1a Edición 9a Tirada. Spanish edition ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2014.

PLANO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. (**PMAE**). Prefeitura municipal de Gurupi: [s.n.], 2011. Disponível em: <http://www.gurupi.to.gov.br/resources/arquivos-publicados/planos-municipais/agua_esgoto_2013.pdf>. (Acesso em: 01/09/2016).

PANDIT, R.; LABAND, D. N. Energy savings from tree shade. **Ecological Economics**, v.69, p.1324–1329, 2010.

REDIN, C. G et al. Análise da arborização urbana em cinco praças do município de cachoeira do sul, **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n. 3, p. 149–164, 2010.

SANTOS, A.F; CLEITON J, A; APARECIDA D,S,P. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas das praças centrais do município de Gurupi-TO. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 8, n. 4, p. 33–43. 2013.

SANTOS, L.K.L et al. Florística e diversidade de espécies arbóreas em 13 avenidas de Gurupi-TO. **XX Congresso brasileiro de arborização urbana**. / I Congresso Sul Americano da ISA. Belo horizonte. 2016.

SANTOS, A. F; SILVA, S. M. O. Levantamento preliminar das principais espécies de árvores plantadas nas ruas centrais de Gurupi-TO. **15° Congresso Brasileiro, Arborização urbana**. Recife. 2011.

SILVA, E. C. R; et al. Percepção da população quanto à arborização na zona central histórica de Altamira-PA. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 10, n. 3, 2015.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **SEMARH**. Disponível em: <<http://semarh.to.gov.br/>>. Acesso em: 19 set. 2016.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA. **SEPLAN**. GURUPI. Governo do Estado do Tocantins. 2013. Disponível em: <http://www.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/Municipios_Perfil_2013/Gurupi.pdf>. Acesso em: 19 set. 2016.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que existe uma influencia positiva das árvores urbanas, na relação com o microclima e conforto térmico de seu entorno imediato.

A média geral anual do ano 2016 que se encontrou segundo os dias de amostragem foi de $34\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ sendo classificado segundo a NOAA como: cuidado extremo. Isto enfatiza ainda mais o conceito de que as árvores podem ser consideradas como reguladores climáticos.

No bem-estar humano as árvores são uma boa opção para amenizar a temperatura do ar em espaços exteriores urbanos que ajudam para melhorar a sensação de conforto nas cidades, ademais de ter um baixo custo, as árvores geram pequenos aportes que mitigam a temperatura do ar que esta relacionada ao efeito da ilha de calor presente nas zonas mais urbanas. Numa cidade como é Gurupi onde o clima é megatérmico, as árvores fazem pequenas e simples contribuições melhorando o conforto térmico.

Houve mudanças das temperaturas do ar que expressam um escalonamento gradativo e inversamente proporcional e que isto é devido à contribuição dos exemplares de árvore estudados com relação à distância de seu fuste. As espécies que se destacaram foram a Oiti, a Mangueira e a Sibipiruna já que estas apresentaram médias gerais de atenuações da temperatura do ar entre 3% e 5% ou que equivale a entre 1°C e 2°C , sendo os resultados melhores que as espécies Jambo e Manguba.

O modelo estatístico pode-se melhorado segundo os dados observados durante o ano de amostragem. Sendo preciso ter mais de um instrumento de medição meteorológico para facilitar a coleta dos dados. Recomenda-se fazer mais repetições para diminuir o erro estatístico em pesquisas futuras.

Além de caracterizar e analisar o microclima e o conforto térmico, neste trabalho se provou que a arborização de ruas afeta positivamente no conforto térmico dos cânions urbanos proporcionando melhores condições no bem-estar térmico humano.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. F.; RAY, S. Study of EM Wave Absorption and Shielding Characteristics for a Bonsai Tree for GSM-900 Band. In: **Progress In Electromagnetics Research**, v 49, 149–157. 2014.

AVILES, R.; CHAPARRO, J. J. **Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca**, Quiveira. Vol.12, n 1 p.96- 102. 2010.

CASTRO, C.A.; OLIVEIRA, R.F.; GUILHEM, B.P. Diagnóstico multitemporal dos focos de calor na área de Proteção ambiental – APA SERRA do Lajedo – Palmas – TO. In: Projeto Integrador de Curso de Gestão Ambiental, **Universidade Católica do Tocantins**, Junho 2009.

CÓRDOVA, S., Karenia. Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. **Terra Nueva Etapa**, Caracas, v. XXVII, n. 42, p. 95–122, 2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA, (2009). **Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands**. Compendium of Strategies, Environmental Protection Agency, U.S, [Online] Disponible en: <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>. Acesso em: Setembro, 2015.

FERREIRA, R. DE C.; HERRMANN, C. R. A. Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado goiano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Paraná, v. 11, n. 1, p. 14–33, 12 jun. 2016.

FIALHO, S.E. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica, Boa Vista**, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, pp.61-76. 2012.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. **Urban Forestry**. 2. ed. New York: John Wiley, 299 p. 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Censo 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tab_1_15.pdf>. Acesso em: 23/01/2017.

LEAL, L. A **Influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba PR**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

LIN, T., MATZARAKIS, A.; HWANG, R. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort, Building and Environment. Building and Environment, v.45, n. 1, p. 213-221, Jan. 2010.

MINISTERIO DO MEDIO AMBIENTE. **MMA**. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Brazil. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>. Acesso em: 24/01/2017.

MONDELO, P. R. et al. Alfaomega (Ed.), **Ergonomía 2: Confort y estrés térmico**, Edicions UPC, S.L., Universitat Politècnica de Catalunya. 2001.

OKE, T. R. Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**, v. 11, n. 1/3, p. 103-113, 1988.

PANDIT, R.; LABAND, D. N. Energy savings from tree shade. **Ecological Economics**, v.69, p.1324–1329, 2010.

SANTOS, N. R. Z. dos; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de Vias Públicas: Ambiente X Vegetação**. Santa Cruz do Sul: Instituição Souza Cruz, 135 p. 2001.

SUCOMINE, N.M.; GIACOMELLI, D.C.; SHAMS, J.A.; SILVA FILHO, D.F.; LIMA, A.M.L.P., SALES, A. Análise microclimática de uma área verde e de seu entorno imediato. In: SIMPGEU - Simpósio de pós-graduação em engenharia urbana, 2. 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: [s.n.], 2009.

SIEBERT, C. Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. **VI Encontro Nacional da Anppas** 18 a 21 de Setembro Belém-PA Brasil. 2012.

SILVA, P.A.D. **Estudo de índice espacial e de diversidade florística das praças públicas de Gurupi, Tocantins**. Dissertação de Pós-graduação em ciências florestais e ambientais. 2015.