

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

**SOMBREAMENTO ARBÓREO EM SUPERFÍCIES
PAVIMENTADAS DE ÁREA URBANA TROPICAL**

SONEIZE AUXILIADORA DE MIRANDA

**Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora**

Cuiabá, MT
Dezembro de 2018

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

**SOMBREAMENTO ARBÓREO EM SUPERFÍCIES
PAVIMENTADAS DE ÁREA URBANA TROPICAL**

SONEIZE AUXILIADORA DE MIRANDA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Física Ambiental.

**Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Orientadora**

Cuiabá, MT
Dezembro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D278s de Miranda, Soneize Auxiliadora.
SOMBREAMENTO ARBÓREO EM SUPERFÍCIES PAVIMENTADAS DE
ÁREA URBANA TROPICAL / Soneize Auxiliadora de Miranda. -- 2018
91 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Estacionamentos. 2. Arborização urbana. 3. Simulação tridimensional. I. Título.

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

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: SOMBREAMENTO ARBÓREO EM SUPERFÍCIES
PAVIMENTADAS DE ÁREA URBANA TROPICAL**

AUTORA: SONEIZE AUXILIADORA DE MIRANDA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 11 de dezembro de 2018, pela comissão julgadora:


**Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus
Albuquerque Nogueira - Orientadora**
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
UFMT


Profa. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
UFMT


Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
Examinador Interno
Programa Nacional de Pós-Doutorado/PNPD/CAPES


Prof. Dr. Geison Jader Mello
Examinador Externo
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT


Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá

DEDICATÓRIA

*Com amor plantamos e colhemos...
Por amor continuaremos...
À sombra da frondosa árvore da saudade...*

Ao meu esposo Marco Antônio, *in memoriam*. Aos nossos amados filhos, Diego, Maria e Juan. Aos nossos adoráveis netos, Lucas e Maitê.

AGRADECIMENTOS

A Profa. Dra. Marta Cristina Jesus de Albuquerque Nogueira, pela orientação essencial na realização desta pesquisa, assim como pela confiança e apoio nos momentos difíceis;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, pelo apoio, dedicação e empenho na coordenação do programa de pós-graduação;

Aos membros da banca examinadora, Professora Dra. Flávia Maria de Moura Santos e os Professores Dr. Rafael da Silva Palácios, Dr. Geison Jader Mello, Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais, pelas contribuições no aperfeiçoamento desta tese;

A todos os professores do programa de pós-graduação, pelos ensinamentos e pelo apoio e colaboração nas publicações realizadas;

Aos alunos da iniciação científica pela inestimável colaboração nas medições em campo ao longo do período do levantamento dos dados microclimáticos: Deborah, Eduardo, Fernanda, Gabriely, Juliana, Mariana, Marcela, Victor, Vivian e Thais;

Ao meu filho Juan pela valorosa colaboração nas medições do período noturno;

Ao técnico Cesário pela colaboração no transporte da equipe de medição por todo o longo período da pesquisa de campo;

Ao colega Elio pela colaboração e os ensinamentos na coleta dos dados das amostras arbóreas;

Aos colegas Tony, Natália e Lucas pelo apoio nas infindáveis dúvidas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa;

As parceiras Diana e Laís por toda paciência e colaboração nos momentos difíceis, pois sem as trocas de experiências não seria possível à construção do conhecimento;

Em fim, a todos do programa de pós-graduação pela convivência e os conhecimentos compartilhados durante todo o período de estudo e concretização desta pesquisa;

Em especial à Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, por todo apoio no período de afastamento para a qualificação.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VII |
| LISTA DE TABELAS..... | IX |
| LISTA DE ABREVIACÕES..... | XI |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT..... | XIII |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA..... | 14 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 15 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 17 |
| 2.1 CLIMA URBANO: ABORDAGEM & ESCALAS..... | 17 |
| 2.1.1 Classificação e escala de estudo..... | 17 |
| 2.2 URBANIZAÇÃO E BALANÇO ENERGÉTICO..... | 18 |
| 2.3 VEGETAÇÃO E CLIMA URBANO..... | 20 |
| 2.3.1 Interação com a radiação solar..... | 20 |
| 2.3.2 Vegetação e balanço energético no ambiente urbano..... | 21 |
| 2.3.3 Sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas..... | 22 |
| 2.4 FATORES DA COBERTURA VEGETAL..... | 23 |
| 2.5 A ESTRATÉGIA DE SOMBREAMENTO ARBÓREO..... | 25 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 28 |
| 3.2 REFERÊNCIAL METODOLÓGICO..... | 29 |
| 3.3 FASE INVESTIGATIVA..... | 30 |
| 3.3.1 Os estacionamentos selecionados..... | 31 |
| 3.3.2 Caracterização da cobertura do solo..... | 33 |
| 3.3.3 Caracterização da cobertura arbórea..... | 34 |
| 3.3.4 Medições das variáveis microclimáticas..... | 36 |
| 3.3.5 Tratamento e avaliação dos dados microclimáticos..... | 40 |
| 3.3.6 Análises estatísticas..... | 41 |
| 3.4 FASE EXPLORATORIA..... | 42 |
| 3.4.1 Caracterização das espécies arbóreas..... | 42 |
| 3.4.2 Aferição dos dados biofísicos: IAF e radiação solar..... | 44 |
| 3.4.3 Estimativa da atenuação da radiação solar..... | 45 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4.4 | Configurações das simulações 3D | 45 |
| 3.4.5 | Estimativa da área de sombreamento arbóreo (ASB)..... | 48 |
| 3.4.6 | Estimativa do índice de sombreamento arbóreo (ISA)..... | 49 |
| 3.4.7 | Análise estatística | 50 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 51 |
| 4.1 | FASE INVESTIGATIVA | 51 |
| 4.1.1 | Caracterização cobertura arbórea nos estacionamentos..... | 52 |
| 4.1.2 | Variação sazonal do índice de cobertura arbórea (CA) | 54 |
| 4.1.3 | Caracterização do período de estudo | 56 |
| 4.1.4 | Variação da temperatura do ar e umidade relativa na área de estudo..... | 57 |
| 4.1.5 | Avaliação microclimática das áreas monitoradas..... | 59 |
| 4.1.6 | Síntese da avaliação microclimática das áreas monitoradas..... | 63 |
| 4.1.7 | Efeito pontual do sombreamento arbóreo | 64 |
| 4.1.8 | Síntese do efeito pontual do sombreamento arbóreo | 66 |
| 4.1.9 | Análise dos atributos urbanos e o microclima | 67 |
| 4.2 | FASE EXPLORATÓRIA | 71 |
| 4.2.1 | Simulação do potencial de sombreamento arbóreo | 73 |
| 4.2.2 | Síntese do sombreamento arbóreo em estacionamentos para Cuiabá-MT79 | |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 81 |
| 5.1 | SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS | 81 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| 6.1 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS | 89 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Escalas climáticas no espaço urbano..... | 18 |
| Figura 2. Localização do estado de Mato Grosso e a capital Cuiabá | 28 |
| Figura 3. Área urbana de Cuiabá e a porção urbana Universidade Federal de Mato Grosso | 31 |
| Figura 4. Os estacionamentos selecionados no campus da UFMT/Cuiabá..... | 32 |
| Figura 5. Exemplos de registros das amostras empregadas na identificação das espécies arbóreas existentes nos estacionamentos | 35 |
| Figura 6. Distribuição dos pontos do transecto no campus da UFMT-Cuiabá..... | 36 |
| Figura 7. Instrumentação utilizada nas medições: (a) sensores temperatura do ar e umidade relativa, (b) abrigo meteorológico, (c) termômetro infravermelho e (d) Anemômetro | 39 |
| Figura 8. Localização das amostras de espécies arbóreas selecionadas na área de estudo:..... | 43 |
| Figura 9. Medidor Ceptometer Accupar modelo LP80 | 44 |
| Figura 10. Exemplo do levantamento fotográfico e da representação do perfil arbóreo, construção do modelo arbóreo A1 (<i>Licania tomentosa</i> (Oiti) | 46 |
| Figura 11. Caracterização dos modelos para a tipologia de estacionamentos E-90, | 46 |
| Figura 12. Caracterização dos Cenários para os modelos de estacionamentos E-90 e E-45 | 47 |
| Figura 13. Exemplos da estimativa das áreas de projeção das sombras do dossel arbóreo: Cenário 1e 2, modelos E-90-45 (a) orientação N-S, (b) orientação E-O, (c) orientação NE-SO | 49 |
| Figura 14. Mapas da cobertura do solo nas áreas de influencia dos estacionamentos .. | 51 |
| Figura 15. Mapas coberturas arbóreas dos estacionamentos: (a) período úmido (b) período seco. | 55 |
| Figura 16. Médias mensais da temperatura do ar: (Ta-P.E) no período de estudo, (Ta-NC) valores de referência da Normal Climatológica de Cuiabá. Precipitação acumulada mensal: (Pre-P.E) no período de estudo (Set./2016 a Ago./2017), e (Pre-NC) valores de referência da Normal Climatológica da precipitação acumulada mensal. Destaque no período seco regional | 57 |
| Figura 17. Médias mensais da temperatura do ar e a umidade relativa nos dias de medição: (a) temperatura do ar na porção urbana (Ta-UFMT) e na estação de referência(Est.INMET), (b) umidade relativa na porção (UR-UFMT) e na estação de referência(UR-Est.INMET) | 58 |

- Figura 18.** Médias horárias e desvio padrão dos pontos a céu aberto na área gramada (AG) e nos estacionamentos, E1 ao E-8: Temperatura do ar (Ta) no período úmido (a) e no período seco (b); Umidade relativa (UR) no período úmido (b) e no período seco (d) 60
- Figura 19.** Médias horárias e desvio padrão dos pontos a céu aberto na área gramada (AG) e nos estacionamentos, E1 ao E-8: Temperatura da superfície (Ts), (a) no período úmido e (c) no período seco; Velocidade de vento (Vv), (b) no período úmido e (d) no período seco 62
- Figura 20.** Dendrograma de similaridade entre os grupos homogêneos, para as variáveis temperatura do ar (Ta), umidade relativa (Ur), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv) no período úmido e no período seco 68
- Figura 21.** Distribuição dos grupos com maior similaridade microclimática para o período úmido e período seco: Grupos C1, C2, C3 e C4..... 68
- Figura 22.** Caracterização dos agrupamentos: cobertura arbórea (CA), cobertura do solo categorias permeável (C-PERM) e impermeável (C-IMPER) e a velocidade de vento (Vv), (a) no período úmido e (b) no período seco; médias temperaturas do ar (Ta), temperatura da superfície (Ts) e umidade relativa (UR), no período úmido (c) no período seco (d) 69
- Figura 23.** Amostras B, espécie decídua *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril) nas medições do período seco, 18 de setembro de 2017..... 72
- Figura 24.** Valores das áreas de sombra sobre os setores das vagas (ASB-V): para os modelos de estacionamentos simulados, E-90 e E-45e para o fator orientação geográfica no cenário-1 e 2..... 75
- Figura 25.** Exemplo das simulações a N-S (a) Cenário-1 e (b) Cenário-2. Dados da arborização e os valores médios sazonais da atenuação da radiação solar (AT) e a média sazonal do índice área foliar (IAF) para o Cenário-1 e o Cenário-2..... 76
- Figura 26.** Valores do índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos (ISA-E) e nas áreas das vagas (ISA-V), para as orientações e modelos E-90 e E-45: do cenário-1 no período úmido (PU) e no período seco (PS); do cenário-2 no período úmido (PU) e no período seco (PS)..... 77

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Áreas e o número total de vagas para veículos nos estacionamentos selecionados | 32 |
| Tabela 2. Descrição pontos de aferição na área gramada (AG) e nos estacionamentos E-1 a E-8..... | 37 |
| Tabela 3. Coleta dados microclimáticos, os anos, os meses e os dias selecionados para o estudo | 39 |
| Tabela 4. Descrição dos equipamentos utilizados no monitoramento microclimático.. | 40 |
| Tabela 5. Distribuição das classes e categorias (C.) de cobertura do solo nas áreas avaliadas..... | 52 |
| Tabela 6. Aspectos descritivos e quantitativos das espécies arbóreas nos estacionamentos | 53 |
| Tabela 7. Distribuição espacial e quanto ao aspecto fenologia dos indivíduos arbóreos | 54 |
| Tabela 8. Testes estatísticos para diferenças entre fatores temporal e espacial e as taxas de cobertura arbórea (CA) | 55 |
| Tabela 9. Taxas da cobertura arbórea (CA) e as diferenças entre o período úmido e o período seco, para os estacionamentos do tipo: (AL) arborização lateral e (ALC) arborização lateral e central | 56 |
| Tabela 10. Testes estatísticos entre fatores meses do ano e período sazonal e as variáveis temperatura do ar (Ta) e umidade relativa do ar (Ur) aferidas na porção urbana | 58 |
| Tabela 11. Testes entre fatores temporais e espacial e as variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv) aferidas nos pontos a céu aberto, sobre grama e as superfícies pavimentada dos estacionamentos | 59 |
| Tabela 12. Teste estatístico para diferenças das variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv), aferidas a céu aberto nos pontos P1 e P26 localizados na área gramada (AG) | 59 |
| Tabela 13. Testes estatísticos valores estimados das diferenças (Dif.) entre as variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv), aferidas nos pontos a céu aberto e nos pontos sob dossel arbóreo | 65 |
| Tabela 14. Valores máximos estimados das Dif.Ta, Dif.UR, Dif.Ts, Dif.Vv entre pontos a céu aberto e sob o dossel arbóreo, no período úmido (PU) e no período seco (P.S) | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabela 15. Similaridades entre C1-C3 e C2-C4, no período úmido (PU) e no período seco (PS) | 70 |
| Tabela 16. Correlação entre a cobertura do solo e os valores sazonais das variáveis: temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) velocidade de vento (Vv)..... | 70 |
| Tabela 17. Dados das espécies arbóreas: Diâmetro altura do peito (DAP), alturas do fuste (HF), altura dossel (HD), altura total (HT), área do dossel (AD), volume do dossel (VD), variação sazonal do índice de área foliar (IAF) e da atenuação da radiação solar (AT) das amostras..... | 72 |
| Tabela 18. Coeficiente de correlação (R) da atenuação da radiação solar (AT) e o índice de área foliar (IAF), das espécies arbóreas avaliadas no período úmido (PU) e no período (PS) | 73 |
| Tabela 19. Testes estatísticos entre fator orientação geográfica e as variáveis área de sombra nas áreas das vagas (ASB-V) e áreas de sombras efetiva nos estacionamentos (ASB-E) | 74 |
| Tabela 20. A ASB arbórea total e distribuição dos valores das áreas de sombras efetivas sobre a superfície dos estacionamentos (ASB-E) entre os fatores orientação e modelos E-90 e E-45 | 74 |
| Tabela 21. Testes entre fatores espaciais e os valores do índice de sombreamento arbóreo nas áreas das vagas (ISA-V) e o índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos (ISA-E) | 77 |
| Tabela 22. Efeito entre os fatores espaciais e os índices de sombreamento arbóreo nas áreas das vagas (ISA-V) e nos estacionamento (ISA-E) | 79 |
| Tabela 23. Resultados observados e as estratégias de adequação, visando maior potencial de sombreamento arbóreo em estacionamentos para a cidade de Cuiabá-MT | 80 |

LISTA DE ABREVIACÕES

| | |
|-------|---|
| A1 | Amostra 1 - <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) |
| A2 | Amostra 2 - <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) |
| A3 | Amostra 3 - <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) |
| AL | Arborização Lateral |
| ALC | Arborização Lateral e Central |
| ASB | Área de sombra arbórea |
| ASB-E | Área de sombra efetiva no estacionamento |
| ASB-V | Área de sombra efetiva nas vagas para veículos |
| AT | Atenuação da radiação solar sob o dossel arbóreo |
| B1 | Amostra 1 - <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Tamboril) |
| B2 | Amostra 2 - <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Tamboril) |
| B3 | Amostra 3 - <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Tamboril) |
| C1 | Amostra 1 - <i>Cariniana rubra</i> Gardner ex Miers (Cachimbeira) |
| C2 | Amostra 2 - <i>Cariniana rubra</i> Gardner ex Miers (Cachimbeira) |
| C3 | Amostra 3 - <i>Cariniana rubra</i> Gardner ex Miers (Cachimbeira) |
| CA | Cobertura Arbórea |
| E-45 | Modelo de estacionamento com vagas a 45° |
| E-90 | Modelo de estacionamento com vagas a 90° |
| IAF | Índice de área foliar |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| ISA-E | Índice de sombreamento arbóreo no estacionamento |
| ISA-V | Índice de sombreamento arbóreo nas vagas para veículos |
| Ta | Temperatura do ar (°C) |
| Ts | Temperatura da superfície (°C) |
| UFMT | Universidade Federal de Mato Grosso / Cuiabá |
| UR | Umidade Relativa do ar (%) |
| Vv | Velocidade de vento (m/s) |

RESUMO

MIRANDA, S. A. **Sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas de área urbana tropical**. 2018, 91f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Em regiões de clima tropical o sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas exerce influência direta na ambiência térmica dos espaços abertos. Entretanto, o potencial da estratégia de sombreamento está associado a fatores da morfologia urbana, as variáveis atmosféricas e a fatores da cobertura arbórea, como a variação sazonal do dossel arbóreo e a atenuação da radiação solar. Neste contexto, o objetivo geral do estudo foi analisar as relações entre fatores espaciais, cobertura arbórea e o sombreamento em estacionamentos pavimentados, por meio da integração de pesquisa investigativa e a pesquisa exploratória. O estudo foi desenvolvido por meio da avaliação microclimática em oito amostras de estacionamentos de duas tipologias quanto à arborização; a caracterização da cobertura do solo e da cobertura arbórea (CA), análise de grupos homogêneos e a correlação entre os atributos da cobertura do solo. Após avaliação dos resultados foram desenvolvidas simulações tridimensionais do sombreamento arbóreo em estacionamentos de superfície para a cidade de Cuiabá-MT. A avaliação dos resultados apontou que o efeito sazonal da CA foi significativo, entre os estacionamentos avaliados a variação sazonal foi de -2,6% a -25% no período seco. A variação espacial das variáveis aferidas foi significativa entre os estacionamentos, ratificada pelos grupos homogêneos, com maior similaridade microclimática entre os estacionamentos com maior distribuição da arborização e entre os estacionamentos com menor cobertura arbórea, entretanto não houve variação sazonal dos grupos homogêneos. Os resultados observados apontam que a distribuição espacial da CA e o entorno imediato proporcionou maior impacto sobre as variáveis microclimáticas, em relação à variação sazonal nos estacionamentos avaliados. Na avaliação dos cenários simulados foi observado menor impacto dos fatores espaciais, orientação geográfica e tipologia das vagas, sobre o índice de sombreamento arbóreo (ISA) nos estacionamentos, contudo os fatores espaciais foram significativos quanto ao ISA sobre as áreas das vagas para veículos. Espera-se com os resultados desta pesquisa, contribuir para inserção de melhores estratégias no planejamento e gestão da arborização em estacionamentos, visando maior qualidade ambiental urbana que possibilite colaborar para a mobilidade e o conforto dos pedestres em cidades de clima tropical.

Palavras-chaves: Estacionamentos, arborização urbana, simulação tridimensional.

ABSTRACT

MIRANDA, S. A. **Tree shading on paved surfaces of tropical urban area.** 2018, 91f. Thesis (Doctoral Degree in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

In regions of tropical climate, tree shading on paved surfaces exerts a direct influence on the thermal ambiance of open spaces. However, the potential of the shading strategy is associated to factors of urban morphology, atmospheric variables and tree cover factors, such as the seasonal variation of the arboreal canopy and the attenuation of solar radiation. In this context, the general objective of the study was to analyze the relationships between spatial factors, tree cover and shading in paved parking lots, through the integration of research and exploratory research. The study was developed through the microclimatic evaluation in eight samples of parking lots of two typologies for afforestation; soil cover and tree cover characterization (TC), analysis of homogeneous groups and the correlation between soil cover attributes. After evaluation of the results, three-dimensional simulations of tree shading were developed in surface parking lots for the city of Cuiabá-MT. The evaluation of the results indicated that the seasonal effect of TC was significant, among the evaluated parking lots the seasonal variation was -2.6% to -25% in the dry period. The spatial variation of the variables verified was significant among the parking lots, ratified by the homogeneous groups, with greater microclimatic similarity between the parking lots with greater distribution of the trees and between the parking lots with lower tree cover, however there was no seasonal variation of the homogeneous groups. The observed results indicate that the spatial distribution of the TC and the immediate surroundings provided a greater impact on the microclimatic variables, in relation to the seasonal variation in the evaluated parking lots. In the evaluation of the simulated scenarios, it was observed a smaller impact of spatial factors, geographic orientation and typology of the waves, on the tree shade index (TSI) in the parking lots; however the spatial factors were significant regarding the TSI on the areas of the spaces for vehicles. With the results of this research, we hope to contribute to the insertion of better strategies in the planning and management of the trees in parking lots, aiming at a better urban environmental quality that allows collaborating for the mobility and the comfort of the pedestrians in cities of tropical climate.

Keywords: Parkings, urban afforestation, three-dimensional simulation.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Estima-se na atualidade, que o maior percentual da população mundial encontra-se em centros urbanos. A inevitável expansão das áreas urbanas, em resposta às demandas por moradia, transportes e outras necessidades, associada às deficiências quanto ao adequado planejamento sobre uso e ocupação do solo, resulta em excessiva impermeabilização do solo e drástica redução da cobertura vegetal. Os impactos decorrentes contribuem para a crescente vulnerabilidade da população aos eventos extremos, tais como, concentração da poluição atmosférica, ondas de calor e o agravamento das inundações no ambiente urbano.

No meio urbano as distintas configurações de ocupação e uso do solo podem contribuir para gerar ambientes térmicos mais confortáveis ou agravar as condições térmicas naturais. No Brasil, região de clima tropical, estudos antecedentes no âmbito da climatologia urbana têm apontado significativas alterações no ambiente térmico, caracterizadas pela formação de ilhas de calor urbano (ICU).

A ocorrência das ICU é resultante de diversos fatores sobrepostos, em resposta as características termodinâmicas de materiais construtivos, a redução da cobertura vegetal e a dinâmica das atividades antrópicas no ambiente urbano. Os impactos em diferentes escalas resultam na elevação da temperatura da superfície, da temperatura do ar e a conseqüente redução da umidade relativa em áreas urbanizadas, diferenciando-se das áreas periféricas menos adensadas, assim como, do entorno rural.

Entre os espaços do sistema viário, notadamente, os fatores para ocorrência das ICU são mais evidenciados, devido a frequente ausência de vegetação, a excessiva impermeabilização do solo, a redução do albedo e a elevada difusividade térmica dos materiais empregados na pavimentação asfáltica, agregados ao fluxo de veículos automotores. Tendo-se assim, o agravamento na ambiência térmica em grande parte das cidades tropicais contemporâneas.

De forma mais abrangente em cidades de clima tropical a elevação da temperatura do ar e a redução da umidade no meio urbano agravam as condições ambientais dos espaços públicos abertos, gerando impactos negativos nas atividades e na qualidade de vida da população.

1.2 JUSTIFICATIVA

Teorias amplamente consolidadas ratificam que a inserção de áreas verdes na malha urbana é uma das principais estratégias de requalificação ambiental com alto potencial para amenizar os efeitos das ICU, devido à atuação direta sobre a incidência da radiação solar nas superfícies, o que gera alterações no balanço de radiação e energia do ambiente urbanizado.

Nas áreas urbanas o sombreamento arbóreo exerce influencia direta na ambiência dos espaços abertos, pelo resfriamento das superfícies e os efeitos sobre a temperatura e umidade do ar. Nesse contexto, a cobertura arbórea é definida como elemento constituinte da qualidade ambiental dos espaços intraurbanos e mais especificamente nos espaços do sistema viário, onde a ambiência térmica pode ser um fator decisivo na acessibilidade e mobilidade de pedestres em áreas urbanas de clima tropical.

A eficácia do sombreamento arbóreo no ambiente térmico externo está associada a fatores da morfologia urbana, as variáveis atmosféricas e as especificidades da cobertura arbórea, como o potencial de obstrução à radiação solar e a permeabilidade à ventilação no ambiente, podendo proporcionar alterações significativas no ambiente microclimático dos espaços intraurbanos.

Em Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, estudos antecedentes identificaram possíveis alterações microclimáticas em consequência dos processos de uso e ocupação do solo na área urbana, sendo, a formação de ICU; alterações no balanço de energia; as relações positivas entre os padrões de cobertura do solo e o comportamento termo higrométrico noturno, e ainda a redução em escala temporal da cobertura vegetal.

Em relação ao impacto do sistema viário no ambiente urbano, a referida capital foi um das subsedes da Copa do Mundo de 2014, assim, foi realizado um amplo projeto com intervenções na infraestrutura e modalidade urbana. O impacto pós-intervenções na ocupação do solo e no microclima foi objeto de estudo recente, que apontou significativa alteração na temperatura e umidade do ar, em decorrência da supressão da cobertura vegetal e a ampliação das superfícies impermeáveis, pavimentação asfáltica e área construída.

Tendo-se a vegetação como estratégia passiva no controle do microclima urbano e na qualidade ambiental dos espaços abertos e mais especificamente nos espaços do

sistema viário, algumas lacunas podem ser vistas como elementos de discussão, tais como: A frequente ausência do adequado sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas de estacionamentos, apresenta-se como um fator agravante ao efeito de ICU em cidades de clima tropical. Assim como, a escassez de estudos quanto ao adequado planejamento da cobertura arbórea em estacionamentos, que compromete o potencial da estratégia de sombreamento arbóreo e a efetiva possibilidade de adequação ao atual e futuro aquecimento das áreas urbanas.

Portanto, considera-se relevante a ampliação de conhecimento quanto às características espaciais e biofísicas da vegetação no meio urbano e as variáveis ambientais, como o microclima em superfícies pavimentadas, a relação entre fatores espaciais e o potencial de sombreamento arbóreo em estacionamentos de superfície.

Diante do exposto, o objetivo geral do estudo foi analisar as relações entre fatores espaciais, cobertura arbórea e o sombreamento em estacionamentos pavimentados, por meio da integração de pesquisa investigativa e a pesquisa exploratória, a fim de gerar subsídios que possam ser incorporados à formulação de parâmetros para avaliação e planejamento da arborização em estacionamentos urbanos.

Para realização do proposto foram definidos os seguintes objetivos específicos: caracterizar o período de estudo; caracterizar a cobertura do solo; avaliar o microclima das áreas monitoradas; analisar as relações entre os atributos urbanos e o microclima nos estacionamentos; desenvolver simulações tridimensionais (3D) do sombreamento arbóreo em estacionamentos; caracterizar amostras de espécies da arborização urbana; analisar as relações entre fatores espaciais, orientação geográfica e tipologia das vagas, e a cobertura arbórea no potencial de sombreamento em estacionamentos para a cidade de Cuiabá-MT.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CLIMA URBANO: ABORDAGEM & ESCALAS

O clima urbano, de modo mais abrangente, é caracterizado pelas interações estabelecidas entre determinado sítio geográfico urbanizado e os elementos climáticos, ventilação, precipitação, temperatura e umidade. O conceito de clima urbano é abordado a partir de diferentes enfoques quanto ao estabelecimento dessas interações.

Oke (1982) conceitua o clima urbano como decorrência da modificação das superfícies naturais, em superfícies substancialmente diversas quanto à ocupação do solo, conjugadas às atividades antrópicas, que produzem alterações significativas nos fluxos de energia, caracterizando uma condição própria de ambientes urbanizados, com interações diferenciadas em relação ao perfil atmosférico local, podendo estender-se à escala regional, dependendo das condições geoclimáticas do sítio.

No Brasil, Monteiro (2013) definiu o clima urbano considerando a complexidade nas interações dos fenômenos decorrentes do meio urbanizado. Partindo da teoria geral dos sistemas o clima urbano foi definido como um sistema aberto, porém, adaptativo, onde os fluxos de energia recebidos são substancialmente alterados, com reflexos nos elementos do clima local. Partindo dessa definição, propôs uma metodologia de análise definida como Sistema Clima Urbano (SCU), estruturado em sistemas articulados segundo canais de percepção climática.

Amorim et al. (2009) define que diferentes condicionantes atuam no meio urbano e na paisagem natural em resposta ao sistema atmosférico, sendo que, as condições da morfologia, uso e ocupação do solo, e do sítio urbano definem a magnitude e a extensão dos fenômenos gerados pelos processos de urbanização, tais como as ilhas secas ou úmidas, assim como as ICU.

2.1.1 Classificação e escala de estudo

Visando o estabelecimento de método e padronização das observações meteorológicas no tecido urbano Oke (2006) definiu um importante conceito de hierarquia nos estudos das alterações climáticas, que podem ser observadas em diferentes escalas climáticas (distância horizontal) e nos limites da camada atmosférica (distância vertical), conforme esquematização apresentada na Figura 1.

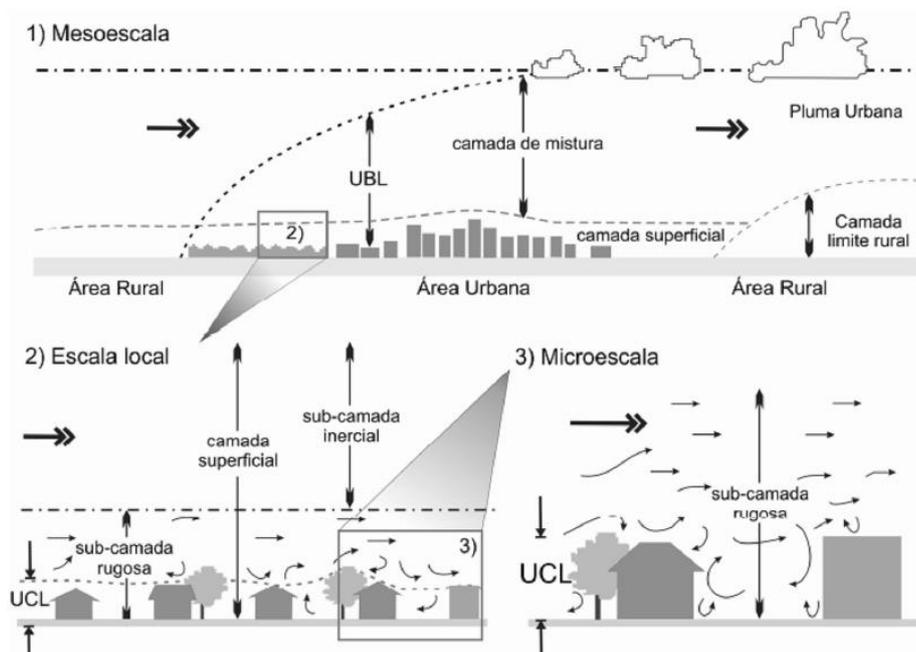


Figura 1. Escalas climáticas no espaço urbano

Fonte: Adaptado de Oke, 2006

Na escala horizontal, sendo: O Mesoclima (1) que compreende aos sucessivos climas locais, abrangendo a influência integrada da cidade no clima urbano. Na extensão vertical atinge a camada limite urbana (UBL), sendo a camada de mistura.

O clima local (2) que corresponde ao efeito integrado de diversos microclimas, relacionados às condições similares de uso e ocupação do solo, correspondendo a influência da paisagem típica de uma determinada porção da superfície urbana. Na extensão vertical atinge até a subcamada rugosa.

O Microclima (3) correspondendo aos espaços intraurbanos, pátios entre edifícios, praças, ruas, estacionamentos e outros. A influência vertical é estabelecida até a camada do dossel urbano (UCL).

2.2 URBANIZAÇÃO E BALANÇO ENERGÉTICO

A diversidade morfológica do tecido urbano associada à heterogeneidade das superfícies urbanas tem relação significativa no intercâmbio dos fluxos de radiação e na interação entre os diversos elementos que compõem a superfície urbana (ARNFIELD, 2003). As propriedades óticas e térmicas das superfícies urbanas caracterizam o ambiente construído em relação o meio natural. Comparado com superfícies naturais, os materiais no ambiente urbano têm comportamentos muito peculiares em termos de absorção e reflexão da radiação solar.

Diferentes fatores que caracterizam o meio urbano como, a morfologia, as atividades antrópicas e os materiais construtivos, segundo Oke (1982) apresentam atuação distinta na partição do balanço de radiação e energia das áreas urbanizadas.

O calor antropogênico, proporcionado pela dinâmica e processos das atividades antrópicas, contribui com o aumento dos fluxos de calor sensível gerados pelos processos de combustão, em especial os liberados por veículos automotores (HADDAD e AOUACHRIA, 2015).

A consequente poluição do ar, que contribui para o aumento dos fluxos de radiação de ondas longas emitidas na atmosfera, devido à absorção da radiação de ondas curtas e a emissão em ondas longas pelos gases e partículas poluentes em suspensão, presentes no ambiente urbano (LI et al., 2018).

As propriedades térmicas e radiativas dos materiais construtivos que compõem as superfícies urbanas, por apresentarem maior potencial de absorção à radiação de ondas curtas e maior emissão da radiação de ondas longas (GARTLAND, 2010), em razão do albedo e da emissividade dos diferentes materiais que compõem as superfícies urbanas (OKE, 1995).

Assim, a maior parcela da radiação de ondas curtas absorvidas durante o período diurno é liberada em forma de calor sensível no período noturno, sendo este um dos principais fatores para caracterização das alterações térmicas em centros urbanos, as ICU observadas no período noturno (ONOMURA et al., 2016; OKE, 1985).

A impermeabilização do solo, caracterizada por maior percentual de superfícies impermeáveis em relação às superfícies permeáveis com maior disponibilidade de umidade no solo, como por exemplo, áreas com cobertura vegetal (FERREIRA et al., 2017). As concepções quanto ao uso do solo urbano resultam em significativa redução do calor latente, advindo da evaporação das superfícies úmidas, e maior conversão dos fluxos de radiação de ondas curtas em calor sensível, disponibilizado ao aquecimento das superfícies e a consequente contribuição para elevação da temperatura do ar no ambiente urbano (GARTLAND, 2010).

A geometria dos espaços intraurbanos, caracterizada pela densidade horizontal e vertical dos volumes edificados, associados à configuração dos espaços abertos e dos espaços viários (ROMERO, 2011), que proporcionam significativas variações na dinâmica dos fluxos radiativos e aerodinâmicos no ambiente urbano (MAITELLI, 2013; CALLEJAS et al., 2016).

2.3 VEGETAÇÃO E CLIMA URBANO

Os efeitos da vegetação no ambiente urbano podem advir de diferentes interações com os elementos construtivos, tais como: a redução dos fluxos da radiação incidente, direta ou difusa, através do sombreamento das superfícies verticais e ou das superfícies horizontais; a redução das emissões da radiação de ondas longas, à medida que a temperatura das superfícies pode ser atenuada devido ao sombreamento (GARTLAND, 2010); a redução do ganho de calor por condução ou convecção, através do arrefecimento da temperatura do bulbo seco, assim como, o aumento do resfriamento latente devido à adição de umidade no ar, proporcionado pela evapotranspiração da cobertura vegetal (QIU et al., 2013).

2.3.1 Interação com a radiação solar

As interseções da cobertura vegetal com o meio urbano são intermediadas, sobretudo, pela radiação solar, sendo fonte primordial nos processos biológicos que mantem o ciclo vital dos organismos vegetais. Segundo Angelocci (2002), na interação da vegetação com os diferentes níveis do espectro da luz, a radiação solar pode ser transformada em distintos níveis de energia:

A absorção de energia térmica, sendo que em torno de 70% da radiação solar é absorvida pela vegetação e convertida em energia utilizada nos processos de regulação da temperatura vegetal, por meio da evaporação da água do solo e da transpiração estomática nas folhas, mecanismo definido com evapotranspiração (ANGELOCCI, 2002).

A absorção fotossintética, em que aproximadamente 28% da radiação absorvida pela vegetação encontram-se na faixa espectral de 380-710nm, sendo transformada pelas folhas no processo de fotossíntese em compostos energético, químico e orgânico. A radiação utilizada neste processo é definida como PAR, do termo em inglês *photosynthetically active radiation* (radiação fotossinteticamente ativa) (ANGELOCCI, 2002).

A absorção foto morfogênica, em que a radiação é convertida nos processos biológicos vegetal, germinação, crescimento, florescimento, frutificação, assim como os movimentos denominados de fototropismos, sendo o conjunto de efeitos biológicos em resposta à luz disponível (SOUZA et al., 2009)

A interação da vegetação com o ambiente climático urbano, no entanto, envolve mecanismos distintos com abrangência em diferentes escalas, sendo: a interceptação da

radiação solar pelo efeito de sombreamento sobre as superfícies permeáveis ou impermeáveis com maior abrangência dos efeitos advindos em escala local, espaços intraurbanos, e o efeito da evapotranspiração com maior abrangência em escala regional, porção urbana ou bairro, podendo atingir a meso escala, dependendo da extensão da cobertura vegetal, como em parques ou áreas de conservação de florestas remanescentes inseridos na malha urbana (RAHMAN e ENNOS, 2016).

2.3.2 Vegetação e balanço energético no ambiente urbano

Considerando o ambiente urbano em escala local e regional, Grimmond e Oke (1999) analisaram que a evapotranspiração pode ser apreendida como componente que liga o saldo de energia à disponibilidade de água. Em determinada área, o balanço energético foi expresso teoricamente por:

$$Q^* + QF = QE + QH + QS + QA \text{ [Wm}^{-2}\text{]}$$

Sendo Q^* o saldo da radiação líquida, QF o fluxo de calor antropogênico, sendo QE o calor latente da evapotranspiração, QH o fluxo de calor sensível, QS o armazenamento de calor e QA a advecção horizontal do calor sensível e latente.

A energia disponível para a troca de calor e para a evapotranspiração é definida como a diferença entre a energia total recebida pelo tecido urbano, menos a energia utilizada e armazenada por outras formas (OKE, 1982). Por conseguinte, o balanço de energia pode ser consideravelmente alterado pela urbanização, tendo-se a evapotranspiração como o efeito de maior impacto, pois apresenta menor saldo em comparação às áreas rurais do entorno com maior cobertura vegetal, resultando em maiores fluxos de calor sensível disponível ao aquecimento do tecido urbano (MOREIRA et al, 2016).

A evapotranspiração é um dos principais componentes do ciclo hidrológico no meio urbano, porém os efeitos advindos da urbanização apresentam relação direta com os padrões de cobertura do solo urbano, associados aos fatores do clima local, como por exemplo, o regime pluviométrico regional (GRIMMOND e OKE, 1999).

Não obstante, estudos desenvolvidos em clima árido subtropical demonstram que a urbanização pode contribuir para o incremento da evapotranspiração, pela presença de superfícies d'água, tais como, logos, fontes, piscinas, e ainda a cobertura arbórea inserida nas áreas urbanas menos adensadas (WANG et al., 2016).

Nas áreas de centros urbanos mais adensados e com menor cobertura vegetal a temperatura da superfície e o albedo do céu claro e sem nuvens apresentam alta correlação com a redução da evapotranspiração, conforme dados observados por Wang et al. (2016), para a região metropolitana da cidade de Phoenix-Arizona, USA.

A evapotranspiração pode ser estimada pela quantidade de água perdida por uma superfície com cobertura vegetal, por meio da evaporação direta da superfície do solo e da água perdida por meio da transpiração pelas folhas, conforme Konarska et al. (2016), que desenvolveu estudo para estimar a transpiração de árvores em áreas urbana.

Os efeitos da evapotranspiração nas temperaturas do ar são evidenciados no período noturno, devido à reduzida convecção em condições mais calmas quanto à ventilação, o que implica em menores trocas convectivas entre as áreas mais quentes e mais frias do tecido urbano (RAHMAN e ENNOS, 2016).

2.3.3 Sombreamento arbóreo em superfícies pavimentadas

As relações entre a cobertura arbórea e as superfícies urbanas são intermediadas pelas distintas interações em relação à radiação solar. O efeito mais imediato em microescala é o sombreamento fornecido pelo dossel arbóreo, reduzindo a entrada da radiação de ondas curtas ao nível do solo, que, dependendo do período do ano e da espécie arbórea, pode proporcionar atenuação acima de 90% da radiação de ondas curtas que atinge o nível do solo (ZHANG et al., 2013).

Assim, o efeito proporcionado pelo sombreamento apresenta relação efetiva com a temperatura da superfície, sendo esta mediada pelas características do material da superfície, tais como, densidade, albedo, emissividade e difusividade térmica (ERELL, 2017).

Outro efeito proporcionado pelo dossel arbóreo, em que significativo percentual da radiação solar interceptada é absorvido nos processos de transpiração através das folhas e a evaporação da água do solo. Assim, no processo da evapotranspiração parte dos fluxos de calor sensível é convertida em calor latente, o que resulta na redução da temperatura do ar e na elevação da umidade relativa do entorno imediato ao dossel arbóreo (RAHMAN e ENNOS, 2016).

Ambos os efeitos tem o pico máximo por volta do meio dia, quando a radiação solar é máxima. Apesar da transpiração também aumentar no horário de pico da radiação solar, o efeito de resfriamento na temperatura do ar circundante pode não ser

expressivo devido à incidência da radiação solar conjugado a outros fatores climático e da morfologia do ambiente (RAHMAN e ENNOS, 2016).

A transpiração no dossel arbóreo, contudo, é condicionada à demanda evaporativa do ar, a disponibilidade de água no solo e a variação da condutância estomática entre as espécies (HOLMER et al., 2013). No entanto, em áreas com predominância de superfícies impermeáveis, como por exemplo, em canteiros de ruas, calçadas e estacionamentos, os indivíduos arbóreos estão expostos a maior demanda evaporativa em decorrência da elevação da temperatura da superfície, assim como, a menor disponibilidade de água no solo, devido a frequente redução na infiltração de água da chuva (KONARSKA et al., 2015).

A relação entre superfícies pavimentadas e o comportamento do dossel arbóreo foi observado em Konarska et al. (2015), onde foram avaliadas sete diferentes espécies arbóreas em área urbana, do hemisfério norte, com diferentes percentuais entre superfícies impermeáveis e permeáveis. Os resultados obtidos demonstram uma relação positiva entre a condutância estomática e a fração de superfície permeável abaixo do dossel arbóreo; a transpiração noturna foi observada em todas as espécies com menor percentual em relação aos valores diurnos; o efeito de resfriamento apresentou relação positiva com os fluxos de calor latente ao por do sol, porém com decréscimo ao longo do período noturno; já durante o período vespertino o efeito de resfriamento observado não foi significativo.

2.4 FATORES DA COBERTURA VEGETAL

Os processos advindos da interação solo, vegetação e atmosfera são intermediados pelas características da vegetação e variam de acordo com as especificidades das espécies, os ciclos horário e anual do foto período e a disponibilidade de água, assim como as condições atmosféricas conjugadas aos fatores morfológicos e geoclimáticos do ambiente, que caracterizam as interações do sistema solo, vegetação e atmosfera.

Nas áreas urbanas, a caracterização de indicadores relacionados à cobertura vegetal, como o índice de área foliar, o índice de cobertura arbórea entre outros, se constituem como atributo chave na avaliação do intercâmbio dos fluxos de radiação e energia, no balanço hídrico, nas trocas gasosas e nas interações com o clima urbano.

O índice de área foliar (IAF) é uma variável adimensional, originalmente proposto por Watson em 1947, apud Jonckheere (2004), que expressa a relação entre a

área total unilateral da folha (m^2) por unidade de área da projeção vertical do dossel sobre o solo (JONCKHEERE, 2004).

Os valores do IAF estão diretamente relacionados às variações das espécies, como arquitetura do dossel, forma e distribuição das folhas, estágio de desenvolvimento, tipologia fenológica das espécies, variação sazonal da disponibilidade hídrica, assim como as práticas de controle e manutenção da vegetação em áreas urbanas. Contudo, o IAF pode ser apreendido como indicador da eficiência do sombreamento arbóreo, pois quanto maior o valor de IAF maior será a interceptação e a absorção da radiação solar, ou seja, maior a eficiência do sombreamento sobre a superfície urbana (COELHO FILHO, 2012).

Os métodos para estimativa dos valores do IAF são considerados de duas tipologias: Os métodos destrutivos direto, que consiste na estimativa da área foliar de todas as folhas coletadas em campo, ou o método destrutivo indireto onde são coletadas amostras representativas para obtenção da área foliar por meio do método de planimetria ou por imagens obtidas por planímetros óticos. Após obtenção da área foliar o IAF pode ser estimado segundo o método de extinção da radiação solar dada pela Lei de Lambert-Beer (JONCKHEERE, 2004).

Quanto aos métodos não destrutivos indiretos, na atualidade, são empregados com maior frequência e reúne um conjunto de técnicas e equipamentos que permitem a estimativa imediata dos valores do IAF, tais como os equipamentos, LAI-2200C Plant Canopy Analyser, da LI-COR (LI-COR, 2017) e o Ceptômetro Accupar LP-80, da Decagon Devices, que possibilita a aferição da PAR e a estimativa instantânea dos valores do IAF (DECAGON DEVICES, 2017).

Os índices espaciais relativos à cobertura vegetal urbana permitem identificar, quantificar e caracterizar as áreas verdes ou a cobertura vegetal no ambiente urbano. A identificação de índices espaciais da cobertura vegetal contribui nas avaliações quanto à qualidade ambiental dos espaços intraurbanos, assim como, constituem como importante ferramenta para o planejamento urbano.

O índice de cobertura arbórea é um dos indicadores mais empregados no mapeamento da arborização urbana, abrangendo uma área local, um bairro ou a totalidade do perímetro urbano de uma cidade. O índice expressa o percentual da área total ocupada pela cobertura arbórea (m^2 ou km^2) em relação ao total da área avaliada (m^2 ou km^2) (BIZ et al., 2016).

Outro índice de grande relevância em estudos quanto à relação entre a cobertura arbórea e as variáveis microclimáticas é o índice de sombreamento arbóreo (ISA), que expressa a relação entre as áreas delimitadas pela projeção das sombras do dossel arbóreo e a área total a ser avaliada. A estimativa é obtida pelo valor da área total (m^2) das sombras sobre o solo, sobre o valor da área (m^2) total de estudo (CALLEJAS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2013).

Em relação à qualidade ambiental urbana, Oke, (1973) pondera que de modo geral um índice de área verde próximo a 30% possibilitaria um adequado balanço térmico no ambiente urbano, enquanto que, abaixo de 5% as condições tenderiam ao extremo, equivalente ao rigor climático de um deserto.

Quanto a espacialidade dos efeitos advindos do sombreamento das superfícies urbanas, Simões et al. (2001) ponderam que em áreas com predominância de atividade comercial o ISA deva atingir valores acima de 30%, em quanto, em áreas residências o índice ideal seria de no mínimo de 50%.

2.5 A ESTRATÉGIA DE SOMBREAMENTO ARBÓREO

Diversos estudos relacionados ao sombreamento arbóreo têm sido desenvolvidos, abrangendo diferentes estratégias no ambiente urbano.

Onishi et al. (2010) analisaram o potencial de atenuação da ICU resultante da cobertura vegetal em dez estacionamentos. O método empregado foi composto por uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto no mapeamento e estimativa do uso do solo (US), a cobertura do solo (CS) e da temperatura espectral da superfície (TS); análise das correlações entre temperaturas e ocupação do solo em diferentes estações do ano; e a análise do potencial de mitigação da ICU por modelo de regressão linear multivariada. Dois cenários foram simulados: (1) grama na superfície de cada lote de estacionamento com taxa de 10 a 100%, (2) estacionamentos com 30% de cobertura arbórea e 70% da superfície com grama.

Observaram que, em ambos os cenários houve discreta redução das TS na porção urbana de estudo na primavera ou no verão. No entanto, quanto ao efeito local nas áreas dos estacionamentos, a redução máxima da TS atingiu em média até 7,4°C no verão. O cenário 1, demonstrou ser mais eficiente na redução da TS comparado o cenário 2, com áreas gramadas. Concluíram que a pesquisa demonstrou que a estratégia de cobertura vegetal em áreas de estacionamento tem potencial para atenuar as ICU.

Quanto aos efeitos e benefícios do sombreamento arbóreo, a pesquisa desenvolvida por SCOTT et al. (1999) tornou-se referencial em estudos relacionados às áreas de estacionamentos urbanos, uma vez que associaram o potencial de sombreamento à redução das emissões evaporativas de hidrocarbonetos e outros gases poluentes emitidos por veículos estacionados e expostos a radiação solar. O estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa de campo, em amplo estacionamento com área sombreada e área sem arborização; coleta de dados microclimáticos ao sol e a sombra; estimativa da cobertura arbórea e da transmissão da radiação difusa hemisférica pelo dossel arbóreo, e a pesquisa exploratória, desenvolvida por meio de simulação numérica do potencial de sombreamento arbóreo e das emissões evaporativas em áreas de estacionamentos.

Demonstraram que o aumento da taxa de cobertura arbórea e da efetiva área de sombreamento em estacionamentos tem efeito significativo na atenuação das temperaturas no ambiente e na redução das emissões evaporativas devido ao sombreamento dos veículos estacionados à sombra de dossel arbóreo.

Napoli et al. (2016) investigaram a variabilidade da temperatura da superfície (T_s), sobre grama e asfalto a sombra de diferentes espécies arbóreas, visando avaliar o desempenho de um modelo de transferência de calor, na estimativa da T_s devido ao sombreamento arbóreo. Foram coletados dados de 10 espécies arbóreas em ambientes urbanos, rua e estacionamentos, considerando a T_s , a radiação solar transmitida e o IAF do dossel arbóreo. Os resultados simulados indicaram que, na superfície asfalto a T_s apresentou forte relação inversa com o IAF, com redução da T_s de 13,8 a 22,8°C, já sobre a superfície grama, a relação foi fraca e a redução variou de 6,9 a 9,4°C. A análise de correlação com os dados medidos e os simulados foi significativa e confirmou que outros fatores relacionados à umidade do solo desempenham importante papel na redução da T_s sobre superfície gramada. O modelo de transferência de calor apresentou desempenho significativo na simulação do efeito do sombreamento sobre a T_s em superfície pavimentada de área urbana.

Na atualidade, o rápido desenvolvimento de ferramentas computacionais possibilitou a integração entre computação gráfica 3D, parametrização e estimativas por linguagem de programação, assim como, simulação precisa da incidência da radiação solar. Nesse contexto, Bajanski et al. (2016) apresentaram o desenvolvimento de método, com base em ferramentas computacionais, composto por um algoritmo, em

linguagem *Python*, para otimizar o localização de árvores em estacionamentos, visando a redução do superaquecimento das superfícies pavimentadas em áreas urbanas.

A integração de programas foi empregada na estruturação da proposta, como o Rhinoceros 3D, o Grasshopper e o Ecotect Analysis¹, que foi empregado na obtenção dos dados da incidência da radiação solar, de determinada localidade, e na avaliação do comportamento térmico da superfície sombreada pelo dossel arbóreo. Os resultados alcançados demonstraram bom desempenho para testar as locações de árvores, possibilitou a inserção de volumes construídos que contribuem no sombreamento da área em estudo, contudo, ressaltam que o modelo proposto considera apenas uma simplificação dos elementos arbóreos 3D.

¹-Rhinoceros 3D, programa de modelagem tridimensional desenvolvido pela empresa Robert McNeel & Associados, USA; Grasshopper, ferramenta de programação visual desenvolvida por David Rutten, na Robert McNeel & Associados, USA; Ecotect Analysis programa de desenho e análise ambiental da empresa Autodesk, USA.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, situada no bioma Cerrado da região centro oeste brasileira. Encontra-se situada a $15^{\circ}35'46''$ de latitude sul e a $56^{\circ}05'48''$ de longitude oeste, com altitude média inferior a 200m acima do nível do mar (Figura 2).



Figura 2. Localização do estado de Mato Grosso e a capital Cuiabá
Fonte: Imagens do IBGE, adaptada pela autora, 2017

O perfil climático da região é decorrente de suas características geográficas, continentalidade, latitude e relevo; conjugado aos fatores dinâmicos das circulações atmosféricas como a Frente Polar Atlântica no inverno e massa Equatorial Continental a Noroeste na primavera e verão (MORENO et al., 2005).

Na cidade de Cuiabá o clima é classificado como tropical semiúmido do tipo Aw, segundo a metodologia de Köppen-Geiger, sendo que, as temperaturas médias anuais variam entre 25°C e 26°C , com máximas, frequentemente, acima de 35°C (MACHADO et al., 2015). Em decorrências do perfil pluviométrico apresenta dois períodos sazonais distintos, uma estação chuvosa de novembro até abril e uma estação seca de maio até outubro (CHIARANDA et al., 2012).

O índice pluviométrico anual apresenta-se em torno de 1400 mm a 1500 mm, com forte concentração no primeiro trimestre do ano, tendo-se nos meses do período chuvoso 89% da precipitação anual. Já no período seco ocorre redução acentuada, contabilizando 11% do volume anual, chegando ao extremo no mês de julho com a menor precipitação do período (MACHADO et al., 2015). Assim sendo, a umidade relativa média do ar atinge os valores máximos, acima dos 80%, nos meses com maiores índices pluviométricos, enquanto, no período seco, pode atingir níveis críticos, com umidade relativa abaixo dos 20%.

Quanto às variações da temperatura as maiores médias ocorrem nos meses do período chuvoso, atingindo 27,9°C, em relação à média de 25,5°C nos meses do período seco. Contudo, neste período podem ocorrer as “friagens”, devido à entrada dos ventos frios da massa polar, provocando queda abrupta na temperatura com curta duração de tempo e irregularidade anual de ocorrência (MACHADO et al. 2015).

Em relação ao regime dos ventos, em consequência das baixas altitudes em Cuiabá, associada às barreiras impostas pelos chapadões em seu entorno, a ventilação é consequentemente reduzida com ventos fracos a moderado na maior parte do ano, com média anual de 1,7m/s, segundo Machado et al. (2015).

A velocidade dos ventos é frequentemente baixa pela manhã, com intensidade maior à tarde e expressivamente reduzida à noite. Quanto às direções dos ventos, no período chuvoso a maior frequência é de Noroeste a Norte, contudo no período seco a maior frequência encontra-se na direção Sul (VILANOVA e MAITELLI, 2009).

Na cidade de Cuiabá o rigor climático devido às condições desfavoráveis como: a localização em área de depressão, maior frequência de ventos fracos a moderados e elevadas temperaturas sazonais, contribuem para potencializar as relações entre os padrões do uso e ocupação do solo sobre o microclima das áreas urbanas (PAULA, et al. 2016b).

3.2 REFERÊNCIAL METODOLÓGICO

Apresentam-se a seguir os procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento das etapas delineadas para o alcance dos objetivos. Os métodos adotados foram estruturados em duas fases, sendo na primeira fase a pesquisa investigativa, fundamentada em dados obtidos em campo e de imagens georreferenciadas, que forneceram subsídios para o desenvolvimento da segunda fase, a

pesquisa experimental, composta por simulação do sombreamento arbóreo em modelos 3D de estacionamentos de superfície para a cidade de Cuiabá-MT.

Para este estudo, a escala horizontal de análise considerada foi o microclima, onde cada superfície e os elementos constituintes do entrono podem definir as condições microclimáticas dos espaços intraurbanos (OKE, 1997). Sendo, conforme Katzschner (2009), a escala típica de influencia dos espaços intraurbanos, praças, sistema viário, calçadas, pátios e o entrono dos volumes edificados.

Em relação à escala vertical, o comportamento microclimático observado encontra-se inserido na camada urbana entre o solo e o nível médio das coberturas dos volumes edificados, que representa as interações entre a atmosfera e os elementos urbanos (OKE, 1997). Nesse sentido, para as duas fases da pesquisa as avaliações microclimáticas foram pautadas no método de Katzschner (1997), que consiste em qualificar e quantificar os atributos físicos e espaciais dos espaços urbanos, expressos em mapas temáticos, buscando-se a identificação e a caracterização dos padrões dinâmicos do microclima urbano.

3.3 FASE INVESTIGATIVA

A porção da malha urbana selecionada para a pesquisa investigativa foi o campus da Universidade Federal de Mato Grosso-Cuiabá. A área enquadra-se ao objeto de estudo por apresentar cobertura vegetal integralmente reflorestada, com vegetação consolidada em ambiente urbano. Apresenta cobertura do solo diversificada e condizente com as características e as variações quanto à ocupação do solo da malha urbana local.

O campus encontra-se localizado na região leste do perímetro urbano da cidade, sendo uma zona mista de alta densidade construída, caracterizada por uso comercial, institucional, de serviços e o residencial. A região leste possui uso do solo heterogêneo entre bairros com predominância de unidades térreas, áreas em expansão ocupadas por edifícios residências e comerciais e um sistema viário com elevado trafego de veículos
Figura 3.

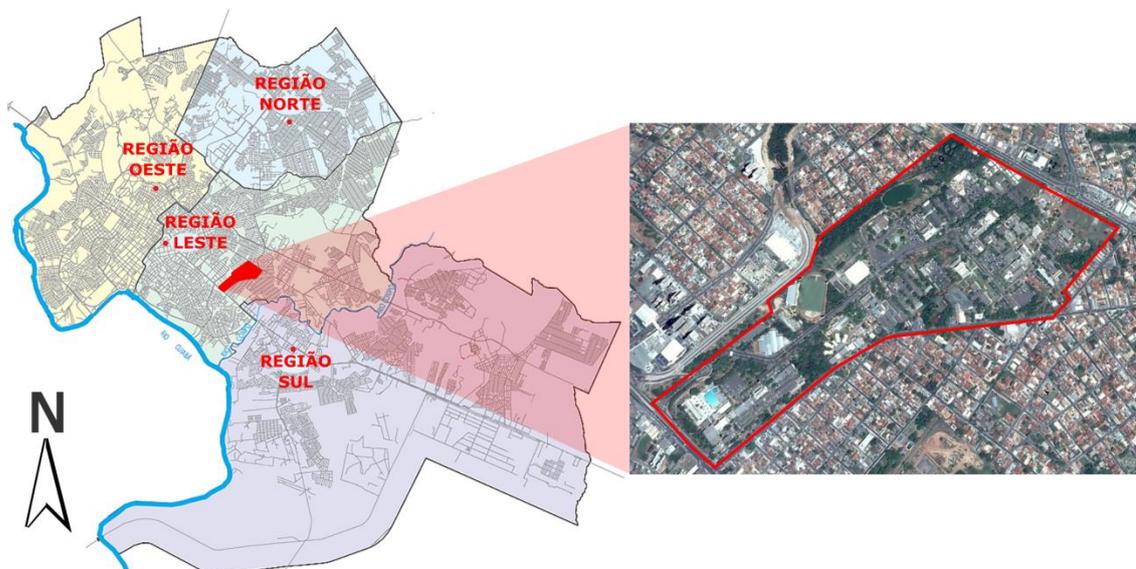


Figura 3. Área urbana de Cuiabá e a porção urbana Universidade Federal de Mato Grosso
Fonte: Prefeitura Municipal-IPDU e imagem Google Earth, adaptada pela autora, 2017

A área do campus apresenta ocupação do solo diversificada em terreno de perfil irregular com área de aproximadamente 73 hectares. As edificações são compostas por blocos horizontais com até quatro pavimentos e o padrão construtivo varia de acordo com período das construções.

O sistema viário no campus é composto por áreas para circulação de veículos, uma avenida principal e ruas secundárias, conta com 20 áreas para estacionamentos com pavimentação asfáltica, espaços para circulação de pedestres com calçadas junto aos leitos carroçáveis e calçadas com pavimentação em concreto entre as edificações.

A cobertura vegetal é composta por espécies nativas do Cerrado e espécies Exóticas adaptadas à região. A conformação da cobertura vegetal é constituída por agrupamentos arbóreo e arbustivo em bosques, arborização viária junto às vias e nos estacionamentos, e os elementos arbóreos dispersos em áreas ajardinadas entre os blocos de edificações. A cobertura com gramíneas encontra-se distribuída entre campos gramados e em áreas menores em composição paisagística, associada a elementos arbóreos ou arbustivos.

3.3.1 Os estacionamentos selecionados

As áreas de estacionamento existentes no campus apresentaram diferenças quanto às configurações espaciais, sendo, em sua maioria estacionamentos lineares paralelos ao leito carroçável das vias secundárias. Desse modo, foram selecionadas oito áreas que apresentaram superfícies integralmente pavimentadas, delimitação definida

para área do estacionamento e diversidade quanto à distribuição da arborização existe. Os estacionamentos selecionados foram identificados como E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, E-7 e E-8, apresentados na Figura 4.

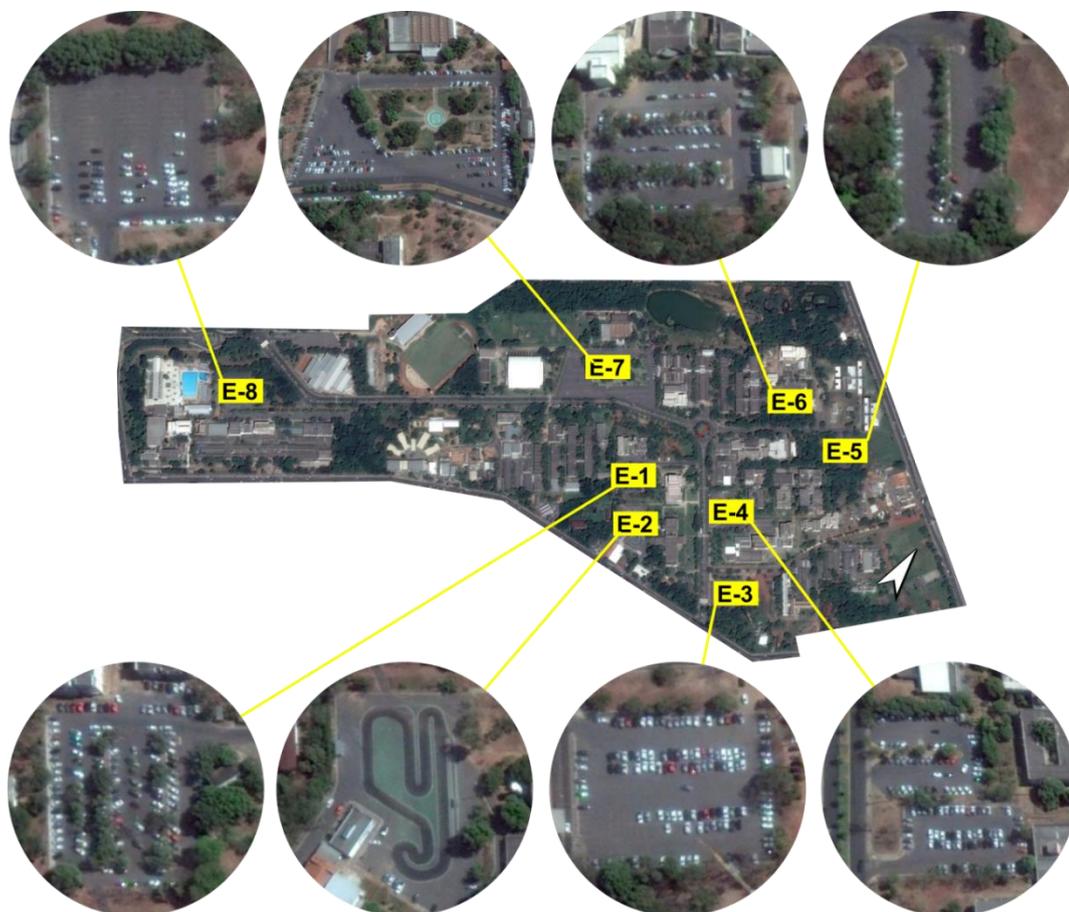


Figura 4. Os estacionamentos selecionados no campus da UFMT/Cuiabá
Fonte: Imagens Google Earth, adaptadas pela autora, 2017

Quanto às características espaciais, foi observada variação expressiva entre as áreas dos estacionamentos, conforme dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas e o número total de vagas para veículos nos estacionamentos selecionados

| ESTACIONAMENTOS | Altitude (m) | Área Total (m ²) | Asfalto (m ²) | Canteiros (m ²) | Vagas N° | Orientação Vias |
|-----------------|--------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|-----------------|
| E-1 | 180 | 4.477,1 | 4.225,22 | 251,9 | 115 | NO-SE |
| E-2 | 185 | 4.490,4 | 4.675,6 | --- | 170* | NO-SE |
| E-3 | 187 | 4.108,2 | 4.277,6 | --- | 200 | NE-SO |
| E-4 | 186 | 3.746,9 | 2.967,18 | 779,7 | 142 | NE-SO |
| E-5 | 180 | 2.702,5 | 2.535,98 | 166,5 | 110 | NO-SE |
| E-6 | 179 | 4.549,0 | 4.286,99 | 262,0 | 160 | NE-SO |
| E-7 | 177 | 11.698,9 | 11.698,94 | --- | 440 | NE-SO |
| E-8 | 174 | 4.474,9 | 4.474,88 | --- | 194 | NO-SE |

* O estacionamento não possui demarcação das vagas, sendo assim o número de vagas foi estimado.

A maior área com pavimentação asfáltica foi a do E-7, ressalta-se que para este estudo foram computadas as áreas pavimentadas no entorno da praça central existe. No E-5 foi computada a menor área pavimenta, assim como a menor área de canteiros entre as vagas para paradas de veículos, contudo, a maior área de canteiros disponível para arborização foi a do E-4.

Considerando a orientação das principais vias de circulação para veículos, 50% dos estacionamentos possuem orientação a NO-SE e nos demais a NE-SO. As áreas das vagas para parada de veículos apresentaram orientações distintas em relação ao eixo das vias de acesso, sendo a 45° nos E-1, E-4, E-5 e E-6, e orientação a 90° nos E-3, E-7 e E-8. Ressalta-se que no E-2 não há delimitação das vagas, sendo que, foi observada baixa frequência de uso da área para estacionamento de veículos, contudo a área é utilizada para outras finalidades, como atividades físicas e recreativas.

Em relação ao aspecto localização, os dados da altitude das áreas selecionadas forma obtidos na plataforma Google Earth (2017). Os estacionamentos apresentaram diferentes níveis de altura do solo, a diferença máxima foi de aproximadamente 13m entre o E-3 e o E-8, localizado no menor nível das áreas selecionadas, seguida da diferença de 6m, entre os E-4 e E-5, e da diferença de 5m entre os E-1 e E-2.

Quanto à distribuição da arborização existente, para este estudo, os estacionamentos forma classificados em duas tipologias, sendo o tipo arborização lateral (AL) composto pelos estacionamentos E-2, E-3, E7 e E-8 com arborização no entrono das áreas pavimentadas, e do tipo arborização lateral e central (ALC), composto pelos estacionamentos E-1, E-4, E-5 e E-6 com arborização nas laterais e em canteiros centrais entre os alinhamentos das vagas para parada de veículos.

3.3.2 Caracterização da cobertura do solo

De acordo com observações em campo e dados das imagens do campus, foram identificados seis diferentes tipos de cobertura do solo, sendo estas: áreas ocupadas por edificações; áreas de calçadas e pátios pavimentados em concreto; áreas do sistema viário com pavimentação asfáltica, leito carroçável das vias e estacionamentos para veículos; áreas com solo totalmente exposto, áreas de superfícies de corpos d'água e áreas com vegetação, abrangendo cobertura arbórea, arbustiva, vegetação rasteira e gramados. Assim, no presente estudo foram definidas seis classes de ocupação do solo.

A área de abrangência dos estacionamentos foi definida com raio de influência de 140,0m, sendo estabelecido como centro da área um ponto equidistante aos três pontos de medição em cada estacionamento, conforme metodologia de Katzschner (1997), assim como a indicação de Oke (1997).

A elaboração do mapa de ocupação do solo foi realizada por meio de imagens de alta resolução, associadas a dados vetoriais extraídos de arquivo com levantamento atualizado da área do campus, fornecido pela instituição, conforme procedimento descrito a seguir:

- a) Obtenção das imagens da área do campus na plataforma Google Earth Pro; Inserção das imagens em software CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por computador), redefinição da escala, tendo-se como referência dimensões aferidas no local;
- b) Sobreposição dos dados vetoriais a imagem do campus;
- c) Execução do mascaramento das áreas correspondentes às classes de uso solo definidas para os mapas dos estacionamentos;
- d) Recorte das áreas de influência de cada estacionamento, totalizando 8 mapas;
- e) Na última etapa foi estimada a área de mascaramento correspondente a cada classe de ocupação do solo e o percentual relativo ao total da área de influência dos estacionamentos.

Em relação aos efeitos sobre o solo as classes de ocupação do solo foram agrupadas em duas categorias, sendo, áreas impermeáveis compostas pelas classes edificações, asfalto e concreto, e áreas permeáveis compostas pelas classes vegetação, solo exposto e superfícies d'água.

3.3.3 Caracterização da cobertura arbórea

Os efeitos da cobertura arbórea sobre o microclima urbano estão associados às características da vegetação, aos fatores espaciais, a fatores geoclimáticos e as interações com os atributos do ambiente urbano (ABREU-HARBICH et al., 2015).

A caracterização da arborização existente foi realizada por levantamento em campo, onde foram coletadas amostras, registros fotográficos e o registro em planilha, contendo informações da localização, das espécies e do número dos indivíduos arbóreos existentes nas áreas dos estacionamentos (Figura 5).



Figura 5. Exemplos de registros das amostras empregadas na identificação das espécies arbóreas existentes nos estacionamentos

Fonte: Imagens executadas pela autora, 2017

A identificação das espécies arbóreas foi realizada com a colaboração de técnicos e docentes da instituição, abonadas e complementadas em bibliografias específicas na identificação de árvores de biomas brasileiro, sendo Lorenzi (2002a), (2002b) e (2008).

Na estimativa do índice de cobertura arbórea (CA) dos estacionamentos, foram elaborados mapas sazonais, tendo-se como base imagens georreferenciadas de alta resolução do mês de março de 2017 para o período úmido e imagens do mês de agosto de 2017 para o período seco. O método empregado foi o da classificação direta, objetos identificados por interpretação técnico-visual, confirmadas por observações em campo, conforme procedimentos descritos a seguir:

- a) Obtenção das imagens dos estacionamentos no aplicativo Google Earth Pro (2017);
- b) Ampliação da resolução das imagens no aplicativo AutoGr Toolkit 3.3 (2017);
- c) Inserção das imagens em programa CAD, redefinição das escalas de cada imagem, tendo-se com referência dimensões aferidas em campo;
- d) Elaboração de uma malha vetorial de 1m x 1m sobre as áreas dos estacionamentos;
- e) Execução do mascaramento das células da malha correspondente às áreas do dossel arbóreo nos estacionamentos;
- f) Na última etapa foram estimadas as áreas do mascaramento, sendo a área total da cobertura arbórea, empregada na estimativa do índice de CA, dado pela relação:

$$\text{Índice de CA} = \text{Área CA} * 100 / A. t$$

Eq.01

Sendo: Área da cobertura arbórea (CA) a área total ocupada pelo dossel arbóreo; e A.t a totalidade da área do estacionamento incluindo canteiros laterais e centrais.

3.3.4 Medições das variáveis microclimáticas

O planejamento do transecto e a distribuição dos pontos fixos foram definidos com base nos objetivos propostos, na distribuição espacial dos estacionamentos na porção urbana e no menor tempo possível para realização do percurso. Desse modo, foi necessário o uso de automóvel para o deslocamento entre as áreas, com desembarque para aferição dos pontos em cada área, sendo realizado o fechamento do percurso em período de tempo máximo de 55 minutos.

Os pontos de início e fechamento do transecto foram dispostos sobre área gramada a céu aberto (AG), sendo o ponto referencial ao comportamento microclimático dos estacionamentos. Nas áreas dos estacionamentos, do E-1 ao E-8, foram distribuídos três pontos, sendo um ponto a céu aberto e dois pontos sob o dossel arbóreo, (destaque na cor verde) em posições opostas quanto à radiação solar incidente, totalizando 24 pontos nos estacionamentos (Figura 6).

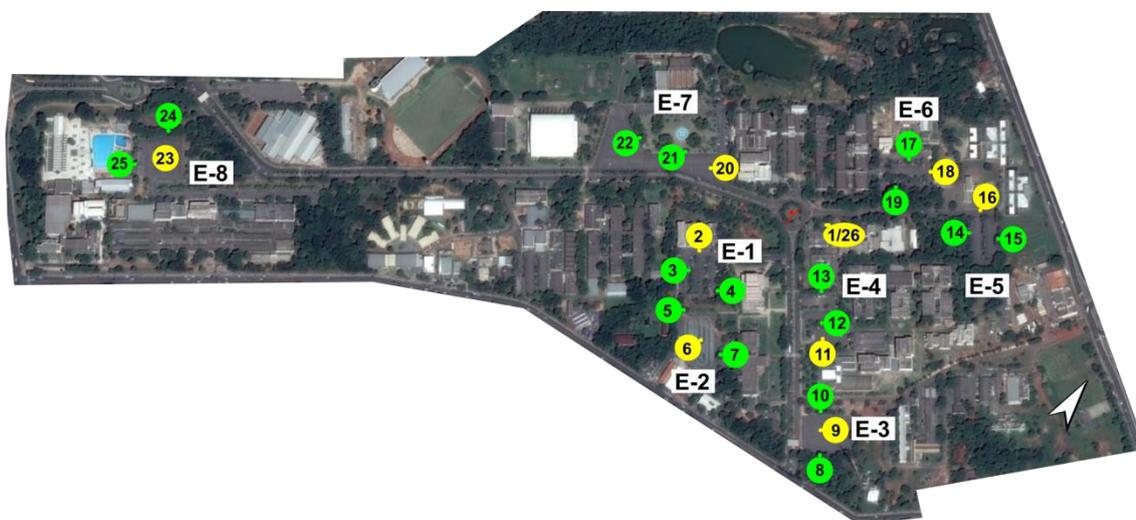


Figura 6. Distribuição dos pontos do transecto no campus da UFMT-Cuiabá
Fonte. Imagem Google Earth adaptada pela autora, 2017

Os Pontos 1 e 26, início e fechamento do transecto, foram localizados em área gramada (AG) na lateral da via de acesso aos estacionamentos E-5 e E6, sendo a área próxima a uma estação microclimática fixa do Programa de pós graduação em física ambiental, apresentado na Tabela 2.

Nas áreas dos estacionamentos, do E-1 ao E-8, os pontos foram distribuídos sobre a pavimentação asfáltica a céu aberto e sobre pavimentação asfáltica a sombra de diferentes espécies arbóreas, conforme descrição na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição pontos de aferição na área gramada (AG) e nos estacionamentos E-1 a E-8

| | | | |
|---|--|---|-------------------|
|  <p>1 - 26</p> | <p>AG</p> | | |
| <p>P1 e P26 Sobre superfície gramada a céu aberto</p> | | | |
|  <p>2</p> |  <p>3</p> |  <p>4</p> | <p>E-1</p> |
| <p>P2- Na via de transito a céu aberto P3- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) P4- Sob copa de <i>Mangifera indica</i> (Mangueira)</p> | | | |
|  <p>5</p> |  <p>6</p> |  <p>7</p> | <p>E-2</p> |
| <p>P5- Sob copa de <i>Hymenaea stigonocarpa</i> (Jatobá do cerrado) P6- Na via de transito a céu aberto P7- Sob copa de <i>Mangifera indica</i> (Mangueira)</p> | | | |
|  <p>8</p> |  <p>9</p> |  <p>10</p> | <p>E-3</p> |
| <p>P8- Sob copa de <i>Mangifera indica</i> (Mangueira) P9- Na via de transito a céu aberto P10- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti)</p> | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
|  11 |  12 |  13 | <p>E-4</p> <p>P11- Na via de transito a céu aberto P12 e 13- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti)</p> |
|  14 |  15 |  16 | <p>E-5</p> <p>P14 e 15- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) P16- Na via de transito a céu aberto</p> |
|  17 |  18 |  19 | <p>E-6</p> <p>P17- Sob copa de <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Tamboril) P18- Na via de transito a céu aberto P19- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti)</p> |
|  20 |  21 |  22 | <p>E-7</p> <p>P20- Na via de transito a céu aberto P21- Sob copa de <i>Cassia ferrugínea</i> (Chuva de ouro) P22- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti)</p> |
|  23 |  24 |  25 | <p>E-8</p> <p>P23- Na via de transito a céu aberto P24- Sob copa de <i>Licania tomentosa</i> (Oiti) P25- Sob copa de <i>Tabebuia-róseo-alba</i> (Ipê)</p> |

Fonte: Imagens produzidas pela autora, 2017

Tendo-se como objeto de estudo o comportamento microclimático nos estacionamentos pavimentados, as variáveis temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), Temperatura da superfície (T_s) e Velocidade de vento (V_v) foram definidas como parâmetro para as análises das diferenças ou similaridades entre as áreas dos estacionamentos na porção urbana UFMT.

O monitoramento foi realizado mensalmente durante três dias, ao longo de 12 meses, dos quais foram selecionados os dois dias mais homogêneos, conforme apresentados na Tabela 3. Os transectos foram realizados em três períodos do dia, matutino às 7h, vespertino às 14h e noturno às 20h, conforme padronização indicada pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia).

Tabela 3. Coleta dados microclimáticos, os anos, os meses e os dias selecionados para o estudo

| Ano | 2016 | | | | 2017 | | | | | | | |
|-------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Meses | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago |
| Dias | 21 | 18 | 23 | 12 | 24 | 16 | 8 | 11 | 17 | 22 | 25 | 7 |
| | 22 | 19 | 24 | 13 | 25 | 17 | 9 | 12 | 18 | 23 | 26 | 8 |

As aferições das variáveis microclimáticas foram realizadas consecutivamente em cada ponto do percurso, por meio dos instrumentos apresentados na Figura 7.

Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa (a) foram utilizados com proteção de abrigo ventilado naturalmente, confeccionado em PVC pelo Laboratório de conforto ambiental do Programa de pós-graduação em física ambiental (b).

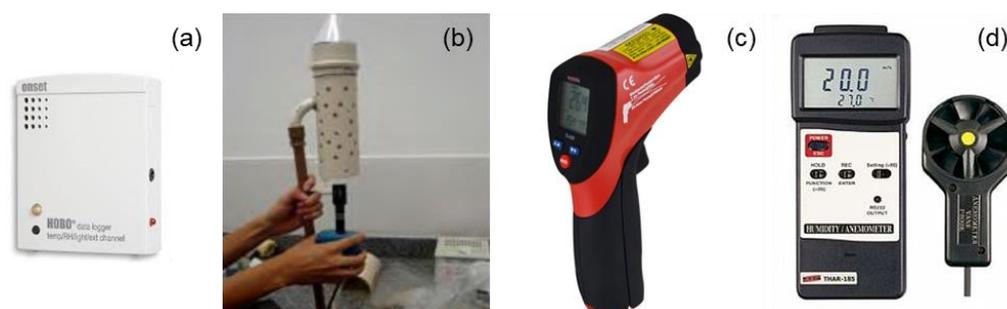


Figura 7. Instrumentação utilizada nas medições: (a) sensores temperatura do ar e umidade relativa, (b) abrigo meteorológico, (c) termômetro infravermelho e (d) Anemômetro

Fonte: Imagens: (a) Onset (2018) (b) Franco (2010), (c)(d) Instrutherm (2018)

O conjunto, abrigo e sensores, foram transportados manualmente, ficando posicionados na altura de 1,30 a 1,40m acima do solo, conforme a norma ISO 7726 (ISO, 1998). Os sensores foram configurados no programa fornecido pelo fabricante

para registros dos dados a cada 1min, ao final de cada transecto os dados eram descarregados e convertidos em arquivos de texto.

A variável temperatura da superfície foi aferida por termômetro infravermelho digital (c) de leitura instantânea, mantendo-se a mira a no máximo 50 cm acima da superfície, seguindo-se as orientações do fabricante. Já para a variável velocidade de vento foi empregado um anemômetro digital com ventoinha portátil de posicionamento manual, buscando-se a orientação do quadrante norte a noroeste, sendo a orientação dos ventos predominantes na área de estudo. Para a leitura da velocidade de vento buscou-se fazer o registro dos movimentos moderados do vento, evitando-se as rajadas súbitas e de curta duração. Os valores dos limites de referência dos instrumentos utilizados foram observados, conforme dados dos fabricantes, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Descrição dos equipamentos utilizados no monitoramento microclimático

| Marca: Modelo | Variável | Escala | Resolução | Precisão |
|---|---------------------------|--------------|-----------------|---|
| (a) ONSET: Data Logger HOBO, Mod. U12 | Temperatura do Ar | -20° a 70°C | 0,1°C | ± 2 mV ± 1% |
| | Umidade Relativa | 0 a 95% | 1% | |
| (c) INSTRUTHERM: Anemômetro Mod. THAR185 | Velocidade de vento | 0,2-25,0 m/s | 0,1m/s | ± 3% + 1dígito |
| (b) INSTRUTHERM: Termômetro, Mod. TI430 Infravermelho Digital | Temperatura da superfície | -50 a 1000°C | ±0,5% ou ±0,5°C | -50 ~20°C: ± 2,5°C 20~300°C: ± 1,0°C |

Na caracterização do período de estudo foram obtidos dados da Estação meteorológica INMET-Aeroporto Marechal Rondon, para os meses e dias do levantamento microclimático, e dados de longo prazo, sendo a Normal Climatológica de Cuiabá-MT de 1961 a 1990 (Normal-Cuiabá-MT), (INMET, 2017).

3.3.5 Tratamento e avaliação dos dados microclimáticos

A caracterização do período de estudo, do mês de setembro de 2016 ao mês de agosto de 2017, foi realizada por meio de avaliação comparativa dos dados climáticos da estação INMET, definida como estação de referência (Est.INMET) e os dados de longo prazo da Normal-Cuiabá-MT (NC). O perfil climático do período de estudo (P.E) foi avaliado pelos valores das médias mensais da temperatura do ar (°C) e os valores da precipitação mensal acumulada (mm).

Na área de estudo a caracterização do comportamento microclimático foi realizada por meio de avaliação comparativa em relação às medias mensais da temperatura do ar e umidade relativa observadas na porção urbana (UFMT) e as médias

mensais das variáveis na Est-INMET. As avaliações foram realizadas para os dias e horários em que foram coletados dos dados microclimáticos.

A avaliação microclimática sazonal das áreas monitoradas foi realizada por meio de variação temporal e espacial das amplitudes e os dos valores extremos, médias mínimas e máximas, das variáveis aferidas a céu aberto sobre as superfícies pavimentadas em relação das variáveis aferidas na superfície gramada.

Quanto ao efeito do sombreamento arbóreo entre os estacionamentos, foram estimadas as diferenças entre as variáveis aferidas sobre a superfície pavimentada a céu aberto e sob o dossel arbóreo. Desse modo, foram observadas as variações temporal e espacial dos valores máximos absolutos das diferenças entre os pontos monitorados.

O efeito do sombreamento arbóreo sobre as variáveis aferidas foram avaliados de acordo com os limites de precisão dos equipamentos utilizados, ou seja, as diferenças com valores abaixo dos limites de precisão não foram contabilizadas, sendo para a $T_a \pm 1\%$, $UR \pm 1\%$, $T_s \pm 1^\circ\text{C}$ e para V_v de $\pm 3\%$.

3.3.6 Análises estatísticas

Nas avaliações da significância estatística, quanto ao comportamento dos dados microclimáticos, foram empregados testes estatísticos de acordo com o conjunto de dados avaliados e os objetivos definidos em cada etapa das avaliações.

Preliminarmente, foi realizada verificação dos pressupostos, homogeneidade, variância e aderência à distribuição Normal, avaliados pelos testes de Levene e Kolmogorov-Smirnov, respectivamente (GLANTZ, 2014).

Quando constatado a não normalidade dos dados, foram empregados testes não paramétricos de comparação de postos médios, sendo, o teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes, com objetivo de verificação do grau de significância das diferenças na distribuição de determinada variável quanto aos fatores temporais e ou espaciais (MARÔCO, 2018).

As diferenças entre grupos de variáveis foram avaliadas por meio dos testes não paramétricos de Kruskal-Wallis de avaliação entre grupos independentes, e ainda o teste de U de Mann-Whitney de avaliação entre pares de amostras independentes (MARÔCO, 2018).

Tendo-se como objetivo identificar os grupos homogêneos, quanto ao comportamento microclimático entre os estacionamentos, foi selecionada a análise de clusters, ou análise de agrupamentos. O método possibilita a classificação de objetos,

segundo o grau de semelhanças e de dissemelhanças. Permite a identificação de grupos homogêneos, de forma que os elementos de um grupo apresentem menores distâncias, semelhanças, possíveis e maiores distâncias, dissemelhanças, entre os demais grupos.

A análise de Clusters foi definida com base nos resultados da avaliação microclimática, a análise foi realizada com a interação das variáveis Ta, UR, Ts e a Vv no comportamento microclimático sazonal. O método empregado foi o da distância Euclidiana Quadrática para as ligações médias entre grupos, com sumarização das variáveis (score z), devido às diferenças de escala entre as variáveis (MARÔCO, 2018). Ao final as relações entre as variáveis microclimáticas e a cobertura do solo foram analisadas por meio do coeficiente de correlação não paramétrico de *Spearman*, (GLANTZ, 2014).

3.4 FASE EXPLORATORIA

Na fase exploratória os experimentos de simulação tridimensional (3D) do sombreamento arbóreo para a cidade de Cuiabá-MT, tiveram por objetivo analisar os efeitos de fatores espaciais, associados a fatores biofísicos da arborização, no potencial de sombreamento das superfícies em estacionamentos pavimentados. Desse modo, foram elaborados modelos 3D de espécies da arborização urbana e de duas tipologias de áreas para estacionamentos de superfície, identificadas nos estacionamentos avaliados.

As análises comparativas foram realizadas por meio da variação temporal e espacial dos valores estimados das áreas de sombra do dossel arbóreo (ASB) e dos valores estimados do índice de sombreamento arbóreo (ISA) dos cenários de estacionamentos propostos para os experimentos.

3.4.1 Caracterização das espécies arbóreas

Na etapa exploratória, foram obtidos dados espaciais e biofísicos de algumas das espécies presentes na arborização da área de estudo. Para proposição de modelos arbóreos 3D buscou-se a aproximação do comportamento real do dossel arbóreo em relação à radiação solar incidente e ao potencial de sombreamento das espécies arbóreas selecionadas. Na seleção das espécies foram observados alguns aspectos, tais como: frequência no levantamento da arborização nos estacionamentos avaliados na fase investigativa; diversidade das amostras quanto à fenologia e a variabilidade quanto ao porte de uma mesma espécie no meio urbano. Uma vez que, na arborização urbana uma mesma espécie pode apresentar variações quanto às dimensões, altura total, extensão e

volume do dossel, associadas ao estresse do meio urbano no desenvolvimento vegetal e as frequentes podas de formação ou manutenção, em especial em árvores localizadas no sistema viário (MCPHERSON et al., 2018).

Dentre as espécies identificadas nos estacionamentos, foram selecionadas três espécies: *Licania tomentosa* (Oiti), espécie exótica adaptada à região, perene de médio porte e alta densidade da copa, amostras A; *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), espécie nativa do cerrado, decídua de grande porte e baixa densidade da copa, amostras B; *Cariniana rubra Gardner ex Miers* (Cachimbeira), espécie nativa do cerrado, semidecídua de médio porte e média densidade da copa, amostras C.

Destaca-se que, a terceira espécie com maior frequência foi a *Mangifera indica* (Mangueira), entretanto não sendo apropriada para áreas de estacionamentos, devido aos frutos, optou-se por uma espécie nativa do tipo semidecíduas, após definição das espécies foram selecionadas três amostras de cada espécie. A seleção das amostras na área de estudo foi definida buscando-se árvores com maior isolamento possível, sendo 4 amostras localizadas no estacionamento E-6, 3 amostras na rotatória viária e 2 amostras na lateral de calçadas, conforme apresentação na Figura 8.



Figura 8. Localização das amostras de espécies arbóreas selecionadas na área de estudo:
A *Licania tomentosa* (Oiti); B, *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril)
e C, *Cariniana rubra Gardner ex Miers* (Cachimbeira)

Fonte: Imagens produzidas pela autora e imagem adaptada do Google Earth, 2017

No levantamento em campo das espécies amostradas foram identificadas as dimensões do diâmetro do tronco acima do peito (DAP), da altura do fuste (HF) e das larguras aproximadas das copas, obtidas com auxílio de uma trena de 50m. Paralelamente ao levantamento espacial, foram obtidas imagens fotográficas das amostras arbóreas em diferentes direções, mantendo-se distancia aproximada de 20m (LIMA e LEDER, 2017) e tendo-se como referência uma baliza com 1,0 m de altura, posicionada rente ao tronco das amostras.

Os procedimentos adotados possibilitaram o processo do escalonamento das imagens para ajuste às dimensões reais e a reprodução do desenho vetorial em escala dos perfis médios das arvores amostradas. A partir da definição dos perfis das arvores foram estimados a altura total do dossel (HC), a altura total da arvore (HT) e a área aproximada do dossel (AD) (LIMA e LEDER, 2017).

3.4.2 Aferição dos dados biofísicos: IAF e radiação solar

Tendo-se como objetivo estimar o potencial de sombreamento propiciado pelo dossel arbóreo das amostras, ou seja, as variações quanto à transmissividade da radiação solar, que depende de fatores associados às características biofísicas das espécies, tais como o IAF e as características fenológicas, que definem o comportamento sazonal das espécies.

Diante do exposto, foram definidas as variáveis para medições em campo, sendo os valores do IAF e a radiação solar abaixo e fora do dossel arbóreo. As variáveis foram obtidas por meio do analisador Ceptometer Accupar modelo LP80 (Figura 9), que realiza estimativa instantânea dos valores do IAF e mede a radiação solar no intervalo do comprimento de ondas da PAR em $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$ (DECAGON DEVICES, 2017).



Figura 9. Medidor Ceptometer Accupar modelo LP80
Fonte: DECAGON DEVICES, 2017

As medições foram realizadas em dois períodos do ano, sendo ao final do período úmido em 4 de maio de 2017, quando as copas apresentavam maior densidade foliar, e ao final do período seco em 18 de setembro de 2017, quando as copas apresentavam menor densidade foliar e dependendo da espécie apresentavam completa substituição das folhas por flores e ou frutos.

Os dados foram coletados em horário de máxima radiação solar, entre 11h e 12h (OLIVEIRA et al. 2013), com aferição de dois pontos sob a área do dossel e fora do dossel arbóreo, sem obstrução e com exposição plena a radiação solar. Ao final das medições foram contabilizadas 36 aferições em cada campanha de medição das 9 amostras selecionadas.

Na estimativa dos valores das variáveis medidas, foi considerado o valor médio dos dois pontos aferidos em cada amostra arbórea, obtendo-se o valor do IAF e os valores da radiação solar a sombra (RSB) e a radiação solar incidente (RSI), fora do dossel arbóreo, a céu aberto e sem obstrução.

3.4.3 Estimativa da atenuação da radiação solar

O potencial sazonal do sombreamento propiciado pelo dossel arbóreo das amostras foi avaliado pela atenuação da radiação solar incidente (AT) estimada pela relação empregada em Abreu-Harbich, et al. 2015.

$$AT = \frac{RSI - RSB}{RSI} * 100 \quad \text{Eq.02}$$

Sendo: AT o percentual da atenuação propiciada pelo dossel arbóreo, RSI a radiação PAR incidente e RSB a radiação PAR transmitida através do dossel arbóreo.

A relação entre o índice biofísico, IAF, das espécies arbóreas e a AT da radiação solar foi avaliada por meio de correlação de Pearson, considerando o efeito sazonal sobre o dossel arbóreo (PILAU e ANGELLOCCI, 2015).

Na análise do grau de correlação, entre o IAF e a AT da radiação solar, foram empregados os critérios proposto por Devore (2010) que classifica o grau de correlação de Pearson, entre 0,00 a 1,00, como correlação bem fraca a muito forte.

3.4.4 Configurações das simulações 3D

Na construção dos modelos 3D das amostras arbóreas, buscou-se maior aproximação aos dados coletados das arvores amostradas, por meio dos seguintes procedimentos:

- a) Inserção e ajuste da escala das imagens das amostradas em programa CAD;

- b) Elaboração do desenho vetorial do perfil médio das amostras arbóreas;
- c) Ajustes da forma geométrica do dossel arbóreo, mantendo-se as áreas estimadas do perfil e da projeção do dossel, na construção dos modelos 3D das arvores no programa Sketchup-Pro (2017), conforme apresentado na Figura 10.

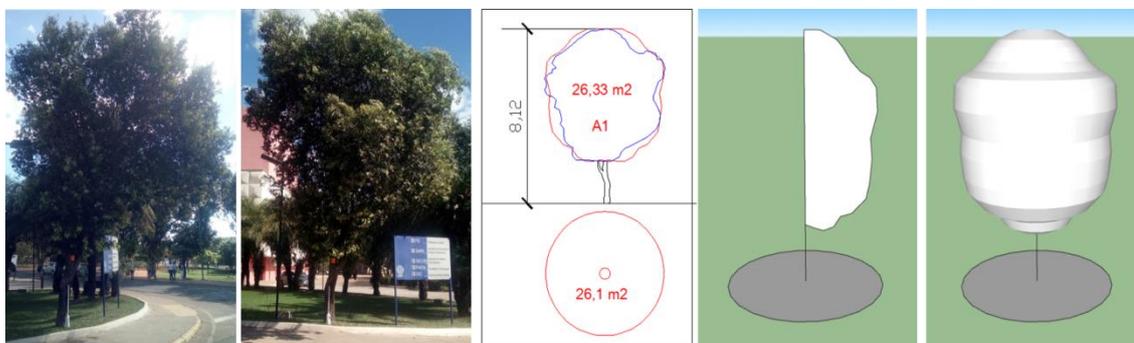


Figura 10. Exemplo do levantamento fotográfico e da representação do perfil arbóreo, construção do modelo arbóreo A1 (*Licania tomentosa* (Oiti))

Fonte: Imagens produzidas pela autora, 2017

De acordo com os dados observados na fase investigativa, foram definidos como fatores espaciais das áreas de estacionamentos, a orientação das vagas para automóveis, em relação ao eixo longitudinal da via de acesso à vaga, e a orientação geográfica da área dos estacionamentos. Assim sendo, para as simulações foram elaborados dois modelos, com duas tipologias de estacionamentos, com vagas a 90° (E-90) e com vagas a 45° (E-45), conforme normas municipais de Cuiabá-MT (IPDU, 2004), quanto às dimensões das vagas e das vias para circulação de veículos em estacionamentos, conforme detalhado na Figura 11.

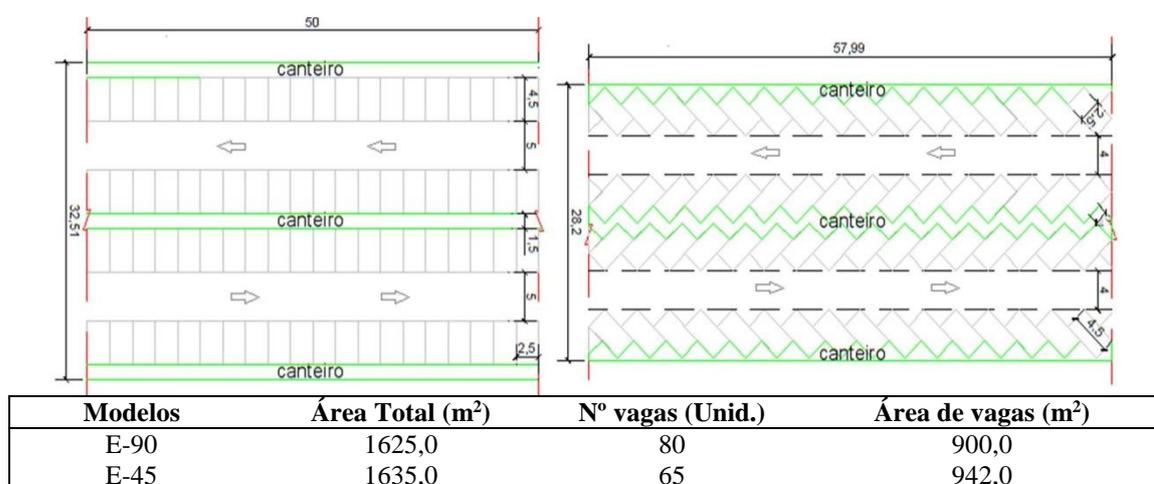


Figura 11. Caracterização dos modelos para a tipologia de estacionamentos E-90, com vagas a 90°, e o modelo E-45 com vagas a 45°

Para possibilitar avaliação comparativa entre os fatores espaciais de diferentes tipologias, buscou-se maior similaridade entre as áreas, mantendo-se valores aproximados na configuração dos modelos, E-90 e E-45, tais como área total dos estacionamentos e as áreas ocupadas por vagas.

Em relação à configuração da arborização foram definidos dois cenários: O Cenário-1 com 27 modelos arbóreos em cada estacionamento, mantendo-se igual valor para o índice de CA, obtido conforme equação 01, para os dois modelos de estacionamentos (Figura 12).

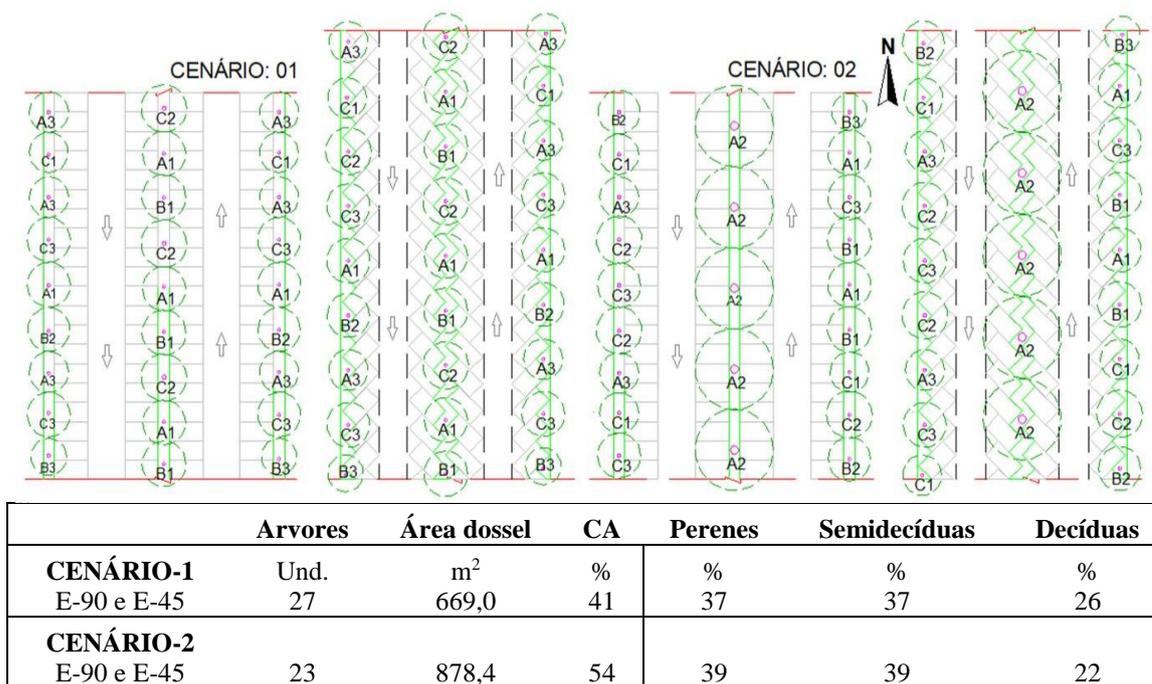


Figura 12. Caracterização dos Cenários para os modelos de estacionamentos E-90 e E-45

Quanto à distribuição das espécies foi mantido mesmo percentual para as espécies perenes e semidecíduas, e menor percentual para as decíduas. Na configuração do cenário-2 buscou-se maior abrangência da CA, em relação ao cenário-1, assim, a opção foi pelo emprego de 5 unidades do modelo A2(Oiti), sendo o modelo com maior área de dossel.

Dessa forma, foram empregados 23 modelos arbóreos, mantendo-se igual distribuição e taxa da CA para os modelos E-90 e E-45. Em relação à distribuição das espécies, foi mantido mesmo percentual para as perenes e semidecíduas, e menor percentual para as decíduas, conforme dados detalhados na Figura 12.

Em relação ao fator orientação geográfica, foram definidas para este estudo três posições para as áreas dos estacionamentos, tendo-se como referência a orientação das

vias de circulação de veículos, sendo nas orientações Norte a Sul (N-S), Este a Oeste (E-O) e na orientação Nordeste a Sudoeste (NE-SO).

As simulações do sombreamento arbóreo foram configuradas para a latitude e longitude da cidade de Cuiabá-MT, no período de máxima altura solar (menor ângulo zenital), sendo nos Equinócios de 21 de março e 21 de setembro às 12h.

Os dados foram inseridos no programa Sketchup-Pro (2017) para a simulação das sombras do dossel arbóreo. Após as referidas configurações as simulações foram executadas para o cenário-1 e o cenário-2 nas orientações geográficas definidas para as simulações.

Ressalta-se que, para a área de estudo a avaliação do sombreamento arbóreo nos equinócios possibilitou a observação da variação sazonal, no mês de março para o período úmido e no mês de setembro para o período seco, tendo-se os mesmos valores de referência quanto à posição solar na abóboda celeste.

3.4.5 Estimativa da área de sombreamento arbóreo (ASB)

Após as simulações dos cenários nas orientações N-S, E-O e NE-SO, a estimativa das respectivas áreas de sombra dos modelos arbóreos forma obtidas conforme os seguintes procedimentos:

- a) Extração das imagens, em vista de topo dos estacionamentos no programa Sketchup Pro (2017);
- b) Inserção, escalonamento e sobreposição das imagens ao desenho vetorial dos estacionamentos para cada orientação geográfica, em programa CAD;
- c) Elaboração do contorno das áreas e execução do mascaramento das áreas de sombra;
- d) Extração dos valores (m^2) correspondentes à área total das sombras dos modelos arbóreos e a área de sombra efetivas sobre as superfícies do estacionamento (ASB-E);
- e) Extração dos valores (m^2) correspondentes à área de sombra efetivas sobre as superfícies pavimentadas das vagas, não considerando as áreas dos canteiros, obtendo-se a área de sombra (ASB-V) para cada setor das vagas, do a1 ao c4, O processo foi executado para cada orientação geográfica, conforme exemplificado na Figura 13.

Ressalta-se que, para visualização das áreas de sombra abaixo do dossel, os modelos arbóreos foram configurados com um percentual de transparência.

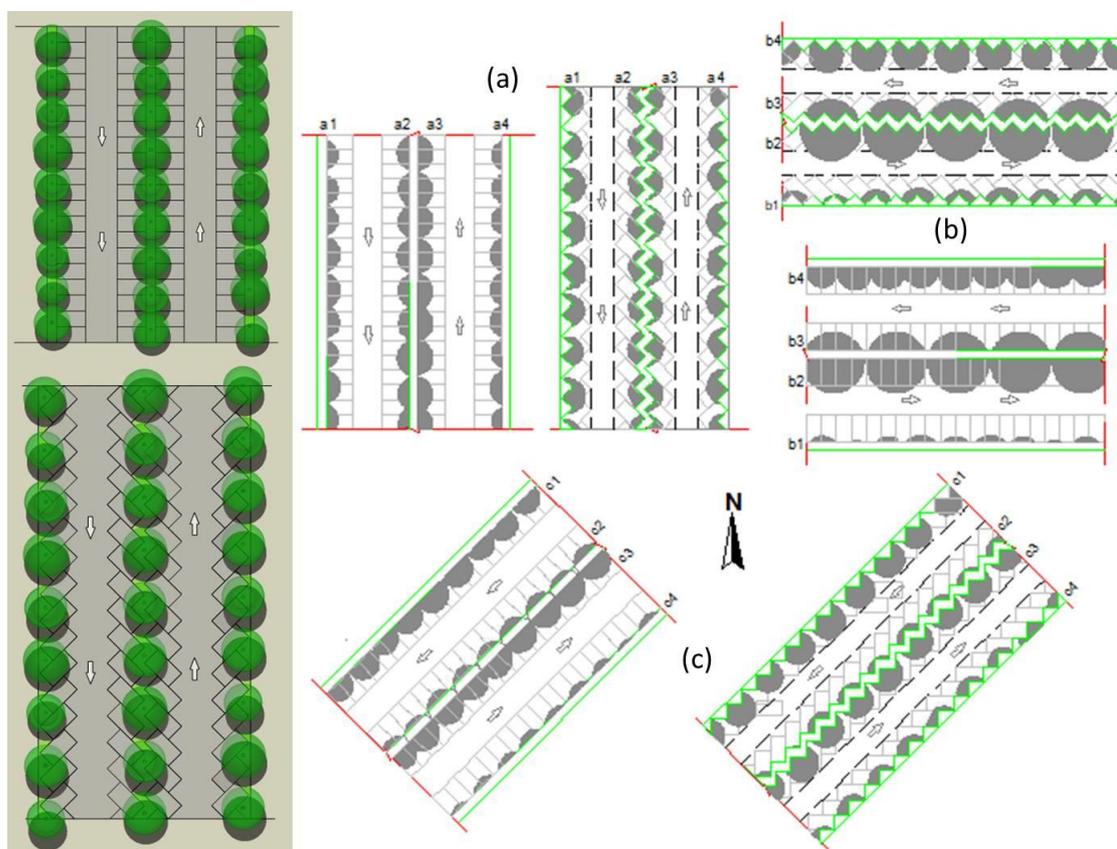


Figura 13. Exemplos da estimativa das áreas de projeção das sombras do dossel arbóreo: Cenário 1e 2, modelos E-90-45 (a) orientação N-S, (b) orientação E-O, (c) orientação NE-SO

Os efeitos sazonais dos fatores espaciais sobre o sombreamento efetivo das superfícies pavimentadas foram ponderados por meio de avaliação comparativa dos valores das ASB-V entre os setores de alinhamento das vagas, do a1 ao c4, e os valores das ASB-E total dos estacionamentos, em relação aos fatores espaciais definidos para as simulações.

3.4.6 Estimativa do índice de sombreamento arbóreo (ISA)

A relação entre o potencial sazonal do sombreamento arbóreo e os fatores espaciais, tipologias dos estacionamentos e a orientação geográfica, foi avaliada por meio do ISA, considerando um fator de eficiência para a ASB do dossel arbóreo, adaptado do modelo proposto em Scott, Mcpherson (1999) e Mcpherson e Muchnick (2005), sendo:

$$ISA = ASB * AT / A * 100$$

Eq.02

Sendo, ISA o índice de sombreamento arbóreo da área avaliada; ASB a área efetiva do sombreamento sobre a superfície avaliada; AT a média da atenuação da radiação solar, sendo o fator de eficiência da área de sombra; A, a área total da superfície avaliada. Para este estudo foram empregados os valores da AT obtidos nas medições em campo, sendo estimado o valor médio do conjunto de árvores distribuído nos diferentes cenários avaliados.

3.4.7 Análise estatística

A análise estatística foi aplicada com objetivo de avaliar o efeito dos fatores espaciais, orientação e as tipologias E-90 e E-45, assim como o efeito da taxa de CA sobre os valores do ISA-E nos estacionamentos e o valor do ISA-V nas áreas das vagas.

Preliminarmente foram empregados o teste de Levene, de homogeneidade de variância, e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, sendo adequado a amostras com menor número de dados (GLANTZ, 2014). Sendo constatada a normalidade dos dados, a análise de variância multivariada (MANOVA) foi empregada na avaliação dos efeitos entre os fatores fixos, orientação geográfica, tipologias dos estacionamentos e os cenários simulados (RIBAS e VIEIRA, 2011).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 FASE INVESTIGATIVA

Os mapas de ocupação do solo das áreas de influência dos estacionamentos são apresentados na Figura 14. Houve diferenças expressivas entre as classes de ocupação do solo nas áreas de influencia dos estacionamentos. Contudo entre as categorias permeáveis e impermeáveis houve menor variação dos valores percentuais entre as áreas de influência dos estacionamentos.

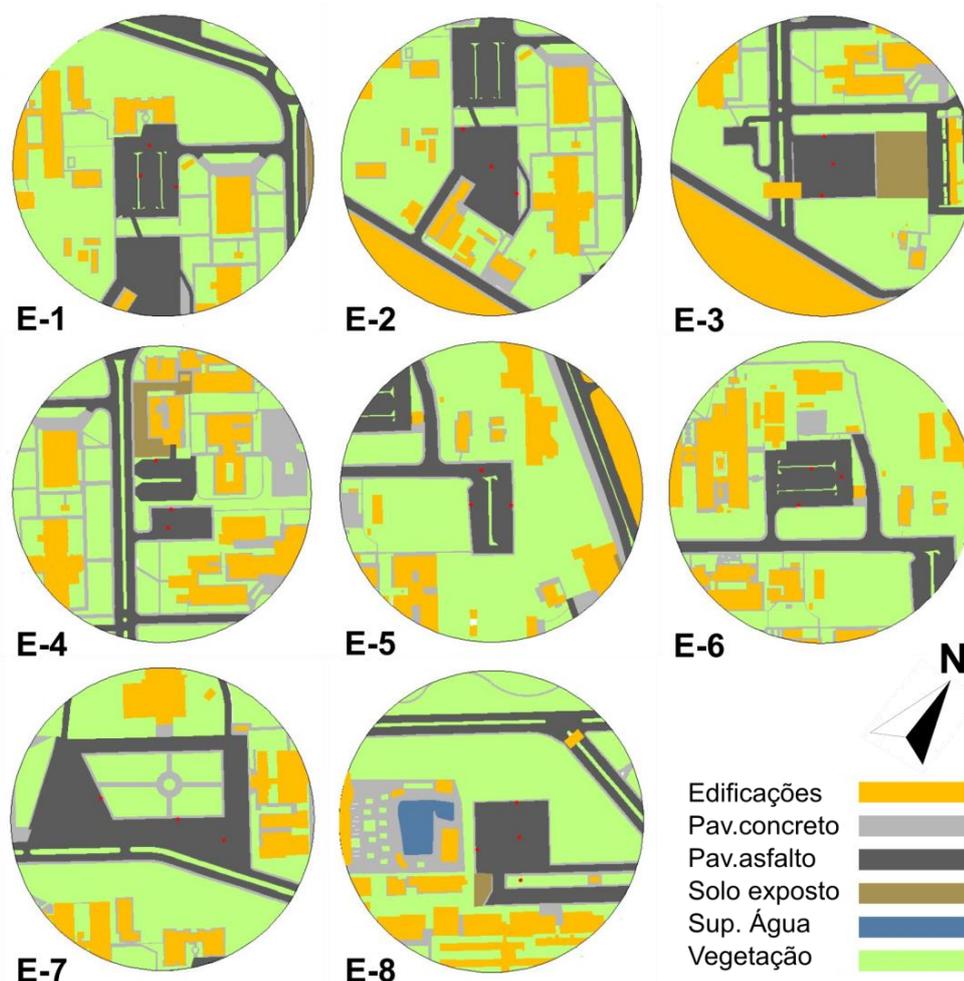


Figura 14. Mapas da cobertura do solo nas áreas de influencia dos estacionamentos

A distribuição dos valores percentuais das classes de ocupação do solo e da categoria impermeável e categoria permeável são apresentadas na Tabela 6.

A classe Vegetação foi dominante, como os maiores valores de ocupação em todas as áreas. O valor percentual máximo de ocupação foi o da área E-5, seguida das áreas E-6 e E-1. Para a classe Edificações os maiores valores percentuais foram nas áreas E-6 e E-4-3, respectivamente, em comparação aos percentuais das demais áreas,

onde a classe Asfalto apresentou maior ocupação com percentual máximo para a área E-7, seguida das áreas E-1, E-3, respectivamente.

Para a classe Concreto a maior ocupação foi na área E-8 e a menor ocupação nas áreas E-7 e E-1, respectivamente. A classe Solo Exposto e superfície de Água, apresentaram baixa ocupação em comparação as demais classes, com os maiores valores percentuais de Solo Exposto nas áreas E-3 e E-4 e nas demais áreas com valores abaixo de 1%.

Tabela 5. Distribuição das classes e categorias (C.) de cobertura do solo nas áreas avaliadas

| CLASSES | E-1 | E-2 | E-3 | E-4 | E-5 | E-6 | E-7 | E-8 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Edificações (%) | 14 | 21 | 25 | 25 | 18 | 29 | 15 | 15 |
| Concreto (%) | 8 | 11 | 9 | 12 | 9 | 10 | 7 | 16 |
| Asfalto (%) | 24 | 22 | 23 | 11 | 17 | 9 | 29 | 20 |
| C. IMPERMEAVEL (%) | 46 | 53 | 56 | 48 | 44 | 47 | 51 | 51 |
| Vegetação (%) | 53 | 46 | 39 | 50 | 56 | 53 | 49 | 46 |
| Solo exposto (%) | 1 | 0 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Água (%) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| C. PERMEAVEL (%) | 54 | 46 | 44 | 53 | 56 | 53 | 49 | 50 |

Em relação à permeabilidade do solo, os maiores percentuais da categoria impermeável foram para as áreas dos estacionamentos do tipo AL, com os maiores valores percentuais nas áreas E-3 e E-2, seguidas das áreas E-7 e E-8, respectivamente. Nas demais áreas dos estacionamentos do tipo ALC, os maiores percentuais foram para a categoria permeável, com maior percentual na área E-5, seguida das áreas E-1, E-6 e E-4, respectivamente (Tabela 5).

Entre as categorias, a diferença máxima foi de 23% para a categoria impermeável na área E-3 e de 21% para a categoria permeável na área E-5. Nas demais áreas as diferenças entre as categorias ficaram abaixo de 14%.

Os percentuais estimados para as classes definidas para este estudo são condizentes com os valores encontrados por Rezende et al. (2014), em mapeamento de ocupação do solo para a porção urbana UFMT.

4.1.1 Caracterização cobertura arbórea nos estacionamentos

No levantamento dos indivíduos arbóreos existentes nos oito estacionamentos, foram contabilizados 410 árvores de 31 diferentes espécies. Dentre as espécies identificadas as maiores ocorrências foram de *Licania tomentosa* (Oiti), *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), *Butia capitata* (Palmeira butiá), *Mangifera indica*

(Mangueira) e a *Caesalpinia pluviosa* (Sibipiruna). As demais espécies apresentaram menor ocorrência conforme descrição na Tabela 6.

Tabela 6. Aspectos descritivos e quantitativos das espécies arbóreas nos estacionamentos

| Esp. | Nome Científico | Nome Popular | Fenologia | DAP (cm) | Nº | FR (%) | Porte (H) | Dens. (DC) |
|--------------|---|----------------------|-------------|--------------|-------------|--------|-----------|------------|
| 1 | <i>Licania tomentosa</i> | Oiti | Perene | 10 a 65 | 156 | 38,0 | Médio | Alta |
| 2 | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> | Tamboril | Decídua | 10 a 30 | 41 | 10,0 | Grande | Baixa |
| 3 | <i>Butia capitata</i> | Palmeira Butiá | Perene | 40 a 65 | 30 | 7,3 | Pequeno | Baixa |
| 4 | <i>Mangifera indica</i> | Mangueira | Perene | 25 a 60 | 23 | 5,6 | Grande | Alta |
| 5 | <i>Caesalpinia pluviosa</i> | Sibipiruna | Semidecídua | 10 a 35 | 22 | 5,4 | Grande | Média |
| 6 | <i>Azadirachta indica</i> | Amargosa | Perene | 5 a 10 | 17 | 4,1 | Grande | Média |
| 7 | <i>Acrocomia aculeata</i> | Bocaiuveira | Semidecídua | 10 a 20 | 16 | 3,9 | Médio | Baixa |
| 8 | <i>Cedrela fissilis Vell.</i> | Cedro-amarelo | Decídua | 10 a 30 | 13 | 3,2 | Grande | Média |
| 9 | <i>Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan</i> | Angico-branco | Decídua | 25 a 30 | 7 | 1,7 | Grande | Baixa |
| 10 | <i>Cocos nucifera</i> | Coqueiro | Perene | 20 a 25 | 7 | 1,7 | Médio | Média |
| 11 | <i>Dipteryx alata Vogel</i> | Cumbarú / Barú | Perene | 15 a 30 | 7 | 1,7 | Grande | Alta |
| 12 | <i>Guazuma ulmifolia Lam.</i> | Matumba/ embira | Semidecídua | 20 a 30 | 7 | 1,7 | Médio | Baixa |
| 13 | <i>Cecropia pachystachya Trécul</i> | Embaúba | Semidecídua | 15 a 20 | 6 | 1,5 | Médio | Baixa |
| 14 | <i>Tabebuia caraiba (Mart.) Bureau</i> | Ipê amarelo | Decídua | 10 a 30 | 8 | 2,0 | Médio | Média |
| 15 | <i>Vochysia divergens Pohl</i> | Cambará | Semidecídua | 25 a 30 | 6 | 1,5 | Grande | Baixa |
| 16 | <i>Bauhinia forficata</i> | Pata de vaca | Perene | 15 a 25 | 5 | 1,2 | Pequeno | Baixa |
| 17 | <i>Cariniana rubra Gardner ex Miers</i> | Cachimbeira | Semidecídua | 20 a 25 | 5 | 1,2 | Médio | Alta |
| 18 | <i>Erythrina mulungu Mart. ex Benth</i> | Mulungú do cerrado | Decídua | 20 a 30 | 5 | 1,2 | Grande | Baixa |
| 19 | <i>Cassia ferruginea (Schrad) Schrad ex DC</i> | Chuva de ouro | Perene | 15 a 30 | 4 | 1,0 | Médio | Baixa |
| 20 | <i>Tabebuia-roseo-alba</i> | Ipê branco | Decídua | 25 a 35 | 4 | 1,0 | Grande | Média |
| 21 | <i>Vochysia haenkeana</i> | Cambarazinho | Semidecídua | 25 | 4 | 1,0 | Grande | Média |
| 22 | <i>Anacardium occidentale</i> | Cajueiro | Decídua | 15 a 25 | 3 | 0,7 | Pequeno | Média |
| 23 | <i>Hymenaea stigonocarpa Mart. ex Hayne</i> | Jatoba-do-cerrado | Decídua | 20 a 25 | 3 | 0,7 | Grande | Baixa |
| 24 | <i>Clitoria fairchildiana Horward</i> | Sombreiro | Decídua | 25 | 2 | 0,5 | Médio | Baixa |
| 25 | <i>Jacaranda cuspidifolia</i> | Jacaranda do cerrado | Decídua | 35 | 2 | 0,5 | Grande | Baixa |
| 26 | <i>Myracrodruon urundeuva Allemão</i> | Aroeira | Decídua | 30 | 2 | 0,5 | Grande | Média |
| 27 | <i>Cassia grandis L.f.</i> | Canafístula | Decídua | 20 | 1 | 0,2 | Grande | Baixa |
| 28 | <i>Enterolobium contortisiliquum Vell. (Morong)</i> | Orelha de macaco | Decídua | 70 | 1 | 0,2 | Grande | Baixa |
| 29 | <i>Ficus benjamina</i> | Ficus | Perene | 25 a 30 | 1 | 0,2 | Grande | Alta |
| 30 | <i>Syagrus oleracea (Mart.) Becc.</i> | Palmeira gueroba | Semidecídua | 25 | 1 | 0,2 | Grande | Baixa |
| 31 | <i>Terminalia catappa L.</i> | Sete copas | Semidecídua | 25 | 1 | 0,2 | Médio | Média |
| TOTAL | | | | 410,0 | 100% | | | |

DAP observado, porte e densidade da copa, são dados da espécie, conforme literaturas consultadas.

A distribuição dos elementos arbóreos apresentou diferença quantitativa entre os estacionamentos. Nos estacionamentos E-1, E-5, E-6 e E-7 houve maior número com valores no intervalo de 56 a 85 indivíduos arbóreos contabilizados, em comparação aos contabilizados nos estacionamentos E-2, E-3, E-4 e E-8 com valores entre 21 a 42 indivíduos arbóreos. Entre os indivíduos arbóreos contabilizados houve maior frequência de espécies de porte médio (50%), seguida das espécies de grande porte

(40%). Quanto às características do dossel arbóreo, a maior frequência foi para espécies de alta DC (47%) seguida das espécies de baixa DC (33%) (Tabela 7).

Tabela 7. Distribuição espacial e quanto ao aspecto fenologia dos indivíduos arbóreos

| Área | Árvores Nº total | Distribuição (%) | | Fenologia (%) | | |
|--------------|---------------------|------------------|-----------|---------------|-----------|--------------|
| | | Laterais | Canteiros | Perenes | Decíduas | Semidecíduas |
| E-1 | 56 | 45 | 55 | 66 | 20 | 14 |
| E-2 | 23 | 100 | 0 | 35 | 22 | 43 |
| E-3 | 40 | 100 | 0 | 33 | 48 | 20 |
| E-4 | 42 | 79 | 21 | 60 | 29 | 12 |
| E-5 | 68 | 72 | 28 | 75 | 9 | 16 |
| E-6 | 75 | 60 | 45 | 51 | 31 | 19 |
| E-7 | 85 | 100 | 0 | 78 | 13 | 9 |
| E-8 | 21 | 100 | 0 | 57 | 24 | 19 |
| TOTAL | 410,0 | | | | | |

Quanto à distribuição espacial da arborização nos estacionamentos do tipo ALC, nos E-1 e E-6 o percentual de árvores nos canteiros centrais foi maior que os percentuais nos canteiros centrais dos E-5 e E-4, em relação à distribuição nas laterais dos referidos estacionamentos (Tabela 7).

Nos canteiros centrais foi observada maior frequência de árvores com DAP entre 10 a 25 cm e menor dossel arbóreo, o que pressupõem que sejam indivíduos arbóreos mais jovens, ou indivíduos com desenvolvimento comprometido pela configuração dos canteiros, com área estreita e em nível acima da superfície pavimentada, o que reduz a possibilidade de infiltração da água de chuva. Mullaney et al. (2015) e Konarska et al. 2016, observaram impacto no desenvolvimento de arvores localizadas em canteiros de superfícies pavimentadas.

Em relação ao aspecto fenologia das espécies, nos E-7 e E-5 foram contabilizados os maiores percentuais das espécies perenes, contudo no E-7 foi registrado o menor percentual das semidecíduas, já no E-5 o menor percentual das espécies decíduas. Nos E-2 e E-3 as espécies decíduas e semidecíduas foram dominantes, os percentuais totais acima dos percentuais das espécies perenes (Tabela 7).

4.1.2 Variação sazonal do índice de cobertura arbórea (CA)

Para o fator áreas os dados estimados da CA não apresentaram aderência à normalidade. O teste de homogeneidade e variância reportou significância estatística entre os valores da CA. Em relação às diferenças na distribuição dos valores da CA, houve variação temporal e espacial significativa entre os períodos sazonais e as áreas dos estacionamentos, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Testes estatísticos para diferenças entre fatores temporal e espacial e as taxas de cobertura arbórea (CA)

| Testes* | Fatores | Sig (CA) |
|--|-----------|----------|
| Levene | Áreas | 0,000 |
| Kolmogorov-Smirnov | | 0,000 |
| Kruskal-Wallis de amostras independentes | P.sazonal | 0,000 |
| | Áreas | 0,000 |

* Nível de significância de 5%

Os mapas da CA dos estacionamentos no período úmido e no período seco são apresentados na Figura 15. As maiores taxas da CA foram as do E-5, de 65% no período úmido e 54% no período seco, seguido do E-6 com taxa de 47% no período úmido e 32% no período seco. Enquanto, as menores taxas foram para o E-7, de 16% no período úmido, seguido do E-3 com taxa de 12% no período seco.

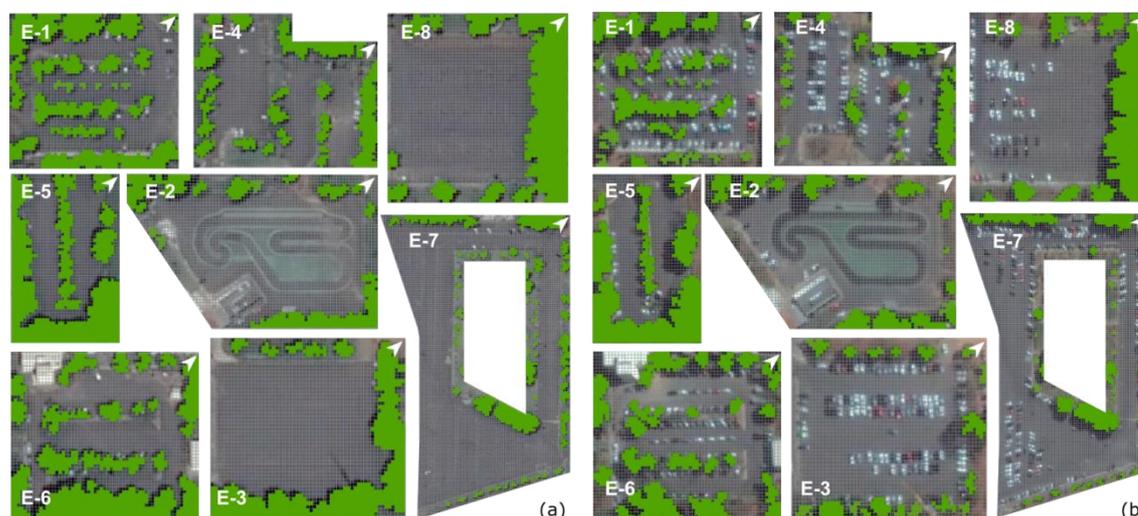


Figura 15. Mapas coberturas arbóreas dos estacionamentos: (a) período úmido (b) período seco.

Fonte: Mapa elaborado sobre imagem Google Earth, adaptadas pela autora, 2017

A maior distribuição espacial da arborização nos estacionamentos do tipo ALC proporcionou as maiores taxas da CA, quando comparados aos estacionamentos do tipo AL, com as menores taxas da CA tanto no período úmido quanto no período seco. Entretanto, houve maior frequência (75%) entre os estacionamentos com taxas da CA abaixo de 43% no período úmido e abaixo de 32% no período seco.

Em áreas urbanas o baixo índice da CA em estacionamento apresenta-se com maior frequência, conforme dados apontados por O'donoghue, et al. (2013), que observaram maior frequência de valores abaixo de 42%, em levantamento de campo abrangendo vinte estacionamentos urbanos.

A variação sazonal do índice de CA foi significativa, entre o período úmido e o período seco com maior restrição hídrica. Houve redução da CA em todos os estacionamentos, com maior valor percentual no E-3. No entanto, nos demais estacionamentos do tipo AL o efeito sazonal foi menor, quando comparados os valores estimados para o tipo ALC com maiores taxas de CA, onde a redução máxima ocorreu no E-1 e no E-6, conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9. Taxas da cobertura arbórea (CA) e as diferenças entre o período úmido e o período seco, para os estacionamentos do tipo: (AL) arborização lateral e (ALC) arborização lateral e central

| Tipologia | Áreas | CA no Período úmido (%) | CA no Período seco (%) | Diferença (%) |
|-----------|-------|-------------------------|------------------------|---------------|
| AL | E-2 | 21,5 | 16,9 | 5 |
| | E-3 | 36,8 | 11,6 | 25 |
| | E-7 | 15,8 | 13,2 | 3 |
| | E-8 | 40,3 | 34,3 | 6 |
| ALC | E-1 | 42,8 | 27,4 | 15 |
| | E-4 | 35,0 | 20,8 | 14 |
| | E-5 | 65,1 | 53,6 | 12 |
| | E-6 | 47,2 | 31,9 | 15 |

Conforme levantamento em campo, a maior diferença no E-3 foi devido à maior concentração de espécies decíduas e semidecíduas, tais como a *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), a *Tabebuia caraíba* (Mart.) Bureau (Ipê amarelo do Cerrado) e a *Caesalpinia pluviosa* (Sibipiruna). Já nos E-7 e E-8 houve maior concentração de espécies perenes nos estacionamentos do tipo AL. Contudo, nos estacionamentos do tipo ALC o maior efeito sazonal foi no E-1 e no E-6, com percentuais próximos a 50%, para frequência das espécies semidecíduas e decíduas.

Quanto à variação sazonal da CA em superfícies urbanas, Callejas et al., 2016, relacionou positivamente a sazonalidade dos fluxos de calor sensível e latente à variabilidade sazonal das superfícies com cobertura vegetal, associadas às superfícies pavimentadas em área urbana da cidade de Cuiabá-MT.

Em relação à sazonalidade do dossel arbóreo Lenza e Klink (2006) em pesquisa na área de cerrado da região centro oeste brasileira, observaram decréscimo na intensidade foliar do dossel arbóreo de espécies nativas, atingindo valores mínimos de 50 a 60% no final do período seco, entre agosto e setembro.

4.1.3 Caracterização do período de estudo

A precipitação nos meses do período de estudo, setembro de 2016 a agosto de 2017, apresentou distribuição mensal condizente com o padrão de referência, a Normal

Climatológica de Cuiabá-MT (1961-1990), com maior precipitação acumulada no período úmido e menor precipitação acumulada no período seco.

Nos meses de fevereiro e março e para os meses de julho e agosto a precipitação acumulada apresentou valores acima dos valores de referência. No entanto, a média sazonal no período de estudo foi de 45,4 mm no período seco e de 201,8 mm no período úmido, valores próximos às médias sazonais de referência, de 43,9 e de 180,0 mm, respectivamente (Figura 16).

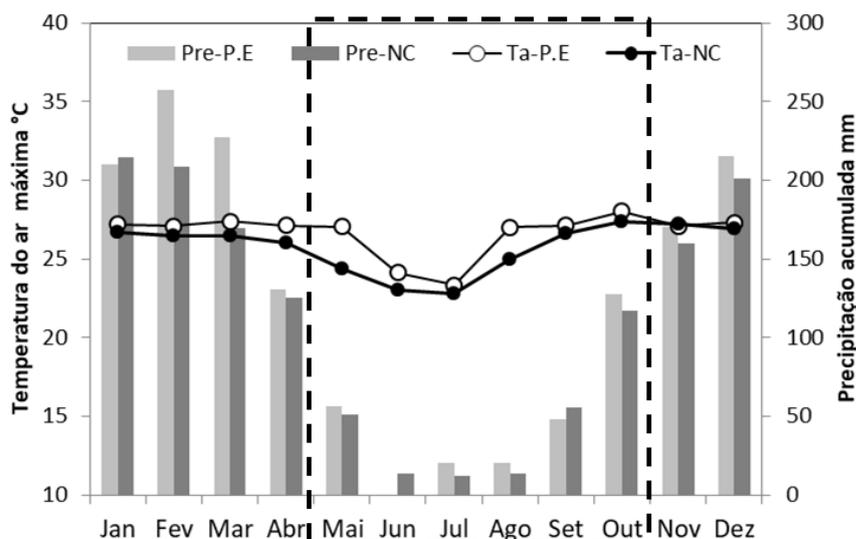


Figura 16. Médias mensais da temperatura do ar: (Ta-P.E) no período de estudo, (Ta-NC) valores de referência da Normal Climatológica de Cuiabá. Precipitação acumulada mensal: (Pre-P.E) no período de estudo (Set./2016 a Ago./2017), e (Pre-NC) valores de referência da Normal Climatológica da precipitação acumulada mensal. Destaque no período seco regional

A variação mensal da temperatura média do ar, no período de estudo, apresentou comportamento aproximado aos valores de referência, com média mínima no mês de julho e a média máxima no mês de outubro. As variabilidades sazonal e mensal corroboram com o perfil climático local confirmado em estudos de Machado et al. (2015). Os resultados observados sugerem que o período de medição foi representativo do perfil climático da cidade de Cuiabá-MT.

4.1.4 Variação da temperatura do ar e umidade relativa na área de estudo

Os dados coletados das variáveis, Ta, UR, Ts, Vv, não apresentaram aderência à normalidade. Para o fator meses do ano os dados não foram homogêneos e a variância apresentou significância estatística. Houve diferenças na distribuição das variáveis microclimática entre os meses do ano e os períodos sazonais (Tabela 10).

Tabela 10. Testes estatísticos entre fatores meses do ano e período sazonal e as variáveis temperatura do ar (Ta) e umidade relativa do ar (Ur) aferidas na porção urbana

| Testes* | Fatores | Sig (Ta) | Sig (UR) |
|--|--------------|----------|----------|
| Levene | Meses do ano | 0,000 | 0,000 |
| Kolmogorov-Smirnov | | 0,000 | 0,000 |
| Kruskal-Wallis de amostras independentes | Meses do ano | 0,000 | 0,000 |
| | P. sazonal | 0,052 | 0,000 |

* Nível de significância de 5%

Na porção urbana de estudo, UFMT, o comportamento médio mensal da temperatura e umidade do ar apresentou similaridade em relação às variações mensais registradas na área da estação de referência local (estação INMET aeroporto Marechal Rondon), porém, foi observado diferenças entre a temperatura do ar e a umidade relativa do ar (Figura 17).

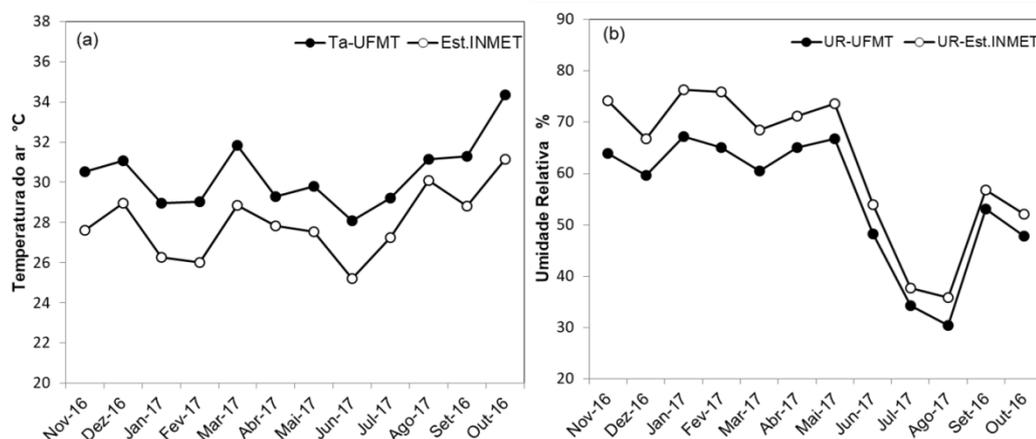


Figura 17. Médias mensais da temperatura do ar e a umidade relativa nos dias de medição: (a) temperatura do ar na porção urbana (Ta-UFMT) e na estação de referência (Est.INMET), (b) umidade relativa na porção (UR-UFMT) e na estação de referência (UR-Est.INMET)

Na porção urbana houve elevação da temperatura do ar em relação à temperatura do ar da estação de referência, Est.INMET, a diferença máxima foi de 3,2°C em outubro, o mês mais quente do período, e a diferença mínima de 1,1°C em agosto, o mês com a menor umidade relativa do período e maior amplitude anual.

Para a variável umidade relativa às diferenças entre as áreas apresentaram relação com a sazonalidade, nos meses de maior precipitação, de novembro a abril, houve maiores diferenças entre as médias mensais, com valores no intervalo de 6,2 a 11,2%, em relação às diferenças observadas nos meses de menor precipitação, de maio a outubro, com diferenças no intervalo de 3,4 a 6,8%.

As variações observadas entre a temperatura e a umidade do ar podem ser atribuídas às diferenças quanto ao grau de urbanização entre a área de estudo mais urbanizada e a área da estação climática de referência menos urbanizada.

Os resultados alcançados demonstraram conformidade quanto porção urbana de estudo e a área da estação de referência, Est.INMET, assim como a validação dos dados coletados como representativos do comportamento microclimático da área de estudo.

4.1.5 Avaliação microclimática das áreas monitoradas

Para o fator pontos as variáveis microclimáticas aferidas não apresentaram aderência à normalidade. O teste de homogeneidade e variância reportou significância estatística entre os valores das variáveis Ta, UR, Ts e Vv. Sendo que, para as variáveis aferidas, houve variação significativa entre os pontos sobre a superfície gramada e sobre as superfícies pavimentadas (Tabela 12).

Nos períodos avaliados houve variação temporal significativa entre os horários de medição e os períodos sazonais. Na distribuição espacial houve diferenças significativas das variáveis aferidas entre os pontos avaliados, conforme teste de Kruskal-Wallis (Tabela 11).

Tabela 11. Testes entre fatores temporais e espacial e as variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv) aferidas nos pontos a céu aberto, sobre grama e as superfícies pavimentada dos estacionamentos

| Testes* | Fatores | Sig (Ta) | Sig (UR) | Sig (Ts) | Sig (Vv) |
|--|------------|----------|----------|----------|----------|
| Levene | Pontos | 0,018 | 0,039 | 0,000 | 0,000 |
| Kolmogorov-Smirnov | | 0,000 | 0,013 | 0,000 | 0,000 |
| Kruskal-Wallis de amostras independentes | P. do dia | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | P. sazonal | 0,050 | 0,000 | 0,020 | 0,000 |
| | Pontos | 0,048 | 0,010 | 0,000 | 0,000 |

* Nível de significância de 5%

Para os pontos de início e de fechamento do transecto móvel, P1 e P26 sobre superfície gramada, não houve diferenças com significância estatística entre as variáveis aferidas, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Teste estatístico para diferenças das variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv), aferidas a céu aberto nos pontos P1 e P26 localizados na área gramada (AG)

| | Estatísticas de teste ^a | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Ta | UR | Ts | Vv |
| U de Mann-Whitney | 2162,500 | 2231,500 | 2418,000 | 2405,000 |
| Wilcoxon W | 4790,500 | 4859,500 | 5046,000 | 5033,000 |
| Z | -1,716 | -1,440 | -0,699 | -0,850 |
| Significância Assint. (Bilateral) | 0,088 | 0,150 | 0,485 | 0,396 |

a. Variável de Agrupamento: Ptos: grupos: P 1 e P 26

4.1.5.1 Temperatura do ar (T_a) e umidade relativa (U_r)

As variações temporais e espaciais dos valores médios das variáveis T_a e U_r são apresentadas na Figura 18.

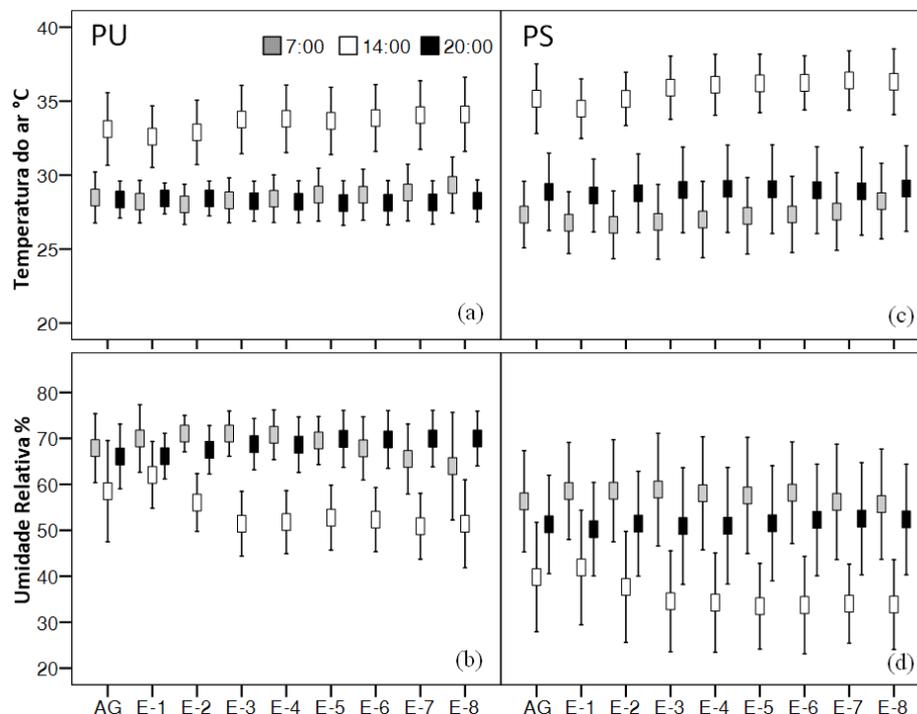


Figura 18. Médias horárias e desvio padrão dos pontos a céu aberto na área gramada (AG) e nos estacionamentos, E1 ao E-8: Temperatura do ar (T_a) no período úmido (a) e no período seco (b); Umidade relativa (U_r) no período úmido (b) e no período seco (d)

Entre os estacionamentos houve variação sazonal das amplitudes dos valores médios da T_a , no período úmido a amplitude foi de $0,4^{\circ}\text{C}$ (20h) a $1,6^{\circ}\text{C}$ (14h) (Figura 18(a)). Já no período seco, a amplitude foi de $0,5^{\circ}\text{C}$ (20h) a 2°C (14h) (Figura 18(b)). No ciclo horário, às 7h a T_a mínima foi a do E-1 e a máxima no E-8, já às 14h a T_a mínima foi no E-1 e a máxima nos E-7-8, com igual variação espacial no período úmido e no período seco. Entretanto, às 20h houve maior variação espacial dos valores extremos, com a T_a mínima nos E-5-6 e a máxima nos E-1 no período úmido, já no período seco a T_a mínima foi a do E-1 e máxima nos E-4-8

Em relação aos valores da T_a na AG, houve variação temporal e espacial das diferenças entre os estacionamentos. Às 7h, no período úmido em 50% das áreas, E-5 ao E-8, os valores da T_a ficaram acima dos valores na AG em até $1,1^{\circ}\text{C}$ (E-8). Contudo, no período seco em 63% das áreas, E-1 ao E-5, os valores da T_a ficaram abaixo dos valores da AG em até $-0,7^{\circ}\text{C}$ (E-1). Às 14h houve maior percentual das áreas (75%) com valores da T_a acima da AG, os valores máximos foram de $1,2^{\circ}\text{C}$ (E-7-8) no período úmido e de $1,5^{\circ}\text{C}$ (E-8) no período seco. Já às 20h, no período úmido em maior

percentual das áreas não houve diferenças expressivas em relação a Ta na AG. No período seco em 75% das áreas, E-3 ao E-8, os valores da Ta ficaram acima dos valores na AG em até 0,6°C (E-4-8).

No comportamento dos valores médios da UR, entre os estacionamentos a amplitudes no período úmido foi de 4% (20h) a 10% (14h), Figura 18(b), já no período seco a amplitude foi de 2% (20h) a 7% (14h), Figura 18(d). No ciclo horário das medições, às 7h a UR mínima foi a do E-8, e os valores máximos nos E-1-2 nos dois períodos sazonais. Os menores valores sazonais da UR forma registrados às 14h, no período úmido o valor mínimo foi a do E-7 e o máximo no E-1, enquanto no período seco a UR mínima foi a dos E-7-8 e a máxima permaneceu no E-1. No horário noturno a variação da UR foi menor, com valor mínimo no E-1 e os valores máximos nos E-5-6 nos dois períodos sazonais.

Em relação aos valores da UR na AG, às 7h no período úmido do E-1 ao E-4 (50%), os valores da UR estiveram até 4% acima dos valores na AG, nas demais áreas a UR ficou abaixo em até -6% dos valores da AG. Sendo que, no período seco houve maior percentual (75%) das áreas, E-1 ao E-6, com valores até 4% acima da UR na AG. Já às 14h, com os maiores valores da Ta, para os dois períodos sazonais houve maior percentual (88%) das áreas com valores da UR abaixo dos valores da AG, no período úmido o valor máximo foi de -15% (E-7) e no período seco de -18% (E-5-8).

4.1.5.2 *Temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv)*

As variações temporais e espaciais dos valores médios das variáveis Ts e Vv são apresentadas na Figura 19.

Entre os estacionamentos a amplitude dos valores da Ts do período úmido foi de 1,4°C (20h) a 6,7°C (7h) (Figura 20 (a)), enquanto no período seco a amplitude foi de 1,5°C (20h) a 4,8°C (7h) (Figura 20(c)). No ciclo horário houve menor variação espacial dos valores mínimos da Ts, em todos os horários de medição os valores mínimos foram registrados nos estacionamentos E-1 e E-4, para os dois períodos sazonais. Contudo, para os valores máximos da Ts houve maior variação, sendo às 7h o valor máximo no E-5-8, sendo às 14h e às 20h o valor máximo no E-3 para os dois períodos sazonais.

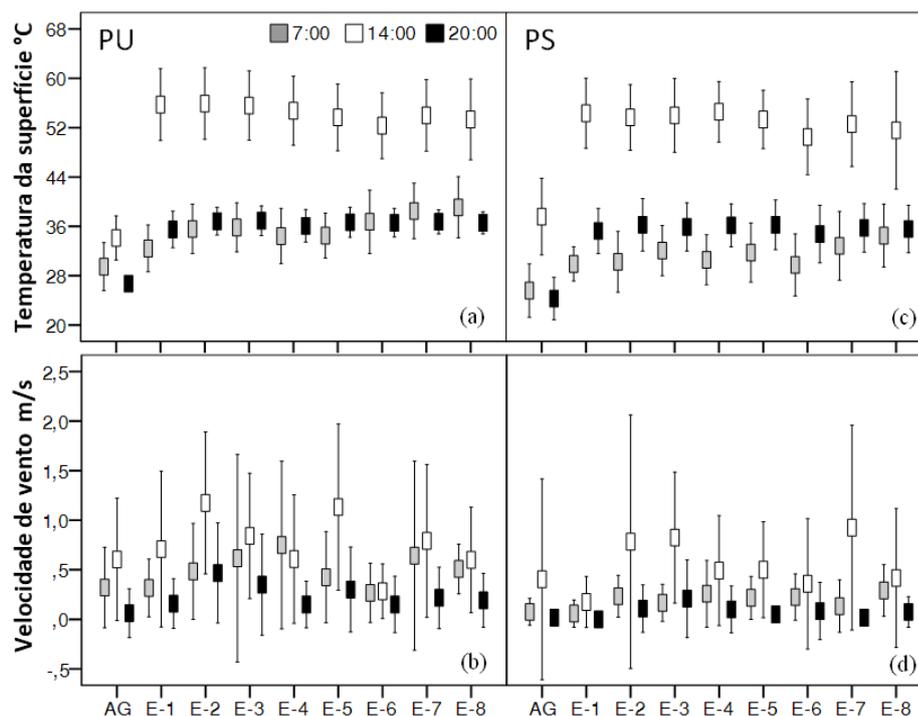


Figura 19. Médias horárias e desvio padrão dos pontos a céu aberto na área gramada (AG) e nos estacionamentos, E1 ao E-8: Temperatura da superfície (Ts), (a) no período úmido e (c) no período seco; Velocidade de vento (Vv), (b) no período úmido e (d) no período seco

Quanto às diferenças da Ts nas superfícies pavimentadas em relação à superfície gramada, houve variação temporal e espacial entre os estacionamentos. Às 7h, os valores da Ts ficaram acima dos valores da AG em até 10°C (E-8), em ambos os períodos sazonais. Às 14h, as diferenças atingiram os maiores valores, sendo no período úmido de até 22°C (E-2), enquanto no período seco foi de até 17°C (E-1). Contudo, às 20h, houve menor variação térmica entre as superfícies, sendo no período úmido no máximo de 10°C, e no período seco de até 12°C em relação à superfície gramada.

No comportamento da Vv houve variação expressivas entre os horários monitorados, no período úmido a amplitude foi de 0,32m/s (20h) a 0,89m/s (14h), Figura 19(b), enquanto no período seco a amplitude foi de 0,15m/s (20h) a 0,75m/s (14h), Figura 19(d). No ciclo horários os valores mínimos da Vv foram registradas no E-6 para o período úmido e no E-1 para o período seco. Já para os valores máximos no período úmido às 7h e às 20h foi a do E-2 e às 14h no E-3. No entanto, no período seco os valores máximos foram registrados no E-3 em todos os horários da medição.

De modo geral, nos horários monitorados, houve maior percentual dos estacionamentos com valores médios da Vv acima do valor da AG, tanto no período úmido quanto no período seco. Entretanto, nos estacionamentos E-1 e E-6 o comportamento da Vv foi diferenciado, pois em maior frequência os valores da Vv

estiveram abaixo dos valores da AG. As maiores diferença ocorreram nos horários diurnos, sendo que, no período úmido as diferenças máximas foram as do E-6, de -20% (7h) a -114% (14h). Já no período seco as máximas diferenças ocorreram no E-1, de -29% às 7h e de -113% às 14h.

4.1.6 Síntese da avaliação microclimática das áreas monitoradas

No período do levantamento microclimático no E-1 houve maior frequência dos valores mínimos da Ta e da Ts, enquanto para a UR, com relação inversa às variações da Ta, foram registrados os valores máximos nos horários diurnos. Já para a Vv houve maior frequência dos valores mínimos em todos os horários do período seco.

O comportamento das variáveis microclimáticas no E-1 resultou das configurações do entrono, tais como, o sombreamento parcial observado sobre as áreas verdes devido à proximidade de edificações de dois pavimentos, canteiros laterais em taludes devido ao nível abaixo do E-2, assim como, ao maior percentual de árvores nos canteiros centrais em relação à arborização lateral.

Diante do exposto, pode-se inferir que a maior rugosidade no E-1 e o sombreamento do entrono imediato, proporcionou a redução das trocas convectivas favorecendo aos menores valores da Ta, Ts, e Vv, assim como a consequente elevação da UR na referida área.

No entanto, no horário noturno, às 20h, houve maior frequência dos valores mínimos da Ta e máximos da UR nos E-5 e E-6, sendo os estacionamentos do tipo ALC e com as maiores taxas da CA tanto no período seco como no período úmido. O comportamento das variáveis Ta e UR nas referidas áreas evidenciaram o efeito positivo da vegetação no período noturno, devido ao resfriamento das superfícies e a maior disponibilidade da umidade do solo e vegetação no entrono dos estacionamentos, assim como a redução das trocas convectivas devido a menor ventilação no período noturno.

Em relação aos valores máximos, houve maior frequência da Ta e dos valores mínimos da UR no período diurno nos E-7 e E-8, sendo os estacionamentos do tipo AL com amplas superfícies pavimentadas. Desse modo, maior parcela da radiação incidente foi convertida em calor sensível, favorecendo a elevação da Ta e a redução da UR nas camadas de ar próximas à superfície pavimentada.

Os valores extremos das variáveis Ta e UR nos E-7 e E-8 corroboram com os valores observados por Couto et al. (2014) e Callejas et al. (2015) nas mencionadas áreas.

Quanto a variável V_v os valores máximos apresentaram maior frequência nos E-2 e E-3, sendo os estacionamentos do tipo AL com menores taxas da CA, localizados em áreas com os maiores níveis topográficos e próximos as divisas do campus, contornado por ampla avenida de alto tráfego de veículos. Os resultados observados sugerem a influência do entorno no comportamento da variável V_v nos referidos estacionamentos. Ressalta-se que em Alves e Biudes (2012) as áreas dos referidos estacionamentos apresentaram padrão microclimático diferenciado das demais áreas avaliadas no campus UFMT.

Em relação ao ponto referencial sobre a superfície gramada, o impacto da pavimentação asfáltica foi evidenciado no horário vespertino, às 14h, com maior incidência da radiação solar, nos estacionamentos a elevação máxima da T_a atingiu 5% (E-7-8), com redução dos valores da UR em até 18%. Quanto aos valores da T_s sobre a pavimentação asfáltica o maior aquecimento das superfícies pavimentadas atingiu 39% (E-2) em comparação aos menores valores da T_s na superfície gramada, conforme observados por Callejas et al. 2015.

As variações resultaram das diferenças entre as propriedades termofísicas das superfícies, tendo-se na grama maior albedo e menor emissividade em relação à superfície asfáltica, desse modo na grama parte da radiação incidente é convertida em calor latente devido à evapotranspiração e a evaporação da umidade do solo, enquanto que, na pavimentação asfáltica a radiação solar incidente é absorvida e irradiada na forma de calor sensível, aquecendo o ar das camadas mais próximas da superfície asfáltica (LI et al. 2013).

4.1.7 Efeito pontual do sombreamento arbóreo

O efeito do sombreamento foi estimado por meio das diferenças entre as variáveis aferidas nos pontos a céu aberto e nos pontos sob o dossel arbóreo. Os valores das diferenças não apresentaram aderência à normalidade. O teste de homogeneidade e variância reportou significância estatística entre os valores das diferenças da Dif. T_a , Dif.UR, Dif. T_s e Dif. V_v , conforme Tabela 14. Em relação à distribuição dos valores estimados, houve variação temporal significativa para o fator período sazonal e áreas, conforme teste de Kruskal-Wallis de amostras independentes na Tabela 13.

Tabela 13. Testes estatísticos valores estimados das diferenças (Dif.) entre as variáveis, temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) e velocidade de vento (Vv), aferidas nos pontos a céu aberto e nos pontos sob dossel arbóreo

| Testes* | Fatores | Sig Dif.Ta | Sig Dif.UR | Sig Dif.Ts | Sig Dif.Vv |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Levene | Pontos | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| Kolmogorov-Smirnov | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Kruskal-Wallis de amostras independentes | P.sazonal | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,039 |
| | Áreas | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |

* Nível de significância de 5%

As variações espacial e temporal dos valores máximos absolutos das diferenças entre as variáveis aferidas nos pontos a céu aberto e nos pontos sob o dossel arbóreo são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Valores máximos estimados das Dif.Ta, Dif.UR, Dif.Ts, Dif.Vv entre pontos a céu aberto e sob o dossel arbóreo, no período úmido (PU) e no período seco (P.S)

| Áreas | Espécies (nome popular) | Pts | Valor Máximo Abs. no P.U | | | | Valor Máximo Abs. no P.S | | | |
|-------|----------------------------|-----|--------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | Dif.Ta (°C) | Dif.UR (%) | Dif.Ts (°C) | Dif.Vv (m/s) | Dif.Ta (°C) | Dif.UR (%) | Dif.Ts (°C) | Dif.Vv (m/s) |
| E-1 | <i>Oiti</i> | 3 | -1,3 | 5,9 | -33 | -1,4 | -0,6 | 6,2 | -30 | -0,5 |
| | <i>Mangueira</i> | 4 | -0,9 | 4,9 | -37 | -1,2 | -0,8 | 9,2 | -34 | -0,4 |
| E-2 | <i>Jatobá-do-cerrado</i> | 5 | -0,9 | 4,0 | -26 | -1,7 | -0,6 | 3,0 | -20 | -3,3 |
| | <i>Mangueira</i> | 7 | -0,5 | 2,6 | -28 | -1,8 | -0,3 | 3,3 | -25 | -3,8 |
| E-3 | <i>Mangueira</i> | 8 | -0,2 | 2,2 | -25 | -0,8 | -0,4 | 1,6 | -20 | -1,9 |
| | <i>Oiti</i> | 10 | -0,1 | 2,3 | -21 | -1,0 | -0,9 | 0,7 | -18 | -1,0 |
| E-4 | <i>Oiti</i> | 12 | -0,3 | 2,8 | -27 | -1,5 | -0,3 | 1,3 | -23 | -0,8 |
| | <i>Oiti</i> | 13 | -0,3 | 1,5 | -30 | -2,0 | -0,2 | 6,4 | -28 | -0,8 |
| E-5 | <i>Oiti</i> | 14 | -0,5 | 4,3 | -25 | -2,0 | -0,7 | 8,4 | -17 | -1,8 |
| | <i>Oiti</i> | 15 | -0,3 | 2,0 | -27 | -1,7 | -0,5 | 4,6 | -22 | -1,6 |
| E-6 | <i>Tamboril</i> | 17 | -0,3 | 2,1 | -24 | -0,7 | -0,2 | 2,7 | -17 | -2,3 |
| | <i>Oiti</i> | 19 | -0,2 | 4,0 | -21 | -0,9 | -0,1 | 5,0 | -11 | -1,7 |
| E-7 | <i>Chuva de ouro</i> | 21 | -0,2 | 23,6 | -23 | -2,0 | -0,6 | 11,8 | -21 | -2,4 |
| | <i>Oiti</i> | 22 | -0,3 | 24,5 | -27 | -3,4 | -1,3 | 12,4 | -26 | -2,7 |
| E-8 | <i>Oiti</i> | 24 | -0,3 | 16,1 | -30 | -0,7 | -0,2 | 11,4 | -28 | -2,5 |
| | <i>Tabebuia-róseo-alba</i> | 25 | -0,5 | 17,1 | -25 | -1,5 | -0,2 | 11,2 | -17 | -2,5 |

Legenda 7h 14h **20h**

No período úmido a máxima atenuação da Ta sob o dossel arbóreo foi mais frequente nos horários das 7h e 14h, sendo os maiores valores nos pontos 3 e 4 (E-1) e no ponto 5 (E-2) às 20h. Já no período seco a atenuação da Ta foi maior às 14h, com os maiores valores no ponto 22 (E-7), seguido do ponto 10 (E-3).

Em relação a variável Ur, no período úmido a diferença sob o dossel arbóreo foi maior nos horários diurno, com os maiores valores nos pontos 21 e 22 (E-7), seguido dos pontos 24 e 25 (E-8). Já no período seco houve maior variação horária entre as diferenças da Ur, contudo os maiores valores também foram para os pontos nos E-7 e E-8, seguido dos valores no E-1 às 20h.

O efeito máximo na atenuação da Ta foi mais frequente às 14h devido à intensidade da radiação solar e ao bloqueio propiciado pelo dossel arbóreo. Contudo, no período úmido a maior frequência na atenuação da Ta e da UR observada às 7h, deve-se ao resfriamento do dossel no período noturno e ao menor ângulo de incidência da radiação solar no início da manhã, conservando menor Ta e maior UR sob o dossel arbóreo, em relação aos pontos a céu aberto, expostos a radiação solar direta.

Os valores máximos do efeito do sombreamento sobre a Ts foi às 14h, com maiores valores das Dif.Ts no período úmido em relação aos menores valores no período seco. Entre os pontos sob o dossel arbóreo a máxima atenuação da Ts foi a dos pontos 3 e 4 (E-1), seguidos dos pontos 13 (E-4) e 24 (E-8) tanto no período úmido quanto no período seco.

Em relação ao efeito do dossel arbóreo sobre a variável Vv, no período úmido em 56% dos pontos as maiores diferenças ocorreram às 14h e nos demais pontos às 7h, com os maiores valores nos pontos 22 e 21 (E-7) e nos pontos 14 (E-5) e 13 (E-4). Contudo no período seco houve maior frequência da atenuação máxima nas medições das 14h, sendo os maiores valores da Dif.Vv nos pontos 5 e 7 do E-2.

4.1.8 Síntese do efeito pontual do sombreamento arbóreo

De modo geral quanto aos efeitos nas superfícies pavimentadas em relação às variáveis aferidas a céu aberto e sob o dossel arbóreo, os maiores valores da atenuação das variáveis Ta, Ts e Vv foram registrados nos pontos com maior densidade do dossel arbóreo, Oiti, Mangueira e Jatobá-do-cerrado.

Devido às características do dossel arbóreo houve maior interceptação da radiação solar e aumento da rugosidade, que propiciou maior efeito do sombreamento sobre as superfícies pavimentadas e menores trocas convectivas, resultando em maior atenuação da Ts e da Ta no entorno imediato do dossel arbóreo, Durante e Nogueira (2013) observaram maior atenuação da Ta e Ts em amostras de Mangueira e Oiti na cidade de Cuiabá-MT.

Entre os pontos monitorados as variações observadas quanto à atenuação da Ts, foram proporcionadas pelas diferenças entre as espécies arbóreas, quanto à área e a densidade do dossel arbóreo, que definiram o potencial de atenuação da radiação solar incidente sobre as superfícies pavimentadas.

Outro fator observado foi à variação nas áreas das sombras arbóreas sobre as superfícies pavimentadas, sendo que, dependendo da localização da árvore parcela da

sombra foi projetada fora da superfície pavimentada, reduzindo as áreas de sombras efetivas sob o dossel arbóreo. Em consequência uma menor área sombreada reduz a T_s devido às trocas térmicas por condução entre superfícies com maior temperatura e as superfícies menos aquecidas.

Quanto ao efeito sobre a variável UR, os valores máximos registrados nos E-7 e E-8, do tipo AL, podem estar associados a outros fatores, como à praça central com cobertura arbórea e superfície gramada no E-7, já no E-8 devido à presença da classe de ocupação do solo, superfícies d'água, do parque aquático localizado na lateral da área pavimentada do estacionamento.

Para os pontos avaliados os resultados do efeito da cobertura arbórea sobre as superfícies pavimentadas dos estacionamentos corroboram com os resultados apontados por Ribeiro et al. (2015), que identificaram forte correlação entre o sombreamento arbóreo e o comportamento térmico de materiais comumente encontrados na pavimentação de superfícies urbanas, tais como: concreto e asfalto.

4.1.9 Análise dos atributos urbanos e o microclima

Na identificação dos grupos homogêneos, quanto ao comportamento microclimático entre os estacionamentos, foi realizada a análise de agrupamentos. Entre as configurações avaliadas a menor distância entre os grupos foi obtida com a interação entre os valores das variáveis aferidas, T_a , T_s , UR e a V_v no período úmido, assim como entre os valores das variáveis aferidas no período seco. Os resultados corroboram com os obtidos por Alves e Biudes (2012) em aplicação da análise de agrupamento no campus da UFMT-Cuiabá.

Por meio do método da distância Euclidiana Quadrática foram avaliadas as ligações médias entre grupos, que resultou no Dendrograma de igual distribuição para os dois períodos sazonais apresentado na Figura 19.

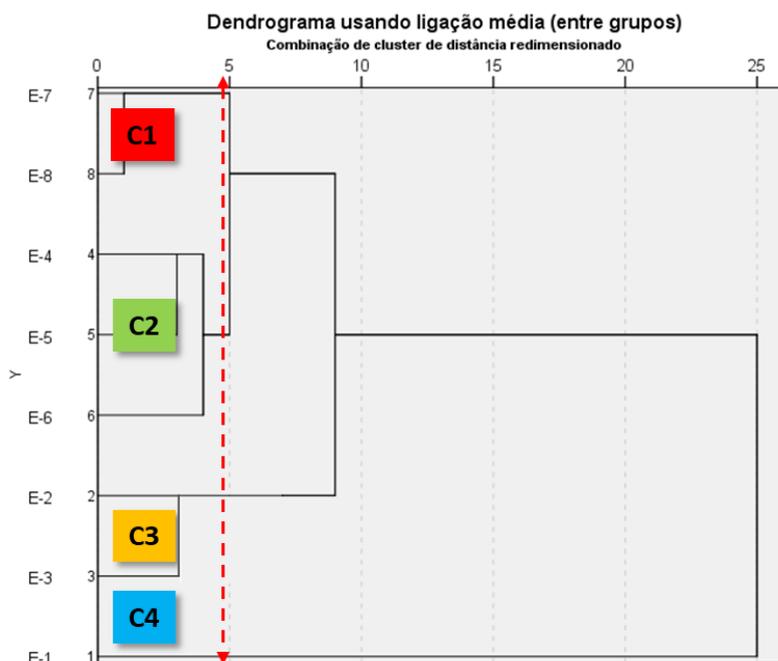


Figura 20. Dendrograma de similaridade entre os grupos homogêneos, para as variáveis temperatura do ar (T_a), umidade relativa (U_r), temperatura da superfície (T_s) e velocidade de vento (V_v) no período úmido e no período seco

Considerando a distância máxima próxima a linha 5, foram obtidos quatro grupos, tanto no período úmido como no período seco: C1 formado pelos estacionamentos E-7 e E-8; C2 pelos estacionamentos E-4, E-5 e E-6; C3 pelos estacionamentos E-2 e E-3; e o C4 pelo estacionamento E-1. De acordo com o dendrograma obtido, a distribuição espacial dos agrupamentos vista na Figura 21.

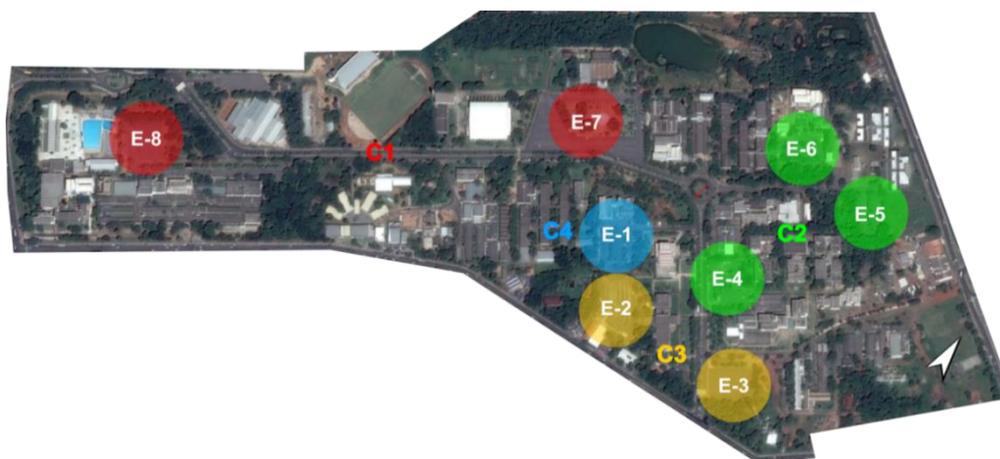


Figura 21. Distribuição dos grupos com maior similaridade microclimática para o período úmido e período seco: Grupos C1, C2, C3 e C4

De acordo com os atributos urbanos reunidos em um mesmo grupo, foi observado que a tipologia dos estacionamentos quanto à arborização foi um fator influente, uma vez que os grupos C1 e C3 reuniram os estacionamentos do tipo AL,

com menor distribuição espacial da arborização e menores taxas da CA, com variação anual foi de 12 a 40%. Já os grupos C2 e C4 reuniram os estacionamentos do tipo ALC, com maior distribuição espacial da arborização e maiores taxas da CA, com variação anual 21 a 65% (Figura 22 (a)(b)).

Em relação à cobertura do solo, para os grupos C1 e C3 (tipo AL) a categoria impermeável apresentou os maiores percentuais entre os estacionamentos. A diferença máxima entre as categorias foi de 23% no E-3. Já nos grupos C2 e C4 (tipo ALC) houve maior percentual da categoria permeável, com diferença máxima entre as categorias de 21% no E-5, apresentadas na Figura 21 (a)(b).

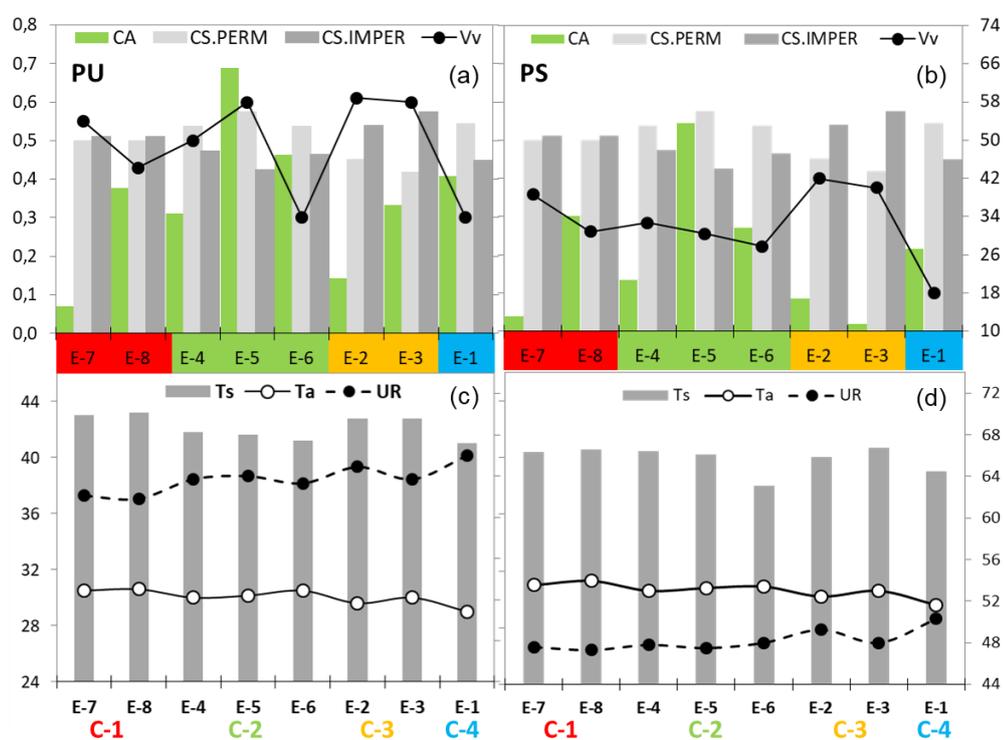


Figura 22. Caracterização dos agrupamentos: cobertura arbórea (CA), cobertura do solo categorias permeável (C-PERM) e impermeável (C-IMPER) e a velocidade de vento (Vv), (a) no período úmido e (b) no período seco; médias temperaturas do ar (Ta), temperatura da superfície (Ts) e umidade relativa (UR), no período úmido (c) no período seco (d)

Quanto ao comportamento microclimático, por meio dos valores médios das variáveis aferidas em campo, às 7h, às 14h e às 20h, foi observada a variabilidade sazonal nos grupos com maior similaridade.

Entre os estacionamentos do tipo AL com as menores taxas da CA, no grupo C1 (E-7-8) foram contabilizadas as maiores médias da Ta e da Ts e as menores médias da UR e da Vv, em relação às médias do grupo C3 (E-2-3), contudo, as diferenças entre os

grupos não foram significativas, em ambos os períodos sazonais, o que confirmou a similaridade entre os grupos (Tabela 15).

Tabela 15. Similaridades entre C1-C3 e C2-C4, no período úmido (PU) e no período seco (PS)

| Teste* | | Fatores | Sig (Ta) | Sig (UR) | Sig (Ts) | Sig (Vv) |
|-------------------|----|---------|----------|----------|----------|--------------|
| U de Mann-Whitney | PU | C1 e C3 | 0,337 | 0,247 | 0,408 | 0,141 |
| | | C2 e C4 | 0,778 | 0,320 | 0,410 | 0,527 |
| | PS | C1 e C3 | 0,298 | 0,541 | 0,732 | 0,151 |
| | | C2 e C4 | 0,303 | 0,318 | 0,741 | 0,003 |

* Nível de significância de 5%

Entre os estacionamentos do tipo ALC com maiores valores da CA, no grupo C2 (E-4-5-6) foram contabilizadas as maiores médias das variáveis Ta, Ts, Vv, e as menores médias da UR, em relação aos valores do grupo C4 (E-1). Nos referidos grupos as diferenças sazonais entre as variáveis não apresentaram significância estatística, entretanto, no período seco houve diferença significativa para a variável Vv, devido aos menores valores registrados no E-1, Tabela 15. Contudo, para as demais variáveis houve similaridade entre os grupos C2 e C4.

Dessa forma, considerando as similaridades entre os grupos, as relações entre as variáveis microclimáticas e a cobertura do solo foram analisadas por meio do coeficiente de correlação de *Spearman*, apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Correlação entre a cobertura do solo e os valores sazonais das variáveis: temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), temperatura da superfície (Ts) velocidade de vento (Vv)

| Sazonalidade | | Período úmido | | | | Período Seco | | | |
|------------------------|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Variáveis aferidas | | TA | UR | TS | VV | TA | UR | TS | VV |
| GRUPO: C1 e C3 | | | | | | | | | |
| Cobertura Arbórea (CA) | r | 0,11 | 0,18 | -0,50 | -0,40 | 0,30 | -0,48 | -0,30 | -0,71 |
| 12 a 40% | (Sig.) | (0,339) | (0,335) | (0,050) | (0,165) | (0,236) | (0,116) | (0,200) | (0,025) |
| C. Impermeável | r | 0,09 | -0,26 | 0,80 | 0,50 | 0,04 | 0,15 | 0,61 | 0,85 |
| 51 a 56% | (Sig.) | (0,030) | (0,029) | (0,009) | (0,108) | (0,466) | (0,368) | (0,050) | (0,007) |
| C. Permeável | r | -0,04 | 0,29 | -0,70 | -0,46 | -0,07 | -0,16 | -0,57 | -0,75 |
| 44 a 50% | (Sig.) | (0,460) | (0,230) | (0,026) | (0,127) | (0,438) | (0,356) | (0,050) | (0,011) |
| GRUPO: C2 e C4 | | | | | | | | | |
| Cobertura Arbórea | r | 0,11 | 0,18 | -0,62 | -0,44 | 0,30 | -0,50 | -0,35 | -0,70 |
| 21 a 65% | (Sig.) | (0,399) | (0,335) | (0,050) | (0,155) | (0,236) | (0,118) | (0,198) | (0,022) |
| C. Impermeável | r | 0,01 | -0,28 | 0,70 | 0,49 | 0,05 | 0,14 | 0,60 | 0,80 |
| 44 a 48% | (Sig.) | (0,494) | (0,253) | (0,021) | (0,112) | (0,455) | (0,365) | (0,030) | (0,006) |
| C. Permeável | r | -0,04 | 0,37 | -0,75 | -0,46 | -0,07 | -0,18 | -0,55 | -0,76 |
| 53 a 56% | (Sig.) | (0,460) | (0,208) | (0,020) | (0,126) | (0,428) | (0,355) | (0,040) | (0,013) |

(r) Rô de *Spearman*, nível de significância de 5%

Destaque: sig. ≤ 0,050

No período úmido em ambos os grupos, C1-C3 e C2-C4, houve correlação significativa para a variável Ts, com correlação negativa para a CA e a categoria de ocupação do solo permeável, já para a categoria cobertura do solo impermeável a

correlação foi positiva. Contudo, para as demais variáveis as correlações não foram significativas.

No período seco houve maior correlação entre a variável Vv, as categorias de ocupação do solo e a CA, para ambos os grupos. No entanto, para a variável Ts não houve correlação significativa com a CA, já para as categorias de ocupação do solo as correlações foram significativas para ambos os grupos, porém, com maior coeficiente de correlação para a categoria impermeável.

Os resultados apontam que o efeito sazonal na cobertura do solo foi significativo, pois no período úmido a correlação da Ts com a CA foi significativa, no entanto, no período seco não houve correlação significativa com a Ts.

O comportamento das variáveis microclimáticas observadas neste estudo corrobora com os encontrados por Spangenberg et al. (2008), Shashua-Bar, Tsiros e Hoffman (2010) e Oliveira et al. (2013), em áreas urbanas semelhantes com superfícies pavimentadas, ruas com pavimentação asfáltica e praças com superfícies pavimentadas.

4.2 FASE EXPLORATÓRIA

Quanto aos aspectos morfométricos, as amostras A1 e A2 da espécie *Licania tomentosa* (Oiti) apresentaram maior porte, altura total, área e volume do dossel, em comparação às demais amostras. Enquanto nas amostras das espécies *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril) e *Cariniana rubra* Gardner (Cachimbeira) os aspectos morfométricos, DAP, HT, AD e VD, apresentam menores diferenças, comparadas às diferenças dos valores entre as amostras A1, A2 e A3 (Tabela 7).

As variações observadas demonstram que as amostras da espécie *Licania tomentosa* (Oiti) encontravam-se em diferentes estágios de desenvolvimento, com indivíduo arbóreo já maduro, amostra A1, e indivíduo jovem em desenvolvimento, no caso da amostra A3. Contudo nas amostras B e C os indivíduos arbóreos encontravam-se em pleno desenvolvimento, em comparação aos aspectos morfométricos de referência das espécies *Enterolobium contortisiliquum* e *Cariniana rubra* Gardner, conforme Lorenzi, 2002b e 2008.

Por definição o índice biofísico IAF é um parâmetro que relaciona a área foliar e a sua distribuição em relação à área de dossel arbóreo. Entre as amostras avaliadas a espécie *Licania tomentosa* com maior densidade do dossel e folhas pequenas, apresentaram os máximos valores do IAF, amostras A1 e A2, contudo, para a amostra

A3 o menor valor do IAF pode ser atribuído ao porte arbóreo, sendo a menor AD dentre as amostra da referida espécie (Tabela17).

Tabela 17. Dados das espécies arbóreas: Diâmetro altura do peito (DAP), alturas do fuste (HF), altura dossel (HD), altura total (HT), área do dossel (AD), volume do dossel (VD), variação sazonal do índice de área foliar (IAF) e da atenuação da radiação solar (AT) das amostras.

| ARVORE | ESPÉCIES | DAP m | HF m | HD m | HT m | AD m ² | VD m ³ | P. úmido | | P. seco | |
|--------|--------------------------|----------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| | | | | | | | | IAF m ² /m ² | AT % | IAF m ² /m ² | AT % |
| A1 | <i>Licania tomentosa</i> | 0,26 | 2,0 | 6,1 | 8,1 | 26,1 | 112,0 | 4,7 | 94 | 3,4 | 89 |
| A2 | (Oiti) | 0,55 | 2,4 | 7,6 | 10,0 | 86,3 | 396,0 | 5,7 | 97 | 3,5 | 93 |
| A3 | | 0,20* | 2,2 | 4,0 | 6,2 | 21,5 | 55,4 | 3,6 | 86 | 3,0 | 85 |
| B1 | <i>Enterolobium</i> | 0,20 | 2,4 | 3,6 | 5,9 | 27,2 | 67,4 | 2,2 | 64 | 0,0 | 41 |
| B2 | <i>contortisiliquum</i> | 0,19* | 2,0 | 4,7 | 6,7 | 25,1 | 72,0 | 2,1 | 67 | 0,0 | 44 |
| B3 | (Tamboril) | 0,22* | 3,0 | 4,2 | 7,2 | 17,8 | 52,2 | 1,5 | 58 | 0,0 | 46 |
| C1 | <i>Cariniana</i> | 0,20 | 3,6 | 4,6 | 8,1 | 21,1 | 60,3 | 2,9 | 79 | 1,4 | 48 |
| C2 | <i>rubra Gardner</i> | 0,20 | 2,7 | 4,8 | 7,5 | 29,3 | 83,1 | 3,5 | 84 | 2,1 | 67 |
| C3 | (Cachimbeira) | 0,26 | 2,9 | 3,9 | 6,7 | 26,1 | 74,1 | 3,9 | 91 | 2,1 | 67 |

h < 1,3

0 = sem folhas

Já os valores mínimos sazonais do IAF foram para as amostras B da espécie *Enterolobium contortisiliquum*, caracterizada por dossel de baixa densidade, com folhas pequenas compostas e bipinas. Destaca-se que nas medições realizadas no mês de setembro, as amostras encontravam-se totalmente floridas e sem folhas, por essa razão não foi detectado tecido foliar, tendo-se IAF próximo à zero no período seco. Figura 23. Quanto aos valores do IAF, Pilau e Angellocci (2015) obtiveram valor igual à zero em medições de amostras de laranjeira desfolhada.

Em relação ao efeito sazonal sobre o dossel arbóreo, para as amostras A, de espécie perene houve redução percentual no IAF de 17% (A3) a 39% (A2), já para as semidecíduas, amostras C, a redução do IAF foi de 40% (C2) a 52% (C1). Enquanto que, para as espécies decíduas amostra B, houve redução máxima dos valores do IAF no período seco, devido ao período de floração da espécie.



Figura 23. Amostras B, espécie decídua *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril) nas medições do período seco, 18 de setembro de 2017.

Fonte: Imagens produzidas pela autora 2017

De modo geral, tanto no período úmido como no período seco, em todas as amostras ocorreram diferenças expressivas entre os valores da RSI e os valores da RSB sob o dossel arbóreo. Nas amostras A1, A2 e A3, com os maiores valores do IAF, a AT da radiação solar atingiu os valores máximos, seguida das amostras C1 a C3.

Já para as amostras B1 a B3 a AT atingiu os menores valores, em relação às demais amostras avaliadas. Ressalta-se que, para a espécie *Enterolobium contortisiliquum* a AT observada no período seco foi referente às flores e galhos, que podem variar de acordo com as mudanças na floração da espécie, ao longo do tempo.

A magnitude das interações da radiação solar no dossel arbóreo é intermediada pelas características espaciais e biofísicas do dossel arbóreo, que determinam as frações da radiação solar transmitida, refletida e absorvida pela cobertura arbórea, conforme observado por Pilau e Angellocci (2015).

A relação entre a radiação solar incidente e a variação sazonal do IAF foi analisada por meio da correlação de Pearson, apresentada na Tabela 18. Os valores da AT e do IAF apresentaram alto grau de correlação, com menor valor no período seco em relação ao período úmido, contudo, a diferença sazonal ficou abaixo de 5%.

Tabela 18. Coeficiente de correlação (R) da atenuação da radiação solar (AT) e o índice de área foliar (IAF), das espécies arbóreas avaliadas no período úmido (PU) e no período (PS)

| Período sazonal | Relação | R | Sig |
|-----------------|---------------|-------|-------|
| PU | AT versus IAF | 0,995 | 0,000 |
| PS | AT versus IAF | 0,963 | 0,000 |

Os resultados obtidos demonstram que a AT da radiação solar expressou a eficácia do dossel arbóreo na interceptação da radiação solar incidente, o que permite inferir que o percentual de AT pode ser interpretado como indicador da eficiência do sombreamento arbóreo, conforme modelo proposto em Scott, Simpson, Mcpherson, (1999) e em Mcpherson, Muchnick, (2005).

4.2.1 Simulação do potencial de sombreamento arbóreo

4.2.1.1 Fatores espaciais e as áreas de sombras (ASB)

Os dados estimados para a ASB-V sobre as áreas das vagas e as áreas de sombras efetiva nos estacionamentos (ASB-E) apresentaram aderência à normalidade. O teste de homogeneidade de variância reportou significância estatística entre os valores da ASB-V nas áreas das vagas, contudo para os valores da ASB-E efetivas nos

estacionamentos a variação não apresentou significância estatística, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19. Testes estatísticos entre fator orientação geográfica e as variáveis área de sombra nas áreas das vagas (ASB-V) e áreas de sombras efetiva nos estacionamentos (ASB-E)

| Testes* | Fatores | Sig (ASB-V) | Sig (ASB-E) |
|--------------|------------|-------------|--------------|
| Levene | Orientação | 0,006 | 0,459 |
| | N-S | 0,123 | 0,087 |
| Shapiro-Wilk | E-O | 0,056 | 0,067 |
| | NE-SO | 0,377 | 0,095 |

* Nível de significância de 5%

A relação entre a ASB arbórea total e a ASB-E efetiva sobre a superfície dos estacionamentos e os fatores simulados, orientação e modelos, para o cenários 1 e 2, são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. A ASB arbórea total e distribuição dos valores das áreas de sombras efetivas sobre a superfície dos estacionamentos (ASB-E) entre os fatores orientação e modelos E-90 e E-45

| CENARIO-1 | Orientação | Modelo E-90 | | Modelo E-45 | |
|-------------------------------------|------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| ASB arbórea total (m ²) | - | 667,1 | Redução | 681,5 | Redução |
| ASB-E (m ²) | N-S | 514,0 | 23 % | 517,0 | 24 % |
| | E-O | 540,0 | 19 % | 532,0 | 22 % |
| | NE-SO | 516,0 | 23 % | 513,0 | 25 % |
| CENARIO-2 | | | | | |
| ASB arbórea total (m ²) | - | 858,5 | Redução | 864,9 | Redução |
| ASB-E (m ²) | N-S | 670,0 | 22 % | 710,0 | 18 % |
| | E-O | 690,0 | 20 % | 718,0 | 17 % |
| | NE-SO | 675,0 | 21 % | 703,0 | 19 % |

No cenário-1 a ASB arbórea total foi menor, devido a menor taxa de CA (41%), comparada a taxa de CA (54%) do cenário-2. Contudo, entre os modelos, E-90 e E-45, houve diferenças em valores não expressivos, em razão de algumas sobreposições das copas arbóreas no modelo E-90, sendo que, no modelo E-45 devido ao maior espaçamento dos canteiros a 45° não ocorreu sobreposição das copas arbóreas. Quanto as ASB disponibilizadas pelas copas arbóreas a redução foi expressiva, com percentual mínimo de 17% e máximo de 25%, sendo que, a redução ocorreu em ambos os cenários e em todas as orientações simuladas, com menor percentual para a orientação E-O.

As reduções observadas são decorrentes do ângulo de incidência da radiação solar sobre o dossel arbóreo, tendo-se as sombras projetadas sobre o plano horizontal em uma mesma direção, aproximadamente na direção sul, para as configurações definidas para a cidade de Cuiabá-MT. Assim sendo, a variação na orientação dos estacionamentos não altera a direção das sombras e sim o quanto da área da sombra arbórea estará sobre as superfícies pavimentadas do estacionamento.

Em relação aos valores da ASB-E efetiva nos estacionamentos as diferenças entre os modelos E-90 e E-45 não ultrapassaram 5%, tanto no Cenário-1 quanto no Cenário-2. Quanto ao fator orientação, os maiores valores da ASB-E foram para orientação E-O em ambos os cenários, com diferença máxima de 5% em relação à orientação N-S para o modelo E-90 do Cenário-1. O maior potencial da ASB-E foi em decorrência da menor redução das sombras arbóreas na orientação E-O.

A distribuição dos valores da ASB-V nos setores das vagas dos estacionamentos é apresentada na Figura 24.

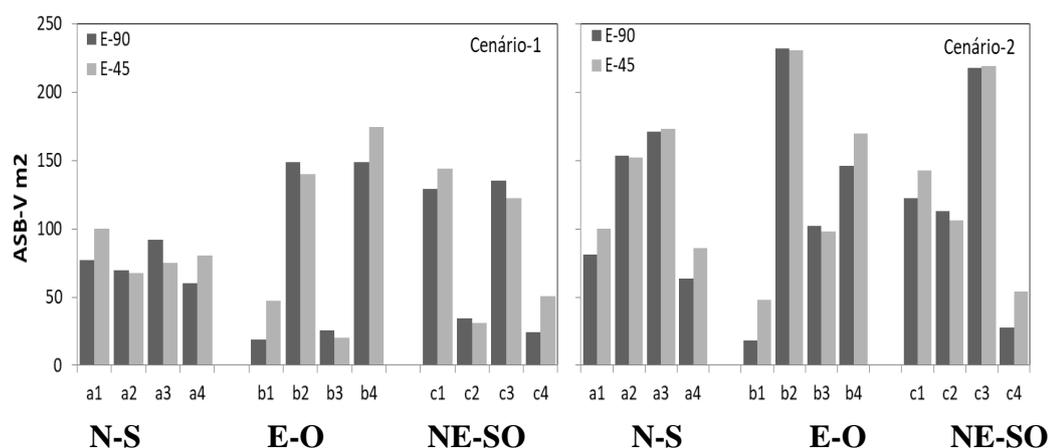


Figura 24. Valores das áreas de sombra sobre os setores das vagas (ASB-V): para os modelos de estacionamentos simulados, E-90 e E-45 e para o fator orientação geográfica no cenário-1 e 2

No Cenário-1 para o modelo E-90 as diferenças entre os valores máximos e mínimos da ASB-V foi de 35% (N-S) a 83% (E-O). No modelo E-45 as diferenças foram de 32% (N-S) a 88% (E-O). Enquanto, no Cenário-2 as diferenças entre os valores da ASB-V foram de 63% (N-S) a 92% (E-O) no modelo E-90, já para o modelo E-45 as diferenças foram de 50% (N-S) a 79% (E-O).

As variações das ASB-V sobre os setores das vagas para parada dos veículos são decorrentes da orientação das sombras projetada na direção sul, para as configurações simuladas. O efeito proporcionou diferenças nas áreas de sombra sobre os setores das vagas, tendo-se vagas mais sombreadas e vagas pouco sombreadas, tanto nas vagas localizadas junto às laterais, quanto nas vagas localizadas junto ao canteiro central. Ressalta-se que, o alinhamento no plantio das árvores, observado com frequência em estacionamentos, potencializa a redução das sombras disponibilizadas pelo dossel, tanto nas áreas das vagas, quanto no sombreamento efetivo do estacionamento.

De acordo com os cenários simulados, foi observado que a variação das ASB-V pode ter impactos diferenciados de acordo com a orientação geográfica e a tipologia dos

estacionamentos, com menor variação do sombreamento entre os setores das vagas na orientação N-S e maior variação no sombreamento dentre os setores das vagas nas orientações E-O e NE-SO. Quanto ao efeito da tipologia dos estacionamentos sobre a ASB-V, no computo total das áreas de sombra, para o modelo E-45 o valor total da ASB-V foi maior em comparação ao modelo E-90. No entanto, para as configurações da arborização simuladas, as maiores diferenças foram de 7% a 11% na orientação E-O para o cenário-1 e de 8% a 9% para a E-O no cenário-2.

4.2.1.2 Fatores espaciais e o índice de sombreamento arbóreo (ISA)

As configurações do cenário-1 são apresentadas na Figura 25 (a) e do cenário-2 na Figura 12 (b).

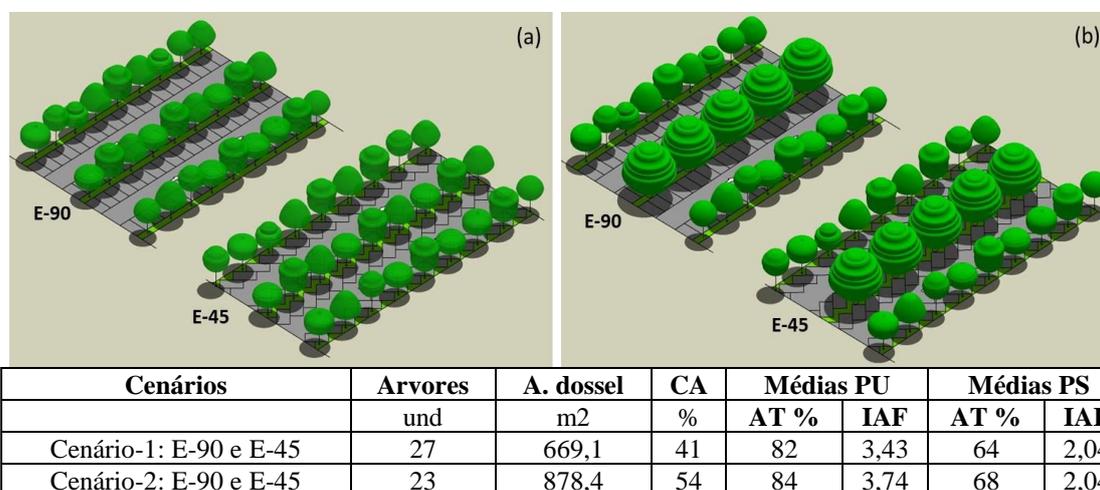


Figura 25. Exemplo das simulações a N-S (a) Cenário-1 e (b) Cenário-2. Dados da arborização e os valores médios sazonais da atenuação da radiação solar (AT) e a média sazonal do índice área foliar (IAF) para o Cenário-1 e o Cenário-2

No cenário-1 com menor CA, as médias sazonais da atenuação da radiação solar foram menores em relação à atenuação do cenário-2, assim como a média do IAF dos estacionamentos no período úmido. Já no período seco houve redução de 41 a 45% na média do IAF nos cenários-1 e 2, respectivamente. As diferenças observadas entre os cenários simulados resultaram da maior cobertura arbórea no cenário-2, com os modelos arbóreos A1 (Oiti), de maior área do dossel e da espécie perene.

Os valores estimados do ISA sobre as áreas das vagas e na área total dos estacionamentos apresentaram aderência à normalidade. O teste homogeneidade de variância reportou significância estatística entre os valores do ISA-V para a área das vagas, contudo para os valores do ISA-E total nos estacionamentos as variações não apresentaram valores com significância estatística, conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21. Testes entre fatores espaciais e os valores do índice de sombreamento arbóreo nas áreas das vagas (ISA-V) e o índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos (ISA-E)

| Testes* | Fatores | Sig (ISA-V) | Sig (ISA-E) |
|--------------|---------|-------------|--------------|
| Levene | Tipo-E | 0,000 | 0,795 |
| Shapiro-Wilk | E-45 | 0,208 | 0,167 |
| | E-90 | 0,210 | 0,229 |

* Nível de significância de 5%

A distribuição sazonal dos valores do ISA-E e do ISA-V entre os fatores orientação geográfica, tipologias e cenários 1 e 2 são apresentadas na Figura 26.

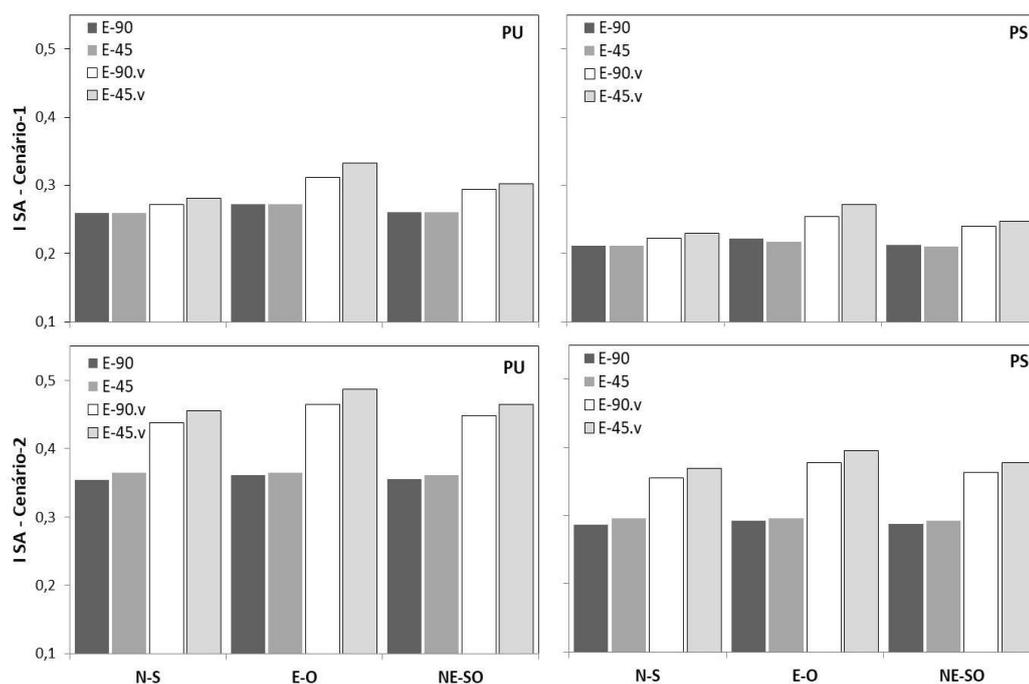


Figura 26. Valores do índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos (ISA-E) e nas áreas das vagas (ISA-V), para as orientações e modelos E-90 e E-45: do cenário-1 no período úmido (PU) e no período seco (PS); do cenário-2 no período úmido (PU) e no período seco (PS)

Para o fator orientação geográfica, no Cenário-1 a variação máxima dos valores do ISA-E para as orientações simuladas foi de 5% em ambos os modelos, E-90 e E-45, tanto no período úmido quanto no período seco. Contudo, no Cenário-2 a variação do ISA-E entre as orientações foi menor, com diferenças abaixo de 5% em ambos os períodos sazonais.

Entre os setores das vagas os maiores valores do ISA-V foram para a orientação E-O, sendo que, no cenário-1 a diferença máxima foi de 15% para o modelo E-45, em ambos os períodos sazonais. Já no cenário-2 as diferenças dos valores do ISA-V na área das vagas para a orientação E-O e as demais orientações foi menor, com percentual máximo de 6% nos dois modelos, E-90 e E-45, tanto no período seco quanto no período úmido.

Para o fator tipologias, entre os modelos E-90 e E-45 a variação dos valores tanto do ISA-E quanto do ISA-V, ficaram abaixo de 5%, tanto no cenário-1 quanto no cenário-2, em ambos os períodos sazonais.

Entretanto, entre os cenários simulados houve variação expressiva dos valores dos ISA. As diferenças do cenário-1 em relação ao cenário-2, com maior taxa de CA, foram para o ISA-E de 24,7% (E-O) no modelo E-90 a 29% (N-S) no modelo E-45, para o período úmido. Já no período seco o comportamento foi semelhante, com diferenças de 24% (E-O) a 28% (N-S) entre os cenários simulados.

Enquanto que, para os valores do ISA-V houve maiores diferenças entre os cenários, no período úmido as diferenças foram de 32% (E-O) no modelo E-45 a 38% (N-S) em ambos os modelos, E-90 e E-45. No período seco as diferenças se mantiveram, com intervalo de 31% (E-O) e de 38% (N-S) para o modelo E-45.

O efeito sazonal foi expressivo sobre os valores do ISA, em relação aos fatores tipologia e orientação, assim como para os cenários simulados. O efeito sazonal máximo sobre os valores do ISA-E foi de -20% no cenário-1 e de -19% no cenário-2. Já para os valores do ISA-V nas áreas das vagas a variação sazonal propiciou redução de -19% tanto no cenário-1 quanto no cenário-2. A variação sazonal do ISA ocorreu em consequência da redução da média do IAF no período seco, o que proporcionou a redução do valor médio da AT.

A análise multivariada de variância (MANOVA) possibilitou a avaliação do grau de significância estatística dos efeitos propiciados pelos fatores fixos, tipologia dos estacionamentos, orientação geográfica e a variação da CA, representada pelos cenários 1 e 2, tendo-se como variáveis dependentes o ISA-E nos estacionamentos e o ISA-V nas áreas das vagas.

Os resultados obtidos demonstraram que os fatores espaciais, tipologia dos estacionamentos, modelos E-90 e E45, e a orientação geográfica tiveram influência significativa na variação do ISA-V nas áreas das vagas, entretanto, os efeitos sobre a variação do ISA-E nos estacionamentos não apresentaram significância estatística, tanto para o fator tipologia quanto para orientação geográfica.

Quanto aos cenários simulados, a variação da CA proporcionou efeitos significativos sobre o ISA-E nos estacionamentos e sobre o ISA-V nas áreas das vagas, Tabela 13. Em relação aos efeitos para os fatores associados, tipologia dos estacionamentos e cenários, houve influência significativa na variação dos valores do ISA-V nas áreas das vagas, já para o ISA-E nos estacionamentos os efeitos associados

não foram significativos. Para os demais conjuntos de fatores associados não ocorreram efeitos significativos na variação dos valores dos ISA, conforme dados na Tabela 22.

Tabela 22. Efeito entre os fatores espaciais e os índices de sombreamento arbóreo nas áreas das vagas (ISA-V) e nos estacionamento (ISA-E)

| Efeito entre sujeitos Origem | Variável dependente | Soma Quad. | gl | Quad. Médio | F | Sig. |
|---------------------------------|------------------------|---------------|------|----------------|--------|-------|
| Modelo corrigido | ISA-E | 0,047a | 11,0 | 0,00 | 2,5 | 0,068 |
| | ISA-V | 0,161b | 11,0 | 0,02 | 18,2 | 0,000 |
| Intercepto (a) | ISA-E | 1,9 | 1,0 | 1,92 | 1099,7 | 0,000 |
| | ISA-V | 2,8 | 1,0 | 2,84 | 3526,6 | 0,000 |
| TIPO-E (tipologia dos E) | ISA-E | 0,0 | 1,0 | 0,00 | 0,0 | 0,848 |
| | ISA-V | 0,0 | 1,0 | 0,01 | 11,4 | 0,005 |
| ORIEN (orientação) | ISA-E | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,1 | 0,918 |
| | ISA-V | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 2,8 | 0,037 |
| CENA (cenários) | ISA-E | 0,0 | 1,0 | 0,05 | 26,9 | 0,000 |
| | ISA-V | 0,1 | 1,0 | 0,13 | 162,3 | 0,000 |
| TIPO-E * CENA | ISA-E | 0,0 | 1,0 | 0,00 | 0,0 | 0,848 |
| | ISA-V | 0,0 | 1,0 | 0,02 | 20,6 | 0,001 |
| TIPO-E * ORIEN | ISA-E | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,0 | 0,990 |
| | ISA-V | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,0 | 0,995 |
| CENA * ORIEN | ISA-E | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,0 | 0,990 |
| | ISA-V | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,1 | 0,898 |
| TIPO-E * CENA * ORIEN | ISA-E | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,0 | 0,990 |
| | ISA-V | 0,0 | 2,0 | 0,00 | 0,0 | 0,955 |
| Erro | ISA-E | 0,0 | 12,0 | 0,00 | | |
| | ISA-V | 0,0 | 12,0 | 0,00 | | |

a R Quadrado = 0,694 (R Quadrado Ajustado = 0,413)

b R Quadrado = 0,943 (R Quadrado Ajustado = 0,892)

(a) Design: Intercepto + TIPOE + CENA + ORIEN + TIPOE * CENA + TIPOE * ORIEN + CENA * ORIEN + TIPOE * CENA * ORIEN

Os resultados obtidos na análise multivariada confirmaram as variações observadas dos valores do ISA entre os fatores espaciais e os cenários simulados. Em relação ao efeito significativo dos cenários, pode-se inferir que a elevação em 24% da CA no cenário-2 proporcionou aumento do ISA-E nos estacionamento de 29% no período úmido e de 28% no período seco. Enquanto que, para o ISA-V nas áreas das vagas o aumento foi de até 38%, em ambos os períodos sazonais, em relação aos ISA-V nas áreas das vagas do cenário-1 com menor taxa de CA.

4.2.2 Síntese do sombreamento arbóreo em estacionamentos para Cuiabá-MT

Os resultados observados apontam que algumas estratégias podem ser empregadas visando à ampliação das áreas de sombreamento arbóreo efetivo em estacionamentos para a Cuiabá-MT, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23. Resultados observados e as estratégias de adequação, visando maior potencial de sombreamento arbóreo em estacionamentos para a cidade de Cuiabá-MT

- a. Tendência de redução da área total das sombras disponibilizadas pelo dossel arbóreo, devido à sobreposição das copas das árvores.

Estratégias:

Nos estacionamentos com vagas a 90°, observar o distanciamento de plantio das árvores de acordo com o adequado a cada espécie, sendo de 2 vezes o raio do dossel arbóreo em fase adulta, conforme Mascaró e Mascaró (2010);

Nos estacionamentos com vagas a 45° selecionar espécies com maior área de dossel, pois em canteiro padrão a 45° o espaçamento é determinado pela configuração dos canteiros, com maior distância entre os espaços para plantio, sendo adequado para espécie com maior área de dossel.

- b. Efeito significativo da sazonalidade das espécies, sobre o índice de cobertura arbórea observado nos estacionamentos avaliados em campo, assim como, sobre o índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos simulados.

Estratégias:

Atenuar o impacto das espécies decíduas no período seco, com maior percentual de espécies perenes e semidecíduas em relação ao percentual das espécies decíduas. Efetuar a distribuição espacial das espécies decíduas entre as áreas do estacionamento, evitando-se a concentração de árvores da referida espécie em canteiros nas orientações norte a noroeste.

- c. Redução das áreas de sombras efetivas sobre as superfícies dos estacionamentos. Assim como, as variações significativas das áreas de sombra sobre os setores das vagas para veículos, observadas em todas as orientações simuladas.

Estratégias:

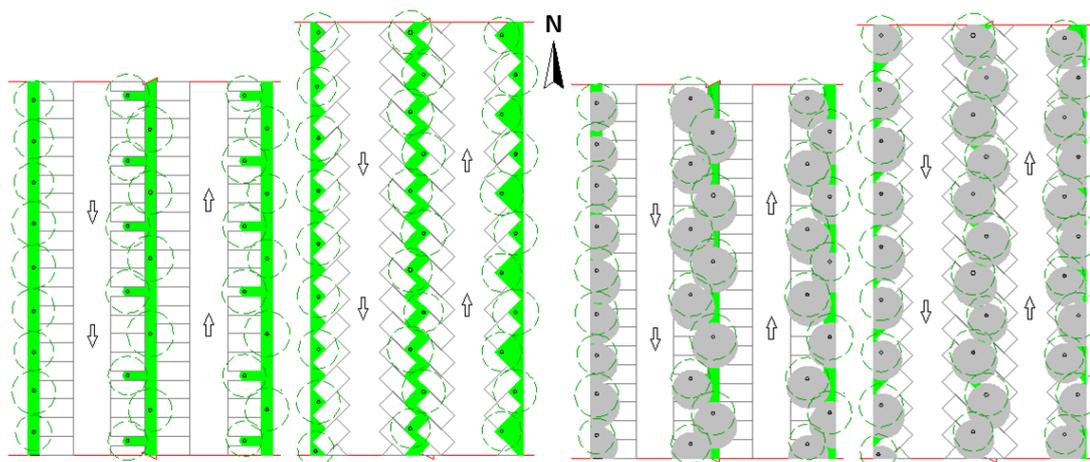
Promover o desalinhamento no plantio das árvores de acordo como a orientação geográfica do estacionamento, sendo para as orientações avaliadas:

Orientação N-S: na lateral a E, no canteiro central na direção O;

Orientação E-O: na lateral ao S, no canteiro central na direção N;

Orientação NE-SO: na lateral a SE, no canteiro central na direção NO.

A estratégia poderá ser implantada por diferentes alternativas, quanto à tipologia e o desenho dos canteiros, tais como ilhas contínuas ou isoladas, plantio alternado nos canteiros a 45° ou ampliação dos canteiros laterais, conforme exemplificado para a orientação N-S.



Ressalta-se que a estratégia proposta pode contribuir para elevar o índice de cobertura arbórea, em razão da tendência na ampliação do número de árvores proporcionada pelo desalinhamento das mesmas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados demonstraram que a cobertura arbórea foi um fator influente no comportamento microclimático dos estacionamentos avaliados. Contudo, na porção urbana de estudo outros fatores, como a configuração do entrono e a ocupação do solo nas áreas de influencia dos estacionamentos contribuíram nas variações microclimáticas observadas.

O método proposto para a simulação 3D do sombreamento arbóreo foi eficaz na identificação das relações entre os fatores espaciais, orientação geográfica e tipologias das vagas, cobertura arbórea e os índices espaciais da arborização em estacionamentos.

Os fatores espaciais, tipologias das vagas e orientação geográfica, tiveram influência significativa na variação do índice de sombreamento arbóreo nas áreas das vagas para veículos. Entretanto, os efeitos sobre a variação do índice de sombreamento arbóreo nos estacionamentos não apresentaram significância estatística, tanto para o fator tipologia das vagas e quanto para a orientação geográfica. Contudo, o índice de cobertura arbórea apresentou maior influencia sobre os índices espaciais da arborização em estacionamentos, área de sombra arbórea e o índice de sombra arbórea.

As simulações avaliadas confirmaram que, a sazonalidade da arborização foi um fator relevante no potencial do sombreamento arbóreo em estacionamentos para a cidade de Cuiabá-MT.

5.1 SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS

As pesquisas desenvolvidas no presente trabalho são uma contribuição para a linha de pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, quanto as metodologias para investigações e a ampliação do entendimento das estratégias que contribuam para atenuação das alterações no clima urbano. Assim, ficam sugeridas recomendações para futuras pesquisas em superfícies pavimentadas no ambiente urbano:

- a. Simulações do sombreamento arbóreo no solstício de inverno e do verão;
- b. Ampliar a caracterização de espécie da arborização urbana;
- c. Simulações do emprego de estratégia de ampliação da cobertura arbórea em estacionamentos pavimentados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ALONZO, M.; BOOKHAGEN, B.; MCFADDEN, J. P.; SUN, A.; ROBERTS, D. A. Mapping urban forest leaf area index with airborne lidar using penetration metrics and allometry. **Remote Sensing of Environment**, v.162, p.141-153, 2015.

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, v.30, n.3, p.5-16, 2012.

ANGELOCCI, L.R. Água na planta e trocas gasosas energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do Autor, 2002.

AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins** (Revista Franco-Brasileira de Geografia), São Paulo, n.7, 2009.

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International journal of climatology**, v.23.n.1, p.1-26, 2003

BAJSANSKI, I.; STOJAKOVIC, V.; JOVANOVIC, M. Effect of tree location on mitigating parking lot insolation. **Computers, Environment and Urban Systems**,v.56, p.59-67, 2016.

BDMEP-INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Acesso em 2017, <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

BIZ, S.; PASTÓRIO, A. P.; BRUN, F. G. K.; BRUN, E. J.; WATZLAWICH, L. F;. Indicadores de diversidade para a arborização viária do bairro centro norte da cidade de Dois Vizinhos–Paraná. **REVSBAU**, v.10, n.3, p.1-13, 2016.

CALLEJAS, J. A. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; BIUDES, M. S.; DURANTE, L. C. Seasonal variation of surface energy balance of a central Brazil city. **Mercator, Fortaleza**, v.15, n.3, p. 85-106, 2016.

CALLEJAS, I. J. A., DURANTE, L. C., de OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A. Diversity arboreal and vegetation indices in environment school. Electronic Journal of Management, **Education and Environmental Technology** (REGET), v.18, n.1, p.454-466. 2014.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; ROSSETI, K. D. A. C. Pavimentação Asfáltica: Contribuição no Aquecimento de Áreas Urbanas. **E&S Engineering and Science**, v.3, n.1, p.64-72, 2015.

COELHO FILHO, M. A.; VILLA-NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.16, n.5, p. 529-538, 2012.

CHIARANDA R; RIZZI N E; COLPINI C; SOARES T.S.; VERSIDES S M. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.117–122, 2012.

DECAGON DEVICES, Equipamentos de medição, Acesso em março 2017.

<http://www.decagon.com.br/dossel/luz/accupar-lp-80/>

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Cengage Learning Edições Ltda, p.250, 2010.

DO COUTO N. P. C.; DE MOURA S. F. M.; DE SOUZA N. J.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A. Conforto térmico dos usuários em vegetação e revestimentos urbanos no campus da UFMT em Cuiabá-MT. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.4, p.3529-3541, 2014.

DUARTE, D. H.; SHINZATO, P.; SANTOS G, C.; ALVES, C. A. The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. **Urban Climate**, v.14, p.224-239, 2015.

DURANTE, L; NOGUEIRA, M. C. de J. A. Efeitos do sombreamento arbóreo nas condições termo-higrométricas e lumínicas de ambientes internos e externos de edificações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.9, n.9, p.1980-1998, 2013.

ERELL, E. Urban Greening and Microclimate Modification, Cap 4, **In Greening Cities Springer**, Singapore, p.73-93, 2017.

FERREIRA, D. G.; de ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.9, n.1, p.255-270, 2017.

FRANCO, F. M. **Configuração urbana e sua interferência no microclima local: estudo de caso no bairro do Porto em Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2010.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. GONÇALVES, S H (Trad.). São Paulo, Oficina de Textos, p.243, 2010.

GLANTZ, S.A. **Princípios de Bioestatística**. 7ªed. Porto Alegre: Artmed, 2014, p.306.

GOOGLE. Google Earth. <http://earth.google.com>. Consulta realizada em 03/2017 e em 08/2017.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. Evapotranspiration rates in urban areas. **IAHS PUBLICATION**, v.259, p.235-244, 1999.

HADDAD, L.; AOUACHRIA, Z. Impact of the Transport on the Urban Heat Island. World Academy of Science, Engineering and Technology, **International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering**, v.9, n.8, p.968-973, 2015.

HOLMER B; THORSSON S; LINDÉN J. Evening evapotranspirative cooling in relation to vegetation and urban geometry in the city of Ouagadougou, Burkina Faso. **Int J Climatol**, n.33, p.3089–3105, 2013.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas 1961 a 1990 - Versão revista e ampliada. INMET. Brasília, 2009. 465p.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados climáticos. Acesso em 2017. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>

INSTRUTHERM. Empresa de Instrumentos de medição. Acesso em 2018. <https://www.instrutherm.net.br/>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726: Thermal environments: instruments and methods for measuring physical quantities. Switzerland, 1998.

JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS, K., MUYS, B., COPPIN, P., WEISS, M., BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and forest meteorology**, v.121, n1-2, p.19-35, 2004.

KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: **Anais IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Salvador, 1997.

KATZSCHNER, L.; THORSSON, S. Microclimatic investigations as tool for urban design. In **INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE**, v.7, 2009.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KONARSKA, J.; UDDLING, J.; HOLMER, B.; LUTZ, M.; LINDBERG, F.; PLEIJEL, H.; THORSSON, S. Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. **International journal of biometeorology**, v.60, n.1, p.159-172, 2016.

LENZA, E.; KLINK, C. A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, n.4, p. 627-638, 2006.

LI-COR. Empresa de instrumentos de medição. Acesso em 2018 https://www.licor.com/env/products/leaf_area/LAI-2200C

LI, H.; MEIER, F.; LEE, X., CHACRABORTY, T.; LIU, J.; SCHAAP, M.; SODOUDI, S. Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin. **Science of the Total Environment**, v.636, p.818-828, 2018.

Li, H.; HARVEY, J., KENDALL, A. Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. **Building and Environment**, v.59, p.536-546, 2013.

LIMA, E. de F. C.; LEDER, S. M. Medição e modelagem simplificada da vegetação para simulação digital da iluminação natural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 233-252, 2017.

LIMA NETO, E. M.; MELO E SOUZA, R. Índices de Sombreamento e Densidade arbórea das áreas verdes públicas de Aracaju-SE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v.4, n.4, p.47- 62, 2009.

LIMA NETO, E. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H.; BOBROWSKI, R. Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba - PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, p. 577 – 588, 2012.

LIMA, R. A. F.; RANDO, J. G.; BARRETO, K. D. Composição e diversidade no cerrado do leste de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, 2015.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4.ed. Nova Odessa: Plantarum, v.1, p.000, 2002a.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2.ed. Nova Odessa: Plantarum, v.2, p.000, 2002b.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v.3, p.000, 2008.

MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; DANELICHEN, V. H. de M.; VELASQUE, M. C. S. Seasonal and interannual pattern of meteorological variables in Cuiabá, Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 33 n.3, p.1-10, 2015.

MAITELLI, G T; CHILETTO, E C; ALMEIDA Jr N L; CHILETTO, R. Intensidade da ilha de calor em Cuiabá – MT, na estação chuvosa. Cuiabá, MT, 2004.

MAITELLI, G. T. Balanço de Energia Estimado para a Cidade de Cuiabá: Uma Abordagem de Balanço de Energia pelo Método de Bowen. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v.4, n.1, p.1-34, 2013.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. **Vegetação Urbana**. 3ª edição. Porto Alegre. Mais Quatro, p. 212, 2010.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics**. 7ªed. Report Number, Lda. 2018, p.650.

MCPHERSON, E. G. Sacramento's parking lot shading ordinance: environmental and economic costs of compliance. **Landscape and Urban Planning**, v.57, n.2, p.105-123, 2001.

MCPHERSON, E. G.; MUCHNICK, J. Effect of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. **Journal of Arboriculture**, v.31, n.6, p. 303, 2005.

MCPHERSON, E. G.; XIAO, Q.; VAN DOORN, N. S.; JOHNSON, N.; ALBERS, S.; PEPPER, P. J. Shade factors for 149 taxa of in-leaf urban trees in the USA. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.31, p.204-211, 2018.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e clima urbano. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco de Assis (Orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, p.9-67, 2013.

MOREIRA, E. B. M., Ribeiro, E. P., Soares, D. B. Sensing in Detection Parameters Physical Spectral in Urban| Sensoriamento na detecção de parâmetros espectrais Física no meio Urbano. **Revista Geama**, v.2, n.2, p.133-139, 2016.

MORENO G., HIGA T. C. S. **Geografia de Mato Grosso**. Cuiabá. Entrelinhas. 2005

MULLANEY, J.; LUCKE, T.; TRUEMAN, S. J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. **Landscape and Urban Planning**, v.134, p.157-166, 2015.

NAPOLI, M.; MASSETTI, L.; BRANDANI, G.; PETRALLI, M.; ORLANDINI, S. Modeling tree shade effect on urban ground surface temperature. **Journal of environmental quality**, v.45, n.1, p. 146-156, 2016.

O'DONOGHUE, A.; SHACKLETON, C. M. Current and potential carbon stocks of trees in urban parking lots in towns of the Eastern Cape, South Africa. **Urban forestry & urban greening**, v.12. n.4, p. 443-449, 2013.

OLIVEIRA, A S; NOGUEIRA, M C J A; SANCHES, L; NOGUEIRA, J S. 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.

ONISHI, A.; CAO, X.; ITO, T.; SHI, F.; IMURA, H. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. **Urban forestry & Urban greening**, v.9, n.4, p.323-332, 2010.

ONOMURA, S.; HOLMER, B.; LINDBERG, F.; THORSSON, S. Intra-urban nocturnal cooling rates: development and evaluation of the NOCRA model. **Meteorological Applications**, v.23, n.3, p.339-352, 2016.

ONSET COMPANY. Empresa de instrumentação meteorológica .
<https://www.onsetcomp.com/corporate>, Acesso em 2018

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. **Atmosphere**, v.14, n.4, p.268–277, 1976.

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

OKE, T. R The heat island of the urban boundary layer: Characteristics, causes and effects. In J. Cermak, A. Davenport, E. Plate, & D. Viegas (Eds.), Wind climate in cities. Of NATO ASI Series, vol. 277, p. 81–107. **Springer Netherlands**, 1995.

OKE, T. R Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report, TD. **World Meteorological Organization**, Geneva, 2006.

OKE, T. R Urban observations. 7^a ed. Guide to meteorological instruments and methods of observation, part II observing systems. Geneva: **World Meteorological Organization** (Chapter 11, WMO-No.8), 2008.

PAULA, D. C. J., MIRANDA S. A.; VALIN JR. M. O, SOUZA N. S.; NOGUEIRA, J. S.; SANTOS F. M. M.; NOGUEIRA M. C. J. A. Comparação termohigrométrica do impacto de intervenções urbanísticas em Cuiabá-MT-Brasil. In 7^o Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2016)-Contrastes, Contradições e Complexidades. Viva Editora, p.1-12, 2016a.

PAULA, D. C. J., MIRANDA S. A.; VALIN JR. M. O, SOUZA N. S.; NOGUEIRA, J. S.; NOGUEIRA M. C. J. A.; SANTOS F. M. M. Microclima urbano: comparação antes e pós intervenções urbanísticas em Cuiabá-MT. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC2016 - São Paulo, Brasil, p.1979-1980, 2016b.

PEPER, P. J.; MCPHERSON, E. G. Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.2, n.1, p.19-29, 2003.

PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Área foliar e interceptação de radiação solar pela copa de uma laranjeira. **Bragantia**, Campinas SP v.74, n.4, p.1-7, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CUIABÁ: **Legislação Urbana de Cuiabá**. IPDU – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. Entrelinhas, 645p. 2004.

QIU, G. Y.; LI, H. Y.; ZHANG, Q. T.; WAN, C. H. E. N.; LIANG, X. J.; LI, X. Z. Effects of evapotranspiration on mitigation of urban temperature by vegetation and urban agriculture. **Journal of Integrative Agriculture**, v.12, n.8, p.1307-1315, 2013.

RAHMAN, M. A.; ENNOS, A. R. What we know and don't know about the cooling benefits of urban trees. **Technical Report, Trees & Design Action Group**, www.tdag.org.uk/research.html, doi: 10.13140/RG.2.1.5122.2645, 2016.

RIBAS, J.R.; VIEIRA, P.R.C. Análise multivariada com o uso do SPSS. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, p.272, 2011.

RIBEIRO, K. F. A.; VALIN JR M. de O.; SANTOS, F. M. de M.; NOGUEIRA, M. C. de J A.; NOGUEIRA, J. de S.; DE MUSIS C. R. Análise da temperatura interna e superficial em diferentes sombreamentos arbóreos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v.10, n.2, p. 40-60, 2015.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio: Mudanças climáticas e o impacto das cidades**, v.4, n.1, p.9-22, 2011.

REZENDE, M. C.; SOUZA, L. V. de; M, S, F. M. de; NOGUEIRA, NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J, de S. Interação das variáveis microclimáticas e cobertura do solo em região urbana e limítrofe-urbana na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, p.199–215, 2014.

RYU, Y., Nilson, T., KOBAYASHI, H., SONNENTAG, O., LAW, B. E., BALDOCCHI, D. D. On the correct estimation of effective leaf area index: Does it reveal information on clumping effects?. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, n.3, p.463-472, 2010.

SANTOS, F. M. M.; MUSIS, C. R.; SOUZA, N., J.; JÚNIOR, O. B. P.; NOGUEIRA, M. C. D. J. A. Analysis of variation hygrothermal arising by influence of occupation of land in the city Cuiabá-MT. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology* (REGET), v.9, n.9, p.1932-1945, 2013.

SCOTT, K. I.; SIMPSON, J. R.; MCPHERSON, E. G. Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. **Journal of Arboriculture**, v.25, n.3, p.129-142, 1999.

SHASHUA-BAR, L.; TSIROS, I. X.; HOFFMAN M. E. A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. **Building and Environment**, Oxford, n. 45, p. 2798-2807, 2010.

SPANGENBERG, J; SHINZATO, P; JOHANSSON, E; DUARTE D. Simulação da influência da vegetação no microclima urbano e conforto térmico na cidade de São Paulo. **Revista SBAU**, Piracicaba, v.3, n.2, p. 1-19, 2008.

SIMÕES, L. O. C., MAROTTA, H., PIRES, B.B.M., UMBELINO, L. F., COSTA, A.J.S.T. Índices de Arborização em espaço urbano: um estudo de caso no bairro de Vila

SKETCHUP-PRO, Programa de modelagem 3D desenvolvido pela empresa Trimble, USA, Versão aberta, 2017.

SOUZA, G. M.; BALMANT, B. D.; VÍTOLO, H. F.; GOMES, K. B. P., FLORENTINO, T. M.; CATUCHI, T. A.; VIEIRA, W. D. L. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham.(Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes luminosos. **Acta Botanica Brasilica**, v.23, n.2, p. 474-485, 2009.

VILANOVA S. R. F.; MAITELLI G. T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no Centro Político Administrativo de Cuiabá-MT. **UNI Ciências**, n.13, p.55-71, 2009.

WANG, Y.; BERARDI, U.; AKBARI, H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, n.114, p.2-19, 2016.

ZHANG, Z.; LV, Y.; PAN, H. Cooling and humidifying effect of plant communities in subtropical urban parks. **Urban forestry & urban greening**, v.12, n.3, p.323-329, 2013.

HENDEL, M. A. Measurement of the cooling efficiency of pavement-watering as an urban heat island mitigation technique. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v.3, n.1, p. 1-11, 2015.

6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

HAASHEMI, S.; WENG, Q.; DARVISHI, A.; ALAVIPANAH, S. K. Seasonal variations of the surface urban heat island in a semi-arid city. **Remote Sensing**, n.8 v.4, p.1-17, 2016

LABAKI, L C; SANTOS, R F; BUENO, B; LOTUFO, C; ABREU, L V. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio**, vol. 4, 2011.

DEL CARPIO, J. A. V., MARINOSKI, D. L., TRICHÊS, G., LAMBERTS, R., MELO, J. V. S. Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field. **Solar Energy**, n.134, p.72-81, 2016.

KRÜGER, E. L.; GONZALEZ; DOMINIQUE; E.G. Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. **Ambiente Construído**, v.16, n.3, p. 89-106, 2016.

CHEN, L.; YU, B.; YANG, F.; MAYER, H. (2016). Intra-urban differences of mean radiant temperature in different urban settings in Shanghai and implications for heat stress under heat waves: A GIS-based approach. **Energy and Buildings**, n.130, p. 829-842, 2016.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.11, n.3, p.245-255, 2011.

THOM, J. K.; COUTTS, A. M.; BROADBENT, A. M.; TAPPER, N. J. The influence of increasing tree cover on mean radiant temperature across a mixed development suburb in Adelaide, Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.20, p.233-242, 2016.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife-PE. Brasil. Março, 2006.