

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

**CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA
NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT**

LEVI PIRES DE ANDRADE

Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA
Orientadora

Cuiabá, MT
Março de 2020

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

**CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA
NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT**

LEVI PIRES DE ANDRADE

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

Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA
Orientadora

Cuiabá, MT
Março de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P667c Pires de Andrade, Levi.
CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE
CUIABÁ-MT / Levi Pires de Andrade. -- 2020
146 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, 2020.
Inclui bibliografia.

1. microclimas urbanos. 2. qualidade do ar. 3. uso e ocupação do solo. 4. variáveis
microclimáticas. 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.

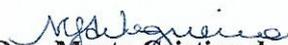
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO
MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT

AUTOR: LEVI PIRES DE ANDRADE

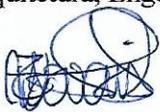
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 02 de março de 2020, pela comissão julgadora:


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


Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis
Examinador Interno
Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá


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


Prof. Dr. João Basso Marques
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT


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


Profa. Dra. Teresa Irene Ribeiro de
Carvalho Malheiro
Examinadora Externa
Instituto Federal de Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

A Deus que nos ampara e nos sustenta, ... “Nele está o manancial da vida, na luz Dele vemos a luz”, Salmos 36:9, a minha amada ajudadora, Lindalva, ... “Mulher virtuosa, o seu valor muito excede ao de rubis”, Provérbios 31:10, aos meus queridos filhos, Letícia, Lucas e Laiz, ... “herança do Senhor, meus galardões,” Salmos 127:3, aos meus pais, Antônio e Aurora, *in memorium*, ... “pela instrução nos caminhos de Deus em Cristo”, Provérbios 22:6, aos meus irmãos José, Maria, Francelina, João, Antônio (*in memorium*), Edson (*in memorium*) e Aurora, pelos momentos de exercício do amor em família, ... “Deus é amor”, 1 João 4:16.

AGRADECIMENTOS

- A Deus em Cristo pela saúde e proteção.
- A minha esposa Lindalva que se dispôs a me auxiliar nas medições, fazendo um dos transectos móveis, durante um longo ano de árduo trabalho, apesar das suas muitas atribuições.
- A minha Orientadora Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelas orientações sempre com muita dedicação, polidez, educação, humildade e tantas outras qualidades que a enobrece.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, que com sua dedicação, empenho e capacidade, ajudou a mudar a história da academia em Mato Grosso. Prof. Paraná, como carinhosamente é chamado, minha gratidão transpõe este trabalho. É uma gratidão, como cidadão, pelo seu empenho em prol da Pós-Graduação, com qualidade, na UFMT, ajudando a nossa querida Cuiabá e o nosso grande Estado de Mato Grosso.
- Ao Prof. Dr. Carlo Raph de Mysis, pelas suas orientações e correções na estatística. Sempre disposto a ajudar com muita disposição e humildade.
- Ao meu colaborador Marcelo Nogueira Guimarães, que deu o suporte nas medições realizadas nos dois transectos móveis.
- Ao Cesário e Soilce, agradeço pela disposição, atenção e carinho dispensados aos Pós-Graduandos, muita gratidão pelas orientações e apoios.
- A Sra. Jesuína de Faria por sempre ser solícita e gentil.
- Ao Prof. Dr. Jonathan W. Zangeski Novais, pelo apoio e orientação sempre buscando estimular a publicação dos nossos trabalhos acadêmicos.
- A Profa. Dra. Teresa Irene Ribeiro de Carvalho Malheiro, pelo apoio que sempre me deu, principalmente a amizade de forma alegre, e me estimulando a seguir na capacitação acadêmica.
- As Profas. Dra. Flávia Maria de Moura Santos e Dra. Luciana Sanches, sempre dispostas a orientar e apoiar nos trabalhos acadêmicos desenvolvidos.
- Aos colegas do doutorado e mestrado, sempre dispostos a ajudar. Em especial a Natália Sanches e Souza, sempre muito atenciosa e prestativa.
- Ao IFMT, onde passei longos 33 anos no exercício do magistério.
- Ao CIN, onde tive a benção de ser um dos fundadores e pude contribuir na educação nestes 40 anos.
- A SEMA, na pessoa da Secretária Mauren Lazaretti, e do Servidor Sérgio Batista de Figueiredo, que deram todo apoio na cessão das informações sobre a qualidade do ar em Mato Grosso.
- A Prefeitura Municipal de Cuiabá, na pessoa do Prefeito Emanuel Pinheiro e dos Secretários Antenor de Figueiredo Neto e Juarez Silveira Samaniego, pelas informações e apoio na constituição e execução dos transectos móveis.
- Ao Corpo de Bombeiro do Estado de Mato Grosso, na pessoa do Comandante Geral Coronel Alessandro Borges Ferreira e do Major Douglas, pelas informações cedidas, com atenção e presteza.

EPÍGRAFES

Aquele que crê em Jesus Cristo, como diz a Escritura, do seu interior fluirão rios de água viva. João 7:38

Os céus declaram a glória de Deus e o firmamento anuncia a obra das suas mãos. Salmos 19:1

A matemática é a linguagem da precisão; é o vocábulo indispensável daquilo que conhecemos. Karl Wilhelm Theodor Weierstrass (1815-1897)

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS.....	i
LISTAS DE TABELAS.....	vi
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
LISTAS DE SIMBOLOS	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. PROBLEMÁTICA	01
1.2. JUSTIFICATIVA	02
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1 CLIMA URBANO E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	04
2.1.1 Ecossistema Urbano	04
2.1.2. Metabolismo Urbano	05
2.1.3. Atmosfera Urbana	07
2.2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E AS INTERFACES COM AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E AS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS	12
2.3 A QUALIDADE DO AR E SUAS IMPLICAÇÕES	20
2.4 A QUALIDADE DO AR EM CUIABÁ	22
2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E DA QUALIDADE DO AR	25
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS CORRELAÇÕES ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS FIXOS DO TRANSECTO MÓVEL E COLETA DE DADOS	34

3.3. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA DE GLOBO PELO MÉTODO DO TRANSECTO MÓVEL	44
3.4. MEDIÇÃO NA ESTAÇÃO FIXA AUTOMÁTICA A901/INMET	47
3.5. DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	49
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA A901/INMET	53
4.2. CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS – BOLETINS DA SEMA-MT	57
4.3. VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS – TRANSECTOS SE-NO E NE-SO	64
4.3.1. Temperatura do Ar (Período da Manhã)	64
4.3.2. Temperatura do Ar (Período da Tarde)	71
4.3.3. Umidade Relativa do Ar (Período da Manhã)	78
4.3.4. Umidade Relativa do Ar (Período da Tarde)	82
4.3.5. Temperatura Radiante Média (Período da Manhã)	89
4.3.6. Temperatura Radiante Média (Período da Tarde)	94
4.3.7. Análise Comparativa dos Transectos SE-NO e NE-SO	99
4.3.7.1. Análise Comparativa da Temperatura do Ar	100
4.3.7.2. Análise Comparativa da Umidade Relativa do Ar	101
4.3.7.3. Análise Comparativa da Temperatura Radiante Média	106
4.4. VARIÁVEIS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	106
4.4.1. Transecto SE-NO	107
4.4.2. Transecto NE-SO	109
4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	111
4.5.1. Análise das Variáveis Meteorológicas e das Variáveis da Poluição Atmosférica	112
4.5.1.1. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis Meteorológicas	111

<i>4.5.1.2. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis de Poluição Atmosférica</i>	111
<i>4.5.1.3. Distribuição dos dados referentes as variáveis meteorológicas e as variáveis de concentrações de poluentes atmosféricos</i>	114
<i>4.5.1.4. Correlação Canônica entre as variáveis meteorológicas e as concentrações de poluentes atmosféricos</i>	115
<i>4.5.1.4.1. Primeiro Par Canônico (D₁, E₁)</i>	116
<i>4.5.1.4.2. Primeiro Par Canônico (D₂, E₂)</i>	120
<i>4.5.1.4.3. Primeiro Par Canônico (D₃, E₃)</i>	123
4.5.2. Análise das Variáveis Microclimáticas e das Variáveis de Uso e Ocupação do Solo	126
<i>4.5.2.1. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis Microclimáticas</i>	126
<i>4.5.2.2. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis de Uso e Ocupação do Solo</i>	127
<i>4.5.2.3. Distribuição dos dados referentes as variáveis microclimáticas e as variáveis de uso e ocupação do solo</i>	129
<i>4.5.2.4. Correlação Canônica entre as variáveis microclimáticas e as variáveis de uso e ocupação do solo</i>	130
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
6. BIBLIOGRAFIAS	139
6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS	139
6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Alterações que ocorrem na composição do Ecossistema urbano.....	05
Figura 2	Funcionamento do Ecossistema Urbano. Entradas e saídas de materiais e resíduos.....	06
Figura 3	Número de Queimadas em Cuiabá – MT e entorno nos últimos seis anos.....	08
Figura 4	Número de Veículos Automotores em Cuiabá – MT nos últimos seis anos.....	08
Figura 5	Camada Limite Urbana durante o dia.....	11
Figura 6	Cúpula urbana (ambiente sem vento) e Pluma Urbana (ambiente com vento)	16
Figura 7	Ondas longas e ondas curtas na atmosfera urbana.....	18
Figura 8	Fotos de Cuiabá – MT tiradas em setembro (a) e dezembro (b) de 2019	20
Figura 9	Desenho Metodológico das variáveis e correlações	32
Figura 10	Localização de Cuiabá no Brasil e no estado de Mato Grosso (a); Município de Cuiabá, delimitação da área urbana e municípios vizinhos (b); Transecto Móvel Sudeste – Noroeste (c); Transecto Móvel Nordeste – Sudoeste (d)	33
Figura 11	Imagem de parte da área urbana de Cuiabá – MT com destaque para os dois transectos móveis realizados	34
Figura 12	Receptor Topcon GNSS Hiper SR	36
Figura 13	Pontos P1, P2 e P3 do transecto SE-NO	37
Figura 14	Pontos P4, P5 e P6 do transecto SE-NO.....	38
Figura 15	Pontos P7, P8 e P9 do transecto SE-NO	39
Figura 16	Pontos P10, P11 e P12 da transecto SE-NO	39
Figura 17	Pontos P13, P14 e P15 do transecto SE-NO	40
Figura 18	Pontos NE1, NE2 e NE3 do transecto móvel NE-SO.....	41

Figura 19	Pontos NE1, NE2 e NE3 do transecto móvel NE-SO.....	41
Figura 20	Pontos NE7, NE8 e NE9 do transecto móvel NE-SO	42
Figura 21	Pontos NE10, NE11 e NE12 do transecto NE-SO	43
Figura 22	Pontos NE13, NE14 e NE15 do transecto NE-SO.....	43
Figura 23	Foto do Veículo Utilizado no transecto Nordeste-Sudoeste. Com detalhe do termômetro de globo	45
Figura 24	Foto do veículo utilizado no transecto móvel Sudeste-Noroeste, do sensor datalogger utilizado na medição e parte do abrigo.....	46
Figura 25	Foto do termômetro de Globo e o Abrigo do Datalogger	47
Figura 26	Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar. Dados da Estação Automática A901 do INMET	53
Figura 27	Radiação Solar. Médias Mensais. Dados da Estação Automática A901 do INMET	55
Figura 28	Velocidade do Vento e Velocidade de Rajada de Vento. Dados da Estação Automática A901 do INMET	56
Figura 29	Direção do Vento. Dados da Estação Automática A901 do INMET	57
Figura 30	Concentração Mínima de Material Particulado $[MP]_{2,5}$	58
Figura 31	Concentração Máxima de Material Particulado $[MP]_{2,5}$ e Velocidade do Vento.....	59
Figura 32	Concentração Máxima de Material Particulado $[MP_{max}]_{2,5}$ e Velocidade de Rajada do Vento	60
Figura 33	Concentrações máximas e mínimas de monóxido de carbono	61
Figura 34	Concentrações Máximas de Material Particulado $[MP_{max}]_{2,5}$ e Monóxido de Carbono	62
Figura 35	Concentrações Mínimas de Material Particulado $[MP_{max}]_{2,5}$ e Monóxido de Carbono	63
Figura 36	Concentração máxima de CO, velocidade do vento e velocidade de rajada de vento	63
Figura 37	Temperatura do ar nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	66

Figura 38	Temperatura do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO	67
Figura 39	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 13 e 14 do transecto móvel SE-NO	68
Figura 40	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 02 e 03 do transecto móvel SE-NO	69
Figura 41	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01, 06 e 12 do transecto móvel NE-SO	70
Figura 42	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Ponto 05 do transecto móvel NE-SO.....	71
Figura 43	Temperatura do ar nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	73
Figura 44	Temperatura do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 14 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO	74
Figura 45	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01, 09 e 13 do transecto móvel SE-NO	75
Figura 46	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 03 e 15 do transecto móvel SE-NO.....	76
Figura 47	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01 e 06 do transecto móvel NE-SO	77
Figura 48	Umidade relativa do ar nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO	79
Figura 49	Umidade relativa do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	81
Figura 50	Umidade relativa do ar nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO	83
Figura 51	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 03 e 15 do transecto SE-NO	85

Figura 52	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01 e 09 do transecto SE-NO	86
Figura 53	Umidade relativa do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	87
Figura 54	Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 02, 05 e 13 do transecto NE-SO	88
Figura 55	Temperatura radiante média nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO	91
Figura 56	Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	92
Figura 57	Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	95
Figura 58	Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO	97
Figura 59	Pontos de medição do transecto SE-NO. Temperaturas radiantes médias diferentes e forma e função urbana diferentes	98
Figura 60	Comparação da Variação Sazonal das diferenças de temperaturas entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO	101
Figura 61	Comparação da Variação Sazonal das diferenças de umidades relativas do ar entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO	103
Figura 62	Temperatura radiante média por mês, por horário da medição e por transecto (NE-SO e SE-NO)	104
Figura 63	Comparação da Variação Sazonal das diferenças de temperaturas radiantes médias, entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO	106

Figura 64	Tipos de Uso do Solo nos transectos NE-SO e SE-NO	107
Figura 65	Tipos de Uso do Solo no transecto SE-NO	109
Figura 66	Tipos de Uso do Solo no transecto NE-SO	110
Figura 67	Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_1	117
Figura 68	Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_1	118
Figura 69	Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas E_1 e D_1	119
Figura 70	Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_2	121
Figura 71	Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_2	121
Figura 72	Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas. Par Canônico (D_2, E_2)	122
Figura 73	Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_3	124
Figura 74	Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_3	124
Figura 75	Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas. Par Canônico (D_3, E_3)	125
Figura 76	Pesos canônicos das variáveis originais de uso e ocupação do solo na composição da variável canônica US	132
Figura 77	Pesos canônicos das variáveis microclimáticas originais na composição da variável canônica M	133
Figura 78	Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas, microclimáticas e de uso e ocupação do solo	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Dados de localização e altitudes dos pontos fixos do transecto móvel Sudeste-Noroeste	37
Tabela 02	Dados de localização e altitude dos pontos fixos do Transecto Móvel Nordeste-Sudoeste	42
Tabela 03	Dia, mês, ano e horários das medições nos transectos Sudeste-Noroeste e Nordeste-Sudoeste	45
Tabela 04	Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis meteorológicas	112
Tabela 05	Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis de poluição atmosférica	113
Tabela 06	Teste de Normalidade para os dados das variáveis de poluição atmosférica	114
Tabela 07	Teste de Normalidade para os dados das variáveis meteorológicas	114
Tabela 08	Teste de Correlação Canônica entre os grupos de variáveis. Variáveis Meteorológicas e de Poluição Atmosférica	116
Tabela 09	Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis microclimáticas	127
Tabela 10	Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis de uso e ocupação do solo	128
Tabela 11	Teste de Normalidade das variáveis microclimáticas e de uso e ocupação do solo	130
Tabela 12	Teste de Correlação Canônica entre os grupos de variáveis. Variáveis Microclimáticas e de Uso e Ocupação do Solo	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DETRAN-MT	Departamento Estadual de Trânsito de Mato Grosso
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
ICU	Ilha de Calor Urbano
CO	Monóxido de Carbono
MP _{2,5}	Material Particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm
SEMA-MT	Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO ₂	Gás Carbônico
O ₃	Ozônio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
WHO	World Health Organization
Ppm	Parte por milhão
CLU	Camada Limite Urbana
CS	Camada de Superfície
CM	Camada de Mistura
SI	Subcamada Inercial
SR	Subcamada de Rugosidade
CDU	Camada de Dossel Urbano
NO _x	Óxido de Nitrogênio
MP	Material Particulado
PAHs	Polycyclic aromatic hydrocarbons
VOCs	Volatile Organic Compounds
3D	Três Dimensões
MP ₁₀	Material Particulado com diâmetro inferior a 10 µm

ACP	Análise de Componentes Principais
ACC	Análise de Correlação Canônica
OMS	Organização Mundial da Saúde
SOx	Óxido de Enxofre
MP ₁	Material Particulado com diâmetro inferior a 1 µm
Ph	Potencial Hidrogeniônico
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE	Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais
CATT	Coupled Aerosol and Tracer Transport Model
BRAMS	B razilian D evelopments on the R egional A tmospheric M odelling S ystem
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RBMC	Rede brasileira de monitoramento contínuo
SE	Sudeste
NE	Nordeste
NO	Noroeste
SO	Sudoeste
PVC	<i>P</i> olicloreto de Polivinila
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
UTC	Coordinated Universal Time
IAF	Índice de Área Foliar

LISTA DE SÍMBOLOS

Z_i	Altura da Camada Limite Urbana
Z_r	Altura da Subcamada de Rugosidade
Z_H	Altura da Camada de Dossel Urbano
H	Alturas das Edificações
W	Distâncias entre as Edificações
UR ou URar	Umidade Relativa do Ar
T ou Tar	Temperatura do Ar
PQAr	Padrões de Qualidade do Ar
$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	Microgramas por metro cúbico
Trm	Temperatura Radiante Média
Tg	Temperatura de Globo
V ou Vvento	Velocidade do Vento
Dm	Diâmetro do Termômetro de Globo
E	Emissividade do Globo
[CO]	Concentração de Monóxido de Carbono
[MP _{2,5}]	Concentração de Material Particulado de diâmetros médios menores que 2,5 μm
[CO] _{min}	Concentração Mínima de Monóxido Carbono
[CO] _{max}	Concentração Máxima de Monóxido Carbono
[MP _{2,5}] _{min}	Concentração Mínima de Material Particulado de diâmetro médio menor que 2,5 μm
[MP _{2,5}] _{max}	Concentração Máxima de Material Particulado de diâmetro médio menor que 2,5 μm
P	Coefficiente de Correlação de Spearman
Vrajada ou Vraj	Velocidade de Rajada de Vento
Rad ou Radiação	Radiação Solar

N	Número de Conjunto de Dados
Me	Média Aritmética
DP	Desvio Padrão
p-Valor	Nível de Significância ou Valor de p
E, E_1, E_2, E_3, E_i	Variável Canônica da Poluição Atmosférica
D, D_1, D_2, D_3, D_i	Variável Canônica das Grandezas Meteorológicas
Edificações	Percentual de Edificações
Asfalto	Percentual de Asfalto
Concreto	Percentual de Concreto
Vegrab	Percentual de Vegetação Rasteira
Vegarb	Percentual de Vegetação Remanescente
Solo	Percentual de Solo
Água	Percentual de Água
US, US_1 ou US_i	Variável Canônica de Uso e Ocupação do Solo
M, M_1 Ou M_i	Variável Canônica das Grandezas Microclimáticas

Resumo

ANDRADE, L. P. CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT. 146 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

Nas últimas décadas Cuiabá experimentou um crescimento populacional acentuado e junto um grande aumento das áreas edificadas e pavimentadas, bem como, um aumento expressivo no número de veículos automotores. Com isto, os níveis de concentrações de material particulado têm ultrapassado os limites toleráveis indicados pela Organização Mundial de Saúde. Esta pesquisa tem como objetivo geral o estudo das correlações entre as variáveis meteorológicas, Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar, Velocidade do Vento, Radiação Solar, Velocidade de Rajada de Vento e as concentrações de poluentes atmosféricos, MP (Material Particulado de diâmetro menor que 2,5 μm) e monóxido de carbono. Para ampliar as condições de compreensão destas interdependências a pesquisa analisou as correlações entre o tipo de uso do solo urbano e as variações microclimáticas decorrentes. Foi aplicada a Análise de Correlação Canônica nos dados obtidos junto ao INMET, a SEMA-MT, e as medições realizadas em dois transectos. O estudo mostra que a qualidade do ar em Cuiabá é inadequada com concentrações de material particulado acima dos limites indicados pela OMS que é $[\text{MP}_{2,5}] = 25 \mu\text{g.m}^{-3}$. Todas as médias mensais ultrapassaram este limite com valores variando de 58,11 $\mu\text{g.m}^{-3}$, em fevereiro de 2018, a 142,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ em junho de 2019, e que estas concentrações tem correlação com as variáveis meteorológicas, com coeficiente de correlação canônico igual a 0,61. O estudo mostra também que o tipo de uso do solo interfere nas variações microclimáticas com coeficiente de correlação canônico igual a 0,305. Estas interdependências envolvendo poluição atmosférica, aspectos meteorológicos, uso do solo e variações microclimáticas se estabelecem como um desafio aos gestores da cidade no sentido de redefinirem planejamentos e políticas públicas que possam minimizar os efeitos da poluição.

Palavras-chave: microclimas urbanos, qualidade do ar, uso e ocupação do solo, variáveis microclimáticas

Abstract

ANDRADE, L. P. **CANONICALS CORRELATIONS BETWEEN METEOROLOGICAL VARIABLES AND ATMOSPHERIC POLLUTION IN THE MUNICIPALITY OF CUIABÁ-MT.** 146 f. Thesis (PhD in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

In the last decades Cuiabá has experienced a marked population growth and together a large increase of the built and paved areas, as well as a significant increase in the number of motor vehicles. With this, the concentration levels of particulate matter have exceeded the tolerable limits indicated by the World Health Organization. This research has as general objective the study of the correlations between the meteorological variables, Air Temperature, Relative Humidity, Wind Speed, Solar radiation, wind gust velocity and atmospheric pollutant concentrations, MP (Particulate Material diameter less than $2.5 \mu\text{m}$) and carbon monoxide. To broaden the understanding of these interdependencies, the research analyzed the correlations between the type of urban land use and the resulting in the microclimate variations. Canonical Correlation Analysis was applied to the data obtained from INMET, SEMA-MT, and measurements performed in two transects. The study shows that Cuiabá air quality is inadequate with particulate matter concentrations above the WHO indicated limits which is $[\text{MP}_{2.5}] = 25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. All monthly averages exceeded this limit with values ranging from $58.11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in February 2018 to $142.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in June 2019, and that these concentrations correlate with meteorological variables with canonical correlation coefficient equal to 0.61. The study also shows that the type of land use interferes with microclimatic variations with a canonical correlation coefficient of 0.305. These interdependencies involving air pollution, meteorological aspects, land use and microclimatic variations are a challenge for city managers to redefine public policies and plans that can minimize the effects of pollution.

Keywords: urbans microclimates, air quality, land use and occupation

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O crescimento das cidades traz uma série de problemas inerentes ao adensamento construtivo e a dinâmica populacional. Se de um lado a cidade, através de seus cidadãos, experimenta o progresso, de outro, ela adquire um passivo urbanístico e ambiental que interfere na qualidade de vida da população, especialmente em cidades nas quais esta expansão se dá de forma acentuada. Inevitavelmente, a concentração das atividades humanas nas cidades resulta em emissões que modificam a composição térmica e química da atmosfera urbana.

Nas últimas décadas a qualidade do ar tem-se degradado nos grandes centros urbanos e as fontes móveis são as principais responsáveis por esta degradação. Cuiabá é uma cidade que se localiza no centro geodésico da América Latina e experimentou um grande crescimento populacional, passando de pouco mais de 45.000 habitantes em 1960 para mais de 540.000 em 2010, um crescimento aproximado de 1077%. A frota de veículos de Cuiabá acompanhou este crescimento, passando de 145473, em 2005, para 441497 em 2019 (DETRAN – MT). Estes indicadores demonstram um crescimento fulgurante da cidade nas últimas décadas, e junto, a alteração da composição da geometria urbana e da qualidade de vida dos cidadãos que nela vivem.

As emissões antropogênicas incluem a liberação de vapor de água, calor e líquidos, gases ou materiais particulados, que podem ser considerados resíduos do chamado “metabolismo urbano”. Além disso, as emissões de poluentes e de calor provenientes das atividades humanas modificam as propriedades térmicas e químicas da atmosfera urbana e prejudicam a qualidade do ar.

1.2. JUSTIFICATIVA

A geometria urbana e o funcionamento da cidade têm implicações que podem melhorar ou piorar a qualidade de vida de seus cidadãos. O conhecimento do meio urbano nos seus vários aspectos é de fundamental importância para os tomadores de decisões políticas e pessoas que administram o meio urbano e planejam seu funcionamento e expansão.

Um dos aspectos mais importantes no uso de uma cidade são as alterações nas concentrações de poluentes atmosféricas e nas propriedades térmicas da cidade por conta das emissões antropogênicas e da constituição geométrica da cidade. Nas áreas urbanas, o estudo das concentrações de poluentes é de grande interesse, uma vez que a perda de qualidade do ar acarreta vários efeitos negativos aos cidadãos e ao ecossistema urbano.

Outro aspecto que torna relevante o estudo da poluição do ar, tanto a composição quanto a concentração dos poluentes atmosféricos se devem aos impactos negativos que a poluição acarreta à saúde humana.

Neste cenário é relevante estudar as correlações entre as variáveis meteorológicas e microclimáticas nas suas várias interfaces, no âmbito urbano, seja com a geometria urbana ou com a concentração de poluentes. A transformação da cidade altera as variáveis meteorológicas, as variáveis microclimáticas, a qualidade do ar, o uso do solo e estas afetam os microclimas urbanos, e estes, por sua vez, a qualidade de vida e o conforto ambiental das pessoas que vivem no ambiente urbano.

O objetivo geral deste trabalho é analisar as correlações entre as variáveis meteorológicas e microclimáticas com a poluição atmosférica. As variáveis meteorológicas referem-se aos dados da Estação Automática e apresentam a característica a nível de escala local do clima e as variáveis microclimáticas expressam características pontuais num raio de 200 m dos pontos de medições. A escala local abrange dimensões de 100 metros a 50 Km, em intervalos de menos de um dia e a microescala se refere a medições no intervalo de milímetros a 1 Km, no período de minutos a horas (OKE et al., 2017).

Para alcançar o objetivo geral, estabeleceu-se os objetivos específicos que seguem: Caracterizar a qualidade do ar em Cuiabá quanto as Variáveis de Poluição Atmosférica, de agosto/2017 até junho/2019; Caracterizar as variáveis meteorológicas em Cuiabá no período de agosto/2017 até junho/2019; Analisar os pontos fixos, de medição, quanto ao tipo de revestimento do solo no período de fevereiro/2018 a janeiro/2019; Caracterizar as variáveis termo-higrométricas nos pontos dos transectos no período de fevereiro/2018 a janeiro/2019; Analisar a variabilidade microclimática e as interfaces com o tipo de uso e ocupação do solo; Comparar os dois transectos de medições e as interdependências com o tipo de uso e ocupação do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLIMA URBANO E A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O estudo do meio urbano se fortalece na medida em que a população do planeta é crescente e vive majoritariamente nas cidades. A população mundial deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 bilhões de indivíduos para 9,7 bilhões em 2050, de acordo com um novo relatório das Nações Unidas (<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial>).

A população urbana mundial representa 55 % do total, a projeção é que em 2030 este percentual chegue a 60%, o que indica um decréscimo percentual da razão entre a população rural e urbana do planeta (<https://www.un.org/en>). No Brasil segundo os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015) a maior parte da população brasileira, 84,72 %, vive em áreas urbanas. Assim 25,28 % dos brasileiros vivem em áreas rurais. Estudos dos climas urbanos e da qualidade do ar são cada vez mais relevantes para os gestores e tomadores de decisões das cidades.

2.1.1 Ecossistema Urbano:

O estabelecimento de uma cidade de forma inevitável altera o clima local. Em uma área composta inicialmente com vegetação, cursos d'água, animais silvestres passa a ocorrer a ação antrópica e a substituição da vegetação por construções, pavimentos, parques, lagos artificiais alterando o ecossistema natural substituindo-o por um ecossistema urbano. O desenvolvimento urbano de forma direta ou indireta leva às mudanças atmosféricas e também afeta componentes físicos e biológicos do ecossistema que ali existia, isto é, a vegetação, os animais, o solo, as formas terrestres e os recursos hídricos (OKE et al., 2017). Essas alterações compõem um novo espaço, o ecossistema urbano.

O espectro ecológico em uma área urbana abrange desde a vegetação remanescente até o novo tecido urbano constituído. Os componentes biofísicos que compõem o ecossistema estão representados na Figura 1.

Sobre a primeira natureza se estabelece uma segunda natureza que materialmente demanda material biótico, abiótico, de origem natural ou antrópica, e energia, renovável ou não renovável com seu entorno e mais além, podendo adquirir abrangência local regional ou global (DELGADO–RAMOS, 2015).

O ecossistema urbano é composto por um conjunto de componentes biofísicos (OKE et al., 2017):

- a) Atmosfera Urbana;
- b) Biosfera Urbana;
- c) Hidrosfera Urbana;
- d) Solo (pedosfera e litosfera);
- e) Sistema Construído.

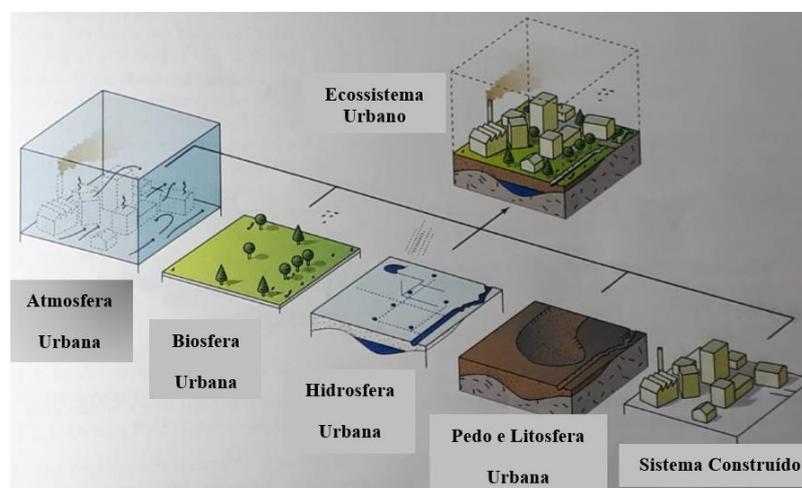


FIGURA 1 – Alterações que ocorrem na composição do Ecosistema Urbano.

FONTE: OKE et al., 2017, ADAPTADO PELO AUTOR.

O desenvolvimento urbano gera alterações no conjunto destes componentes biofísicos do ecossistema. Neste trabalho a atenção é voltada para a atmosfera urbana já que se busca pesquisar na cidade de Cuiabá as correlações entre as variáveis meteorológicas e a poluição atmosférica.

2.1.2. Metabolismo Urbano

O funcionamento da cidade implica em uma série de interações e processos. A partir de certo nível metabólico é inevitável o surgimento dos problemas ambientais,

como os resíduos urbanos gerados e a poluição atmosférica gerada (DELGADO-RAMOS, 2015). A cidade é um sistema integrado e aberto que importa e exporta massa e energia (WOLMAN, 1965), outros autores descrevem o metabolismo urbano, a reciclagem e o reaproveitamento de materiais e os vários processos que ocorrem em cada fluxo de matéria e energia (ZHANG, 2013).

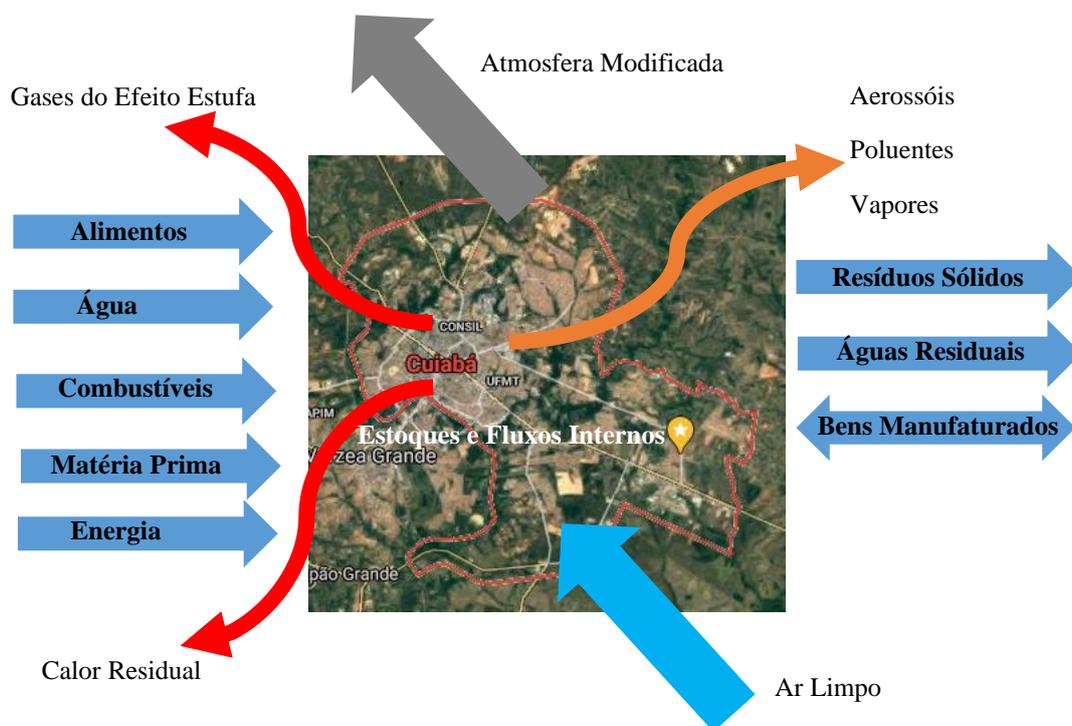


FIGURA 2 – Funcionamento do Ecossistema Urbano. Entradas e saídas de materiais e resíduos.

FONTE: CHRISTEN, 2014, ADAPTADO PELO AUTOR

A Figura 2 representa o ecossistema urbano no princípio da entrada e saída de materiais e energia. O metabolismo urbano tem como principais saídas do sistema: bens de produção, esgoto, resíduos sólidos, poluentes atmosféricos, vapores, aerossóis e gases de efeito estufa.

Junto com o crescimento dos espaços urbanos, ocorrem acentuadas modificações nas paisagens naturais. O fluxo de energia do antigo sistema natural, a primeira natureza, sofre alterações sendo transformado em um novo sistema, resultante da interação sociedade-natureza. Uma das consequências é a elevação das temperaturas do ar nas áreas urbanas, acima das temperaturas verificadas no entorno rural, o que ocasiona o fenômeno denominado ilha de calor urbano (ICU). Além de intensificar o desconforto térmico, as ICU criam uma atmosfera favorável ao aumento da concentração de poluentes (NETO, 2019).

2.1.3. Atmosfera Urbana

O estudo da atmosfera urbana é imprescindível para se compreender o funcionamento de uma cidade, de uma região, de um país ou mesmo do planeta. A qualidade do ar de uma cidade ou de uma região pode afetar ou ser afetada por características que ultrapassam as dimensões locais e adquire a escala global. Para maiores detalhes Oke et al. (2017) elenca uma série de poluentes do meio urbano com os respectivos efeitos sobre a saúde humana, sobre a infraestrutura, sobre o meio ambiente, e com as escalas de maior alcance poluidor: interno, local, urbano, regional ou global.

O CO é um poluente primário oriundo de combustão incompleta em motores de veículos, processos industriais e aquecimento doméstico e pode afetar a saúde de seres humanos e animais (OKE et al., 2017) e (CETESB, 2019). Os efeitos da degradação da qualidade do ar, oriunda do CO, podem ter abrangência local e urbana, pois contribui com o aumento de concentração de gases de efeito estufa, como o gás carbônico (CO₂) e o ozônio (O₃) quando oxidado (OKE et al., 2017). O relatório da CETESB (2019) aponta como fonte principal de CO a combustão incompleta em veículos automotores. As concentrações de monóxido de carbono e de material particulado em Cuiabá podem estar ligadas a duas causas principais: o número de queimadas em Cuiabá e no entorno (Figura 3) e a quantidade de veículos crescente nos últimos anos (Figura 4).

A legislação do Estado de Mato Grosso busca limitar a emissão de CO. A Lei Estadual Nº 9873 de 28/12/2012, adequa-se às resoluções do CONAMA e ao programa

do Governo Federal, PROCONVE, que instituiu programas de minimização de poluição veicular.

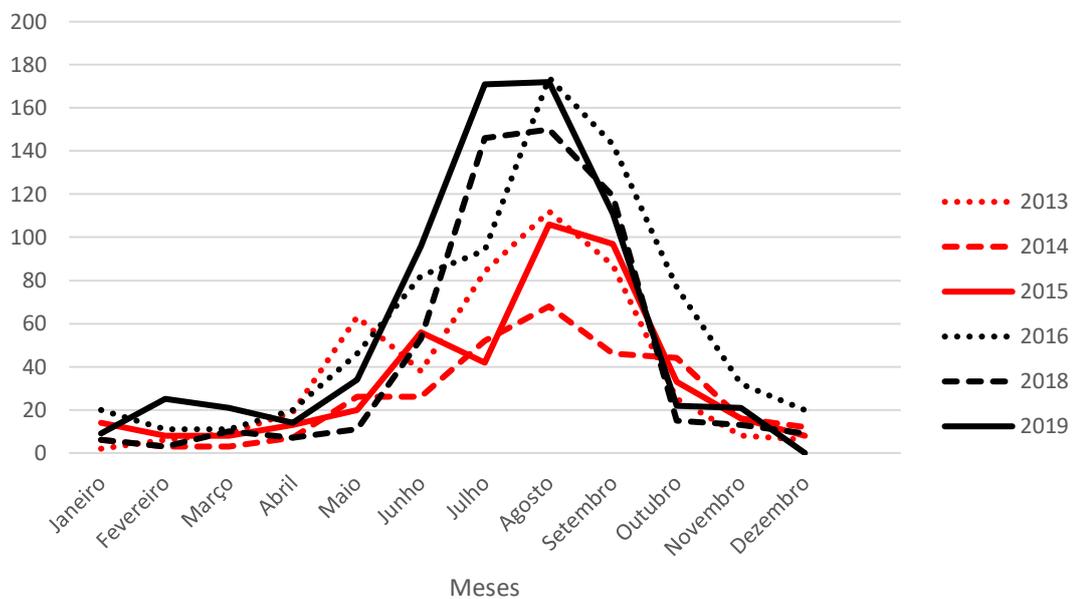


FIGURA 3 – Número de Queimadas em Cuiabá – MT e entorno nos últimos seis anos.

FONTE: CORPO DE BOMBEIROS – MT (2019)

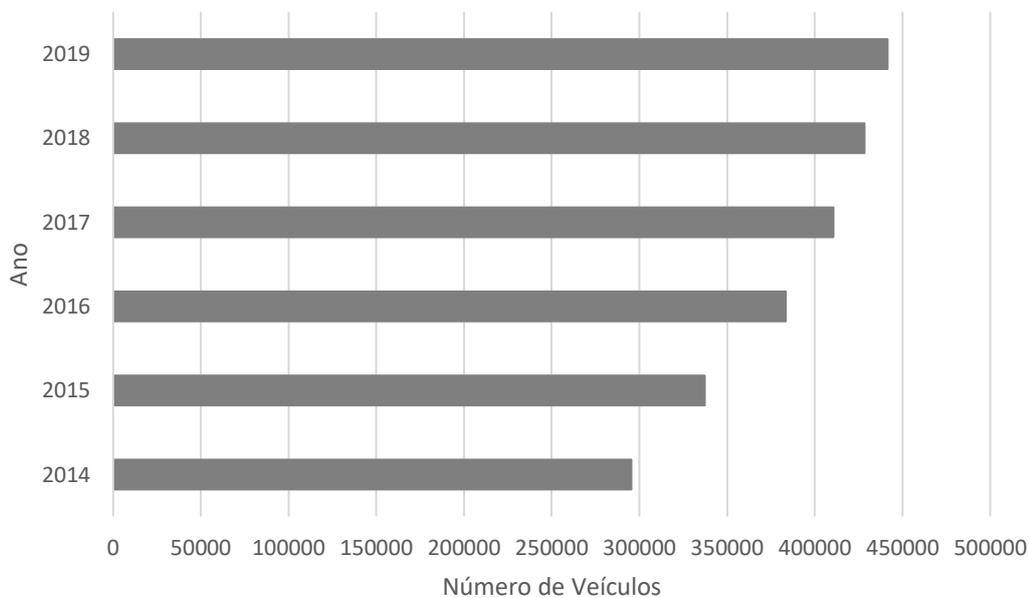


FIGURA 4 – Número de Veículos Automotores em Cuiabá – MT nos últimos seis anos.

FONTE: DETRAN – MT (2019)

Apesar da atuação no sentido de minimizar a emissão de poluentes em veículos automotores e de campanhas de combate as queimadas, as poucas medições que foram realizadas em Cuiabá, com publicações, apontam valores de concentração de CO bem acima dos valores divulgados pela SEMA-MT e de concentração de MP_{2,5} acima dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006). Ainda que as medições representem cenários pontuais, os valores obtidos por Almeida (2019), medições feitas em 2015 – 2016, iguais a 4.8 ppm para concentração de CO, estão bem acima das médias máximas divulgadas pela SEMA – MT, que não ultrapassam 0,6 ppm.

O material particulado MP_{2,5}, que é o material com diâmetro aerodinâmico médio inferior a 2,5 µm, pode ter origem primária, quando é emitido de forma direta, ou secundária, quando se origina a partir de reações químicas entre outros poluentes presentes na atmosfera. De forma primária ele pode ser gerado por incêndios de baixa temperatura, veículos a diesel, incineração de lixo doméstico, aquecimento ou resfriamento doméstico, estradas de terra e construções (OKE et al., 2017) em Cuiabá foi identificada uma participação importante das queimadas (MARQUES, 2011).

A principal origem do material particulado é de origem veicular, seja pela emissão direta ou pela formação secundária. A secundária se dá devido à liberação de gases, principalmente compostos orgânicos voláteis e dióxido de enxofre, que reagem na atmosfera gerando material particulado (CETESB, 2019). Outras fontes podem ser as queimadas urbanas ou rurais, os desgastes dos pneus e dos freios de veículos, a ressuspensão de poeiras depositadas em pavimentos e a formação de aerossóis secundários a partir de gases emitidos (CETESB, 2019).

A atmosfera urbana é a parte do planeta onde os moradores de uma cidade passam a maior parte, ou quase totalidade, de suas vidas. Todos têm acesso a ela ainda que muitos não percebam e a desconsiderem. A atmosfera urbana é “enxergada” quando a sua presença se traduz numa qualidade do ar perceptível que prejudique a qualidade de vida e o conforto ambiental dos cidadãos.

A climatologia urbana estuda dentre outros aspectos, os processos meteorológicos e os fenômenos atmosféricos (ARNFIELD, 2006). Estes processos e fenômenos são alterados quando se estabelece uma cidade. No que se referem às questões climatológicas, as diferenças entre dados climáticos do ambiente urbano comparado com o rural, demonstram que o clima nas cidades sofre influência do conjunto complexo da estrutura urbana (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Em forte perspectiva a atmosfera urbana é modificada por:

- a) Mudanças nas propriedades da superfície --- Forma Urbana;
- b) Emissões antropogênicas --- Função Urbana.

A forma urbana afeta a atmosfera na medida em que pode alterar os fluxos de matéria e energia. Em fina escala são os seguintes aspectos que resumem as alterações da atmosfera urbana (OKE et al., 2017):

- a) O tipo de uso do solo (construções, estradas, vegetação, pavimentação);
- b) A tipo da superfície de cobertura;
- c) Estrutura tridimensional das construções.

A compreensão de fenômenos de fluxo de matéria e energia na região mais próxima à superfície da terra passa pela compreensão da camada da atmosfera ou camada limite planetária que está em contato direto com esta superfície. A parte da camada de limite atmosférica que sofre a influência da área urbana é denominada de camada limite urbana (CLU) e pode variar de 1 a 2 km durante o dia e a noite algumas centenas de metros (OKE et al., 2017).

Os 10 % mais baixos da CLU é denominada Camada de Superfície (CS) e é nela que os efeitos da cidade são mais profundos e vão se diluindo na parte da camada sobrejacente a ela, a Camada de Mistura (CM). A CS pode ser dividida em duas subcamadas: a Subcamada Inercial (SI) e a Subcamada de Rugosidade (SR). A Figura 5, mostra esquematicamente a composição da camada limite atmosférica, durante o dia.

A SR apresenta de 1,5 a 3 vezes a altura média das edificações e elementos da Camada de Dossel Urbano (CDU). Isolar o efeito urbano sobre o clima a nível micro e/ou escala local não é uma tarefa fácil pois, no mesmo espaço, as interações têm, além

das alterações que ocorrem com a constituição do ecossistema urbano, aquelas que advêm das interferências meteorológicas e climáticas. Ultrapassar estas barreiras requer alta engenhosidade metodológica que pode se fundamentar em observações de campo, modelagem física, modelagem numérica ou generalização empírica (OKE et al., 2017).

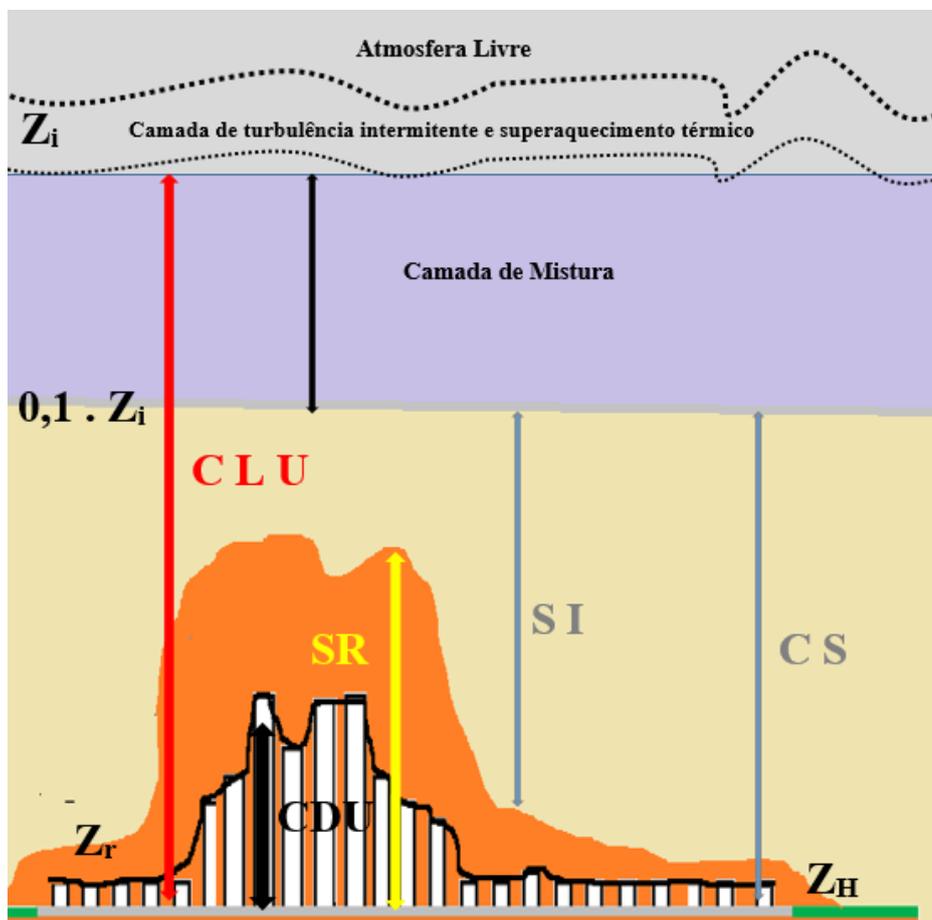


FIGURA 5 – Camada Limite Urbana durante o dia

FONTE: OKE et al., 2017. Adaptado pelo Autor.

CM -- Camada de mistura

CLU -- Camada limite urbana;

CS -- Camada de superfície;

SI -- Subcamada inercial;

SR -- Subcamada de rugosidade;

CDU – Camada de Dossel Urbano;

Z_i – Altura da CLU

Z_r – Altura da SR

Z_H – Altura do Dossel Urbano

A forma urbana compreende uma grande variação de construções, dimensões e materiais que interferem na rugosidade gerando efeitos de redução do fluxo de ar e um incremento nas turbulências. Os principais elementos que interferem

nesses comportamentos são as alturas das edificações (H) e as distâncias entre elas (W). Estes componentes em áreas mais densamente construídas podem alterar o fluxo de ar gerando circulações de microescala e limitando a circulação vertical, agravando questões microclimáticas e atmosféricas, formando plumas de calor e plumas de poluentes atmosféricos. A primeira pode constituir as ilhas de calor urbano a segunda pode aumentar as concentrações de poluentes atmosféricos alterando condições microclimáticas e afetando a saúde dos moradores da cidade. As emissões de poluentes e de calor, provenientes das atividades humanas, modificam as propriedades térmicas da atmosfera urbana (OKE et al., 2017).

A velocidade do vento pode afetar os processos de dispersão, mecanismos de remoção e formação química da atmosfera (GALINDO et al., 2010). Os vários microclimas de uma cidade são um fator crucial na compreensão da dispersão ou concentração de poluentes atmosféricos (MENDONÇA & CASTELHANO, 2016).

Outro aspecto que interfere na CLU é a função urbana. Isso está ligado às atividades exercidas na cidade, a vocação da cidade, se é industrial, de serviços, quais os serviços e espaços oferecidos aos que nela vivem, qual o meio de transporte predominante, qual a cultura local, enfim aspectos ligados ao dia-a-dia dos seus cidadãos, que podem agravar as questões microclimáticas e de poluição.

2.2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E AS INTERFACES COM AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E AS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS.

A concentração das atividades humanas nas cidades, de forma inevitável, resulta em emissões que alteram as composições térmicas e químicas da atmosfera urbana atingindo em um primeiro momento a CDU (OKE et al., 2017), impactando de forma direta as pessoas que vivem nas cidades, os cidadãos.

Essas emissões podem, a partir de determinadas concentrações, constituir-se como poluição atmosférica. Poluente atmosférico é qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade

ou às atividades normais da comunidade (Resolução CONAMA 491/2018). Os poluentes podem ser primários, quando emitidos diretamente pelo agente poluidor, ou secundários que são formados a partir de interações meteorológicas e químicas (OKE et al., 2017). A Resolução CONAMA 491/2018 estabelece os padrões de qualidade do ar vinculados a limites máximos de poluentes atmosféricos segundo o período de exposição.

A poluição do ar pode ser estudada em ambientes internos (“indoors”) ou externos (outdoors”). Os poluentes produzidos internamente contribuem para o agravamento da poluição externa do ar (“outdoor”) e os formuladores de políticas públicas devem considerar estes aspectos, da poluição interna, por meio de regulações que minimizem as emissões, estimulando a utilização de fontes de energia menos poluidoras, ou requerendo a instalação de filtros (OKE et al., 2017).

A poluição externa em muitas cidades, cujas concentrações de poluentes atmosféricos atingem a CLU, é predominantemente oriunda do tráfego de veículos automotores (CETESB, 2019), (UEDA & EDSON, 2011) e (ANDRADE et al., 2019). Os poluentes primários criados durante a combustão de gasolina, diesel e biocombustíveis (CO, NO_x, MP, PAHs, VOCs) surgem perto do nível da rua, mas seu destino depende muito dos padrões de fluxo de ar na CLU. Edifícios e árvores produzem turbulência mecânica considerável que podem melhorar a mistura e a diluição dos poluentes.

Segundo Oke et al. (2017) em comparação com ambientes fechados, a climatologia da poluição do ar nos espaços urbanos ao ar livre entre edifícios é mais complexa por várias razões:

- a) As fontes de emissão em um sistema urbano estão em vários locais. Por exemplo, as emissões podem se originar de prédios, veículos móveis próximos ao nível do solo e até mesmo de fontes acima da CDU que possam ser arrastadas para ela, além de haver contribuições biológicas de plantas e árvores;
- b) O fluxo de ar segue padrões complexos, portanto, a dispersão no CDU deve ser tratada como totalmente em 3D (três dimensões);
- c) O movimento de pessoas em um sistema de ruas as expõe a uma variedade extraordinária de condições ambientais transitórias.

A compreensão do clima de uma cidade nas suas várias escalas não é uma tarefa fácil. Além dos aspectos climáticos que na macroescala adquire contornos mais delineáveis, mais voltados a latitude, a topografia, aos biomas do entorno, e a própria série estatística das condições meteorológicas que possibilita a caracterização do clima em uma determinada localidade, depende também das condições meteorológicas e microclimáticas que estão mais próximas dos cidadãos no dia a dia e podem incorporar situações pontuais ligadas aos aspectos que compõem a camada de dossel urbano (CDU) nas suas várias interfaces. É na CDU que o cidadão vive e com as suas atividades ajuda a definir a função urbana da cidade, e neste contexto o local em que a maior parte da população do planeta vive deve-se constituir de tal forma a não prescindir de boas condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar e também de um ar com boa qualidade, ou seja, com concentrações de poluentes abaixo dos níveis prejudiciais à saúde.

A camada do dossel urbano é a zona de ocupação humana em que a qualidade do ar é crítica na avaliação das consequências para a saúde pública. Nessa camada os poluentes atmosféricos encontram uma grande variedade de condições de microescala que inibem ou aumentam sua diluição. Prever a dispersão e a ventilação dos poluentes na CDU, onde elas eventualmente se misturam com as emissões de fontes que estão acima da altura média das edificações, ou que estão pouco acima deste, torna-se um grande desafio (OKE et al., 2017).

Na compreensão do clima urbano muitas pesquisas, foram feitas, e têm sido feitas no sentido de compreender as correlações entre as variáveis meteorológicas, microclimáticas e as concentrações de poluentes atmosféricos no meio urbano. O conhecimento do clima urbano nas suas várias escalas não pode prescindir de estudos sobre as correlações que o clima tem com a poluição atmosférica. Muitos estudos atestam estas correlações.

Sharma et al. (2016) obtiveram correlações estatisticamente validadas com a aplicação da análise de regressão múltipla e da análise de componentes principais tendo obtido uma forte correlação negativa entre a velocidade do vento e a temperatura com as concentrações de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e uma forte correlação positiva da Irradiância Solar e a concentração de ozônio (O_3).

Binaku et al. (2013) aplicou a Análise de Componentes Principais (ACP) e a Análise de Correlação Canônica (ACC) entre as concentrações de ozônio, acetato, metanoato, nitrato, sulfato e oxalato com os dados de temperatura do ar, velocidade do vento, direção do vento e umidade relativa do ar. Foram obtidas três funções canônicas significativas, nas quais os pesos canônicos, verificou-se que temperatura, oxalato, óxidos de nitrogênio e ozônio têm correlações lineares positivas moderadamente fortes. A baixa velocidade do vento também influenciou nas variáveis. Os autores ainda concluíram que os resultados estatísticos de ambas as análises mostram que as relações locais não são consistentes e mudam durante o tempo e apontam a importância de se concluir estudos de poluição atmosférica a longo prazo, pois as fontes, regulamentações e poluentes mudam ao longo do tempo.

A poluição é afetada por vários fatores incluindo principalmente as condições meteorológicas, fontes e intensidade da poluição (LUVSAN, 2012). A chuva e o vento atuam na difusão dos poluentes e no inverno a qualidade do ar é pior. Os estudos de poluição do ar são complexos e necessários, pesquisas continuam aparecendo e é necessária a compreensão de forma mais abrangente dos mecanismos da poluição (YANG et al., 2017).

Wang et al. (2018) na análise canônica de correlações entre variáveis meteorológicas e de concentração de poluentes identificou que a umidade relativa do ar na primavera e no verão teve grande influência na concentração de material particulado $MP_{2,5}$ e que o aumento da umidade relativa pode reduzir a concentração desse material particulado. No outono e inverno, no local da pesquisa, a concentração de ozônio O_3 está intimamente relacionado à temperatura do ar, porém o estudo desta correlação deve ser aprofundado.

Para Xue et al. (2015) em pesquisa feita em Shanghai, na China, as variáveis meteorológicas guardaram correlação com as concentrações de poluentes. O ponto de partida foi detectar a visibilidade da cidade, reduzida pela poluição, e correlacioná-la com os fenômenos meteorológicos, e numa análise estatística de componentes principais, foram verificadas as correlações entre variáveis meteorológicas e a poluição, principalmente o aumento de concentração de poluentes com a baixa velocidade do vento.

A poluição na atmosfera urbana tem forte correlação com a velocidade do vento e a turbulência, estas variáveis meteorológicas e microclimáticas atuam na dispersão minimizando os impactos locais – microescala e regionais – mesoescala (Figura 6).

Para pequenos valores de velocidade do vento e turbulência a cidade fica imersa numa cúpula de poluição (“dome pollution”). A presença do vento pode dispersar os poluentes e formar uma pluma de poluição, “plume pollution”, (OKE et al., 2017).

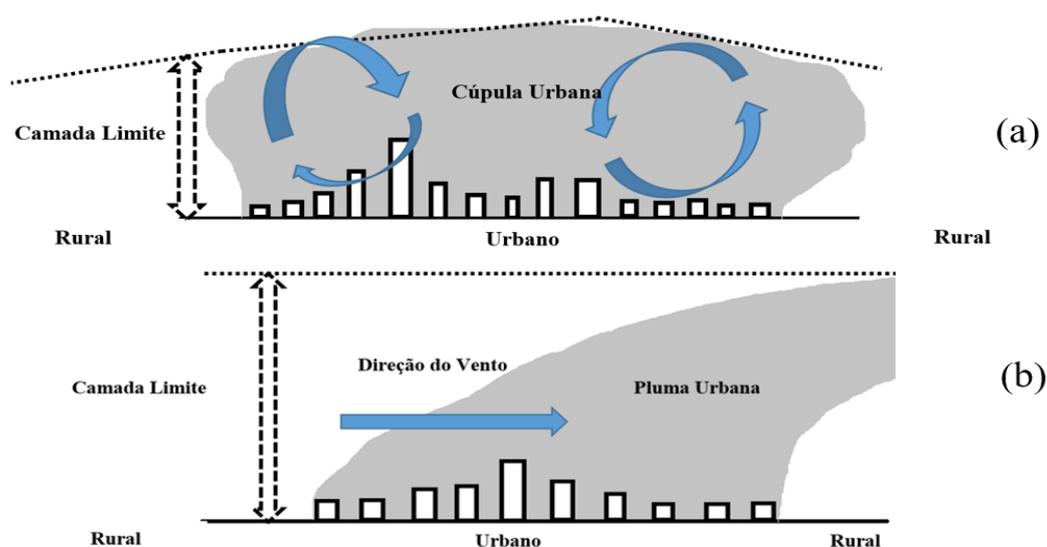


FIGURA 6 – Cúpula urbana (ambiente sem vento) e Pluma Urbana (ambiente com vento).

FONTE: OKE et al., 2017. Adaptado pelo Autor.

A variação de temperatura em espaços urbanos está associada à forma e função urbana que pode propiciar a formação de ilhas de calor, esta é apontada como a principal causa de diferenças de temperatura entre a área urbana e a área rural (OKE et al., 2017), porém o próprio autor cita estudos que atribuem o agravamento das ilhas de calor em espaços com maior concentração de poluentes.

O relatório da CETESB (2019), sobre a qualidade do ar no Estado de São Paulo, aponta que, durante o inverno de 2018, ocorreu um episódio em que foram registradas concentrações elevadas de partículas inaláveis (MP_{10}) e de partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$), em vários dias consecutivos, em várias regiões do estado, entre os dias 21/06 e 30/07/2018. No período, houve o predomínio de uma massa de ar quente e seco em

todo o estado, no qual, em vários dias, principalmente no mês de julho, as condições meteorológicas foram desfavoráveis à dispersão de poluentes primários, dias esses em que houve estabilidade atmosférica, baixa ventilação e alta porcentagem de calmaria.

Essa situação meteorológica, associada às emissões dos poluentes por fontes móveis e fixas e somada à ausência de precipitação por período prolongado, propiciou a ocorrência de focos de queimadas generalizadas em diversas regiões do interior do estado, fez com que fossem observadas concentrações mais elevadas de material particulado. Esta ocorrência de queimadas mais as condições meteorológicas descritas, velocidade do vento reduzida, são similares as que ocorreram em Cuiabá, período que ocorreram o crescimento no número de queimadas urbanas, no período de junho a setembro de cada ano (BOMBEIROS, 2019).

Chegar ao tipo e tamanho do material particulado por fonte é um grande desafio. A comparação dos materiais emitidos pelas fontes móveis ou fixas deve ser visto de forma ponderada. Segundo a OMS (WHO, 2006), a razão entre as concentrações de material particulado, $[MP_{2,5}] / [MP_{10}]$, é de 0,5 nas zonas urbanas de países em desenvolvimento e corresponde ao limite inferior da faixa encontrada em regiões urbanas de países desenvolvidos (0,5-0,8). Esta correlação significa que o aumento da concentração de um tipo de material particulado tem correlação com o outro, ou seja, além da poluição informada no boletim diário da SEMA – MT tem o acúmulo dos materiais particulados de outros diâmetros que podem piorar ainda mais a qualidade do ar.

O vento interfere na dispersão dos poluentes atmosféricos e depende da forma urbana. Assim a concentração de poluentes atmosféricos varia com a geometria da cidade. Os cânions influenciam na direção e velocidade dos ventos. Além das características H e W, a disposição do cânion também se mostra como um fator importante nessa definição. A disposição dos cânions, em relação à direção do vento predominante na região, bem como o sombreamento promovido pelos cânions tem grande importância nos parâmetros climáticos no local estudado (AGUIAR et al., 2017), e de forma indireta estes efeitos podem afetar os parâmetros da poluição atmosférica.

Outro aspecto importante se refere ao fluxo de energia nas cidades, as edificações e os pavimentos absorvem energia da radiação solar (ondas curtas) e cedem calor sensível e calor latente para atmosfera com a possibilidade de alterar a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Após o meio dia ocorre um pico no calor sensível enviado a atmosfera (ARNFIELD, 2006) com potencial para alterar a umidade relativa do ar e a temperatura do ar.

Ao relatar possível explicação sobre o intenso transporte de calor e poluentes atmosféricos, Oke et al. (2017), aborda a absorção da radiação de ondas curtas que aquece os aerossóis e estes emitem uma quantidade equivalente de radiação de ondas longas, parcialmente até a superfície e parcialmente em camadas mais altas da atmosfera. A Figura 7 mostra o diagrama esquemático dos efeitos radiativos da CLU poluída nos processos de radiação de ondas curtas (esquerda) e ondas longas (direita). Observe que, na prática, nem todos esses fluxos de radiação podem ser medidos separadamente e, embora desenhados como um único fluxo, a transferência geralmente é difusa. Da mesma forma, enquanto os processos de dispersão, absorção e emissão são desenhados em um ponto específico, na realidade eles são contínuos na CLU. Os perfis em cada local antecipam o sinal e a forma do impacto líquido da troca de radiação na mudança da temperatura do ar.

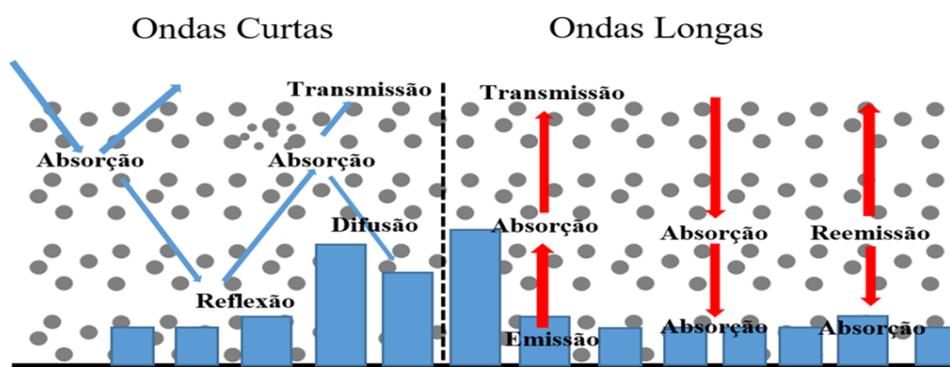


FIGURA 7 – Ondas longas e ondas curtas na atmosfera urbana

FONTE: OKE et al., 2017. Adaptado pelo Autor.

A pesquisa realizada por Kuo et al. (2017) em Wuhan na China aponta que a poluição é resultado do acentuado processo de urbanização, industrialização e o desenvolvimento do transporte e que o material particulado é formado a partir de precursores gasosos, principalmente CO, NO_x e SO_x, e sofrem interferência das

variáveis meteorológicas que atenuam ou aumentam a concentração de material particulado. Elevadas temperaturas aumentam as concentrações de MP e a umidade relativa do ar e velocidade do vento tem correlação negativa com a concentração de MP.

Em Rondonópolis – MT as queimadas, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação exercem influência sobre as concentrações de material particulado: MP_1 , $MP_{2,5}$ e MP_{10} (PIMENTEL et al., 2018)

Políticas públicas que controlem as emissões e a forma urbana podem reduzir o agravamento de pontos com altas concentrações de poluentes nas áreas urbanas, além de melhorar os efeitos das ilhas de calor urbano (MACKENZIE et al., 2019).

Os aumentos da velocidade do vento e da temperatura do ar resultaram na diminuição das concentrações de poluentes (TAI et al., 2010) e (HE et al., 2017).

No Brasil, a principal fonte de poluição do ar é a combustão de combustíveis (etanol, gasolina e diesel). Pesquisa feita em grandes cidades brasileiras demonstrou que a maior parte das $MP_{2,5}$ emitido, está ligado ao transporte veicular (ANDRADE et al., 2012).

Em Cuiabá há um período de intensificação das queimadas e um agravamento da umidade relativa do ar (valores reduzidos de UR) e a temperatura do ar (valores elevados de T). Neste período a cidade fica imersa em uma névoa seca, o ambiente parece se equivaler a uma cúpula urbana de poluentes (Figura 8 b).



FIGURA 8 – Fotos de Cuiabá – MT tiradas em dezembro (a) e setembro (b) de 2019

FONTE: Elaborado pelo autor.

As fotos foram tiradas no mesmo horário com a mesma câmera, nos dias 15/09/2019 e 15/12/2019 às 14 h UTC.

2.3 A QUALIDADE DO AR E SUAS IMPLICAÇÕES

A forma e a função urbana definidas por Oke et al. (2017) voltadas aos aspectos meteorológicos e microclimáticos, estruturadas sobre os princípios da física e da química, tem um sentido social que extrapola estes contornos. A cidade, em suas forma e função, deve, como organismo, possibilitar a boa qualidade de vida dos seus habitantes com políticas públicas que assegurem condições e caminhos que apontem para este objetivo. Esta construção passa pelo estabelecimento de instrumentos que possibilitem as medições e comparações de concentrações dos poluentes na atmosfera. O conhecimento das condições da qualidade do ar fornece aos gestores e tomadores de decisões os caminhos a serem construídos e geridos no sentido da cidade ser uma bom lugar para se viver.

Na forma e função urbana se estabelece um componente fundamental que pode alterar, para melhor ou pior, as condições de vida dos habitantes de uma cidade, que é a qualidade do ar, a qual é definida a partir de padrões estabelecidos por organizações internacionais ou por políticas públicas nacionais ou locais.

Os padrões de qualidade do ar (PQAr), segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar (CETESB, 2019). A OMS trabalha o estabelecimento de padrões que busquem atingir as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública (WHO, 2006).

A má qualidade do ar é uma característica que atinge a maioria das grandes cidades do mundo. Há uma longa história de gerenciamento da qualidade do ar urbano usando uma ampla variedade de ferramentas de planejamento. O risco público total associado a um poluente atmosférico específico depende de vários fatores, incluindo a intensidade das emissões, a diluição do poluente atmosférico, a transformação física e/ou química, a toxicidade e a população exposta (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Embora a química e a toxicidade não possam ser gerenciadas, pode-se gerenciar as emissões, a diluição e a localização da população com relação às emissões (OKE et al., 2017).

A qualidade do ar tem implicações que afetam a saúde da população. Nos últimos anos as concentrações de poluição do ar urbano aumentaram globalmente. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), esse aumento pode ser estimado em 8% de 2008 a 2013 e mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas, onde a poluição do ar é monitorada, estão expostas a níveis que excedem os limites dados pela OMS. A poluição do ar urbano é um problema ambiental grave e a diminuição da qualidade do ar aumenta o risco de derrame, de doenças cardíacas, de câncer de pulmão e doenças respiratórias crônicas e agudas, incluindo asma. A queda da qualidade do ar está relacionada principalmente ao aumento de poluentes oriundos dos transportes (NUÑEZ-ALONSO et al., 2019).

Revisão bibliográfica feita por Dapper et al. (2016) relata vários estudos realizados em municípios do Estado de São Paulo, que apontam a correlação entre doenças e a poluição atmosférica. A exposição à poluição atmosférica pode causar

acidente vascular encefálico (GAVINIER E NASCIMENTO, 2014) e (AMÂNCIO & NASCIMENTO, 2014), pneumonia em crianças (NEGRISOLI E NASCIMENTO, 2013), aumento de mortalidade por câncer (YANAGI et al., 2012), doenças respiratórias e cardiovasculares (NARDOCCI et al., 2013). Além de perdas que podem ser irreparáveis, do ponto de vista da gestão, pois há implicações nos gastos com a saúde. A poluição do ozônio causa doenças cardiovasculares e crônicas das vias respiratórias inferiores (LO E QUATTROCHI, 2003). As queimadas nas regiões da Amazônia Legal se constituem como um problema de saúde pública, há uma associação entre as queimadas e as internações por problemas respiratórios e cardiovasculares em Mato Grosso (RODRIGUES, 2017).

As cidades estão sujeitas ao efeito de ilha de calor urbano e alta concentração de poluentes atmosféricos. Ambos deterioram a saúde humana de seus habitantes (STEENEVELD et al., 2018). Os índices de qualidade do ar são definidos com base nos efeitos que têm sobre a saúde da população. O relatório da CETESB (2019), a OMS (2006) e a resolução 491/2018 do CONAMA, são alguns exemplos de dispositivos que definem padrões classificatórios para a qualidade do ar utilizados no Brasil.

Em Mato Grosso a qualidade do ar é disponibilizada diariamente pela SEMA-MT com base nas concentrações de Monóxido de Carbono e de Material Particulado MP_{2,5}, a partir dos limites definidos pela OMS (2006).

2.4 A QUALIDADE DO AR EM CUIABÁ

Na pesquisa bibliográfica sobre a poluição atmosférica em Cuiabá o que se observa é que as informações são escassas, quando se pretende estudos oriundos de medições realizadas. Não obstante podem ser relacionadas algumas pesquisas com medições. Em uma delas realizada no mês de Junho/2015 por Almeida (2019), foram obtidas as concentrações de CO e de MP_{2,5} respectivamente iguais a 4,2 ppm e 12 µg.m⁻³, os valores para esses mesmos poluentes em janeiro de 2016 foram respectivamente iguais a 4,8 ppm e 31,4 µg.m⁻³. Os resultados de concentração de CO obtidos na época das medições são bem maiores que as concentrações divulgadas nos boletins da SEMA-MT no período de 2017 a 2019. As medições de Almeida (2019)

foram feitas em outro período de tempo e realizadas em três pontos de Cuiabá: Parque Mãe Bonifácia, Jardim Botânico e Praça Bispo Dom José.

A ocorrência das queimadas é um fator importante para ocorrência de eventos de poluição atmosférica em Cuiabá, pois durante a estação seca (maio a setembro), tem-se um grande número de focos de queimadas em Cuiabá e no seu entorno (MARQUES, 2011). Considerando os parâmetros da OMS (2006) para material particulado inalável, verificou-se que existem duas realidades em Cuiabá, sendo uma existente durante a estação chuvosa em função das baixas concentrações de $MP_{2,5}$ e de MP_{10} , atendendo aos parâmetros da OMS (2006), e outra realidade que é a encontrada durante a estação seca, onde as concentrações superam os parâmetros estabelecidos, seja pela OMS ou pela resolução do CONAMA n° 491/2018, chegando a concentrações superiores a $150 \mu\text{g m}^{-3}$ de MP_{10} e superiores a $77 \mu\text{g m}^{-3}$ para $MP_{2,5}$ (MARQUES, 2011). Nas amostras coletadas no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, no período de janeiro de 2008 a novembro de 2009 e balanços químicos realizados, foram obtidos resultados que apontam que 34% do $MP_{2,5}$ é oriundo das queimadas urbanas (MARQUES, 2011).

A Secretaria Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA – MT) realizou o monitoramento da qualidade do ar em Cuiabá, MT, de 18/09/2007 a 23/09/2007, com amostradores de poluentes atmosféricos no centro de Cuiabá, os quais resultaram em valores acima dos padrões recomendados pela OMS e definidos pela resolução 491/2018, em alguns tipos de poluentes. A concentração de partículas totais em suspensão PTS, chegou a $418 \mu\text{g m}^{-3}$, e a de CO, chegou a 50 ppm, valores bem acima dos limites recomendados pela OMS (SOUSA et al., 2008).

As queimadas urbanas são agravadas por condições meteorológicas específicas, como a falta de precipitação, elevada velocidade do vento e baixa umidade relativa do ar, além de estarem relacionadas com atividades humanas. O número de queimadas no município de Cuiabá-MT é elevado na estação seca, afetando a saúde da população (MACHADO et al., 2014).

Conforme Machado et al. (2014), um estudo realizado em Cuiabá no ano de 2007 apontou maior ocorrência de focos de calor na estação seca (maio a setembro) e que:

- a) A qualidade do ar era inadequada, com alta concentração de material particulado em suspensão na atmosfera, ultrapassando os padrões primários e secundários de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução nº 03/1990 do CONAMA, atualmente substituída pela Resolução CONAMA nº 491/2018;
- b) A velocidade dos ventos apresentou valores baixos, impedindo o transporte e diluição dos poluentes atmosféricos, permitindo desta maneira maior concentração dos níveis de poluentes na atmosfera;
- c) A precipitação apresentou característica de chuva ácida, cujo pH registrado foi de 4,2;
- d) As temperaturas elevadas acima da média anual;
- e) A umidade relativa do ar era baixa.

A qualidade do ar em Cuiabá apresenta padrões de qualidade inferiores, abaixo dos índices de qualidade recomendado pela OMS e estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018, demonstrando a necessidade de implantação de um Programa de Monitoramento de Poluentes Atmosféricos e ações de mitigação na emissão de poluentes atmosféricos (ALMEIDA, 2019). O Anexo I, da Resolução CONAMA 491/2018, estabelece como padrão final da qualidade do ar os seguintes limites com relação aos poluentes atmosféricos, objetos desta pesquisa:

- a) MP_{2,5}: Para um período de referência de 24 horas a concentração máxima de 25 µg.m⁻³;
- b) CO: Para um período de referência de 8 horas a concentração de 9 ppm.

As queimadas afetam a qualidade do ar e têm sido uma preocupação constante no período da seca, quando parte dos danos no ecossistema chegam a serem sentidos quase que na totalidade dos municípios integrantes do Estado de Mato Grosso, que ficam cobertos de fumaças (SANTIAGO, 2015), e refletem vários problemas de saúde para a população, como por exemplo, mal-estar, dor de cabeça, intoxicação pulmonar, tosses e dificuldade para respirar (PIMENTEL et al., 2018).

As informações dadas sobre a Qualidade do Ar em Cuiabá-MT vêm por meio de boletins diários disponibilizados pela SEMA – MT e informações diárias do CPTEC – INPE (Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais) resultantes da utilização de método de modelagem de poluentes na atmosfera mais os dados das emissões de poluentes. Este método de estimativa de poluentes deveria ser um método complementar ao

monitoramento, pois as medições locais são indispensáveis para correlacionar os dados estimados com os dados reais, provendo as devidas validações e os respectivos ajustes.

2.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E DA QUALIDADE DO AR

O estudo de uma cidade, no que se refere aos comportamentos climáticos, meteorológicos, microclimáticos e de poluição atmosférica é de extrema complexidade por se tratar de um sistema físico aberto com as várias interações, internas e externas. A representação mais adequada deve estar estruturada de forma multivariada. A maioria dos estudos ecológicos e ambientais produz dados multivariados (GOTELLI e ELLISON, 2011).

Normalmente os modelos que representam uma cidade estabelecem situações de contorno, aproximações e estas impõem de forma inevitável a possibilidade de distorções, as quais requerem calibrações e validações a partir de redes de medições fixas e móveis. Mesmos em locais onde se pode estabelecer redes de monitoramento não é possível prescindir da modelagem numérica da poluição atmosférica. A modelagem permite resultados mais abrangentes e com resposta mais eficiente aos cidadãos (ADAMS e KANAROGLOU, 2016). Outro aspecto é que a cidade é um organismo “vivo”, as condições microclimáticas de hoje não serão iguais às de seis meses à frente. Assim a formação de uma rede de medições mais informações da forma e função urbanas, mais as características meteorológicas e microclimáticas associadas a um modelo numérico, seria o instrumento ideal para os gestores e tomadores de decisão da cidade na gestão e planejamento.

Mato Grosso não dispõe de uma rede de monitoramento, assim em Cuiabá-MT a qualidade do ar é apurada a partir das concentrações de MP e CO, obtidos a partir do modelo CATT-BRAMS e comparado aos padrões estabelecidos pela organização mundial da saúde (SEMA-MT, 2019, Boletins de Qualidade do Ar). O modelo BRAMS é baseado no Regional Atmospheric Modeling System (RAMS, Walko et al., 2000) com funcionalidades adaptadas para os trópicos e subtropicais (CPTEC/INPE, 2019). O BRAMS é acoplado ao modelo de transporte de traçadores atmosféricos CATT (Coupled Aerosol and Tracer Transport model) formando o modelo CATT-

BRAMS, que é resultado dos trabalhos de Longo (1999) e Freitas (1999) e pode ser visto em detalhes em Freitas et al. (2009) e Longo et al. (2010).

O modelo é utilizado para, a partir de um valor médio, dar uma única classificação da qualidade do ar em toda a área urbana de Cuiabá. Quando as informações das concentrações de poluentes são apresentadas como um valor único para uma região inteira, elas não informam a variação espacial dentro da região. Sem um entendimento da variação local, os residentes só podem tomar uma decisão parcialmente informada ao escolher as atividades diárias. O valor único é normalmente fornecido quando há um número limitado de unidades de monitoramento ativas na área, no caso de Cuiabá-MT, essa rede de monitoramento móvel e fixa inexistente e a única informação governamental são os valores obtidos a partir do modelo CATT-BRAMS (ALMEIDA, 2019) e (MARQUES, 2011).

Em Cuiabá-MT há um grande caminho a ser trilhado no que se refere ao conhecimento da qualidade do ar de forma mais abrangente e mais próxima da realidade, primeiro deve-se buscar a calibração e validação do modelo CATT-BRAMS para as condições meteorológicas, emissões antropogênicas de poluentes atmosféricos e queimadas urbanas e rurais e a prática de produção agrícola no entorno além da indústria de cimento, as duas atividades realizadas especialmente em altitudes maiores que a da baixada cuiabana (MARQUES, 2011). Primeiro, este possível ajuste deve ser precedido pela constituição de uma rede de medição fixa e móvel na área urbana de Cuiabá, algo que o orçamento do Estado de Mato Grosso e do Município de Cuiabá não prevêem de forma direta para o próximo ano. Segundo, a construção de modelos na escala micro que considerem além das condições meteorológicas, as fontes poluidoras e a forma urbana, as quais têm implicações microclimáticas (ADAMS & KANAROGLOU, 2016).

Mesmo com a implantação de uma rede de monitoramento, apenas as observações não são suficientes para avaliar a qualidade do ar em uma cidade. A modelagem numérica na microescala é necessária para complementar uma rede de observações e avaliar a representatividade de seus locais de medição. Os modelos em microescala também podem orientar estratégias de gerenciamento da qualidade do ar na escala de ruas e quarteirões urbanos (OKE et al., 2017).

A dificuldade para se verificar a qualidade do ar está cercada de vários fatores. Um dos principais está ligado à rugosidade do dossel de uma cidade, seja pelas condições de relevo ou pela forma da cidade. A forma urbana determina uma série de fenômenos em escala micro, local e meso, e podem trazer uma série de alterações, seja nas concentrações de poluentes primários, na sua difusão ou na própria formação dos poluentes secundários, além de alterações microclimáticas e meteorológicas.

Para Oke et al. (2017) o fluxo de ar do cânion inclui vórtices de canalização e recirculação, incluindo possíveis efeitos térmicos devido aos padrões de luz solar e sombra criados na CDU. Diante dessas circunstâncias, medir e modelar a qualidade do ar a que a população urbana está exposta na CDU é uma tarefa difícil, no entanto, sem essas avaliações, não é possível gerenciar as emissões no sentido de amenizar as consequências danosas à saúde pública. As observações da qualidade do ar devem ter quantidade de dados suficientes para garantir que a variabilidade espacial e temporal das concentrações de poluentes no ar na CDU seja conhecida. Portanto, as observações devem considerar pontos de acesso e episódios problemáticos (que podem ser localizados ou de curta duração).

O monitoramento da poluição do ar é frequentemente realizado usando uma rede de observação composta por estações fixas implantadas na CDU para capturar as concentrações médias e extremas dos poluentes atmosféricos. Essas estações podem ser de dois tipos: Estações urbanas de fundo que representam concentrações típicas que alcançam a maioria das pessoas. As estações são geralmente colocadas em pátios, parques ou outros locais longe de fontes significativas de poluição (como estradas principais). Eles capturam o sinal de média espacial representativo da extremidade inferior das concentrações tipificando a escala local. (OKE et al., 2017)

Estações de beira de estrada são frequentemente usadas para medir pontos de poluição mais elevada; aqueles lugares onde se espera que as concentrações sejam mais altas e que um número significativo de pessoas seja regularmente exposto. As estações estão tipicamente localizadas em uma faixa de pedestres ao longo de ruas movimentadas selecionadas, perto das faixas de tráfego e com as entradas do sensor a 1,5 e 3 m acima do solo. Estações similares podem ser colocadas na proximidade de grandes indústrias. Tais redes de estações fixas são frequentemente complementadas

por observações móveis ou fixas de curto período que são utilizadas para monitorar os efeitos de mudanças no ambiente urbano (por exemplo, novos regulamentos de tráfego ou projetos de construção em larga escala) (OKE et al., 2017).

A qualidade do ar nas ruas recebeu atenção especial devido à exposição dos cidadãos a um ambiente confinado e à intensidade de atividades próximas ao nível do solo que geram poluentes atmosféricos. Os efeitos das emissões de tráfego em ruas longas e relativamente estreitas (pequena proporção de W/H) têm sido bem estudados porque a mistura limitada pode resultar em redução da qualidade do ar.

Segundo Oke et al. (2017) os modelos numéricos de qualidade do ar nas escalas urbana e regional são ferramentas necessárias para prever a qualidade do ar e orientar estratégias de gestão das emissões. Geralmente esses modelos combinam uma representação da dinâmica da atmosfera, da química atmosférica e dos inventários de emissões urbanas em uma forma física para prever a concentração de poluentes do ar no espaço e no tempo.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS CORRELAÇÕES ENTRE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS

A matemática é a linguagem da precisão; é o vocábulo indispensável daquilo que conhecemos.

Karl Wilhelm Theodor Weierstrass, 1841.

A construção de um modelo matemático capaz de representar uma cidade na sua compreensão microclimática, meteorológica e de poluição atmosférica é uma tarefa que estabelece grandes desafios. Deve ser abrangente e dinâmico servindo para fundamentar diretrizes aos gestores e tomadores de decisões da localidade e permear as alterações da cidade na sua forma e função, e ser capaz de responder a estas alterações.

Obviamente quanto mais ampla é a representação das variáveis que compõe uma cidade, a partir de dados consolidados por medições fixas e/ou móveis, melhor será o modelo que a representará. O caminho para construção deste modelo tem como passo inicial a análise estatística dos dados já consolidados. Ainda que na própria

análise estatística se conviva com a possibilidade do erro, e se trabalhe com as probabilidades e os poderes de um teste estatístico ao responder de forma correta ou incorreta um determinado comportamento. Ao se testar uma hipótese nula em um teste estatístico pode-se errar na sua aceitação ou na sua rejeição (HAIR et al., 2009). A análise estatística possibilita o levantamento das variáveis respostas e predictoras (dependentes e independentes) e as possíveis correlações. Este pode ser o ponto de partida para se compreender a cidade.

Dada a complexidade das variáveis contidas em uma área urbana e nas interfaces entre aspectos meteorológicos, microclimáticos e de concentração de poluentes a análise deve ser multivariada. Em estudos ecológicos e ambientais frequentemente se tem múltiplas variáveis respostas e uma ou mais variáveis predictoras, o que impõe a necessidade da análise ser multivariada (GOTELLI E ELLISON, 2011).

Quando as variáveis de um mesmo conjunto têm correlações entre si, ocorre o efeito da multicolinearidade. Em regressões múltiplas as variáveis predictoras não devem ser correlacionadas uma com as outras (GOTELLI E ELLISON, 2011). O mesmo autor estende, no caso da correlação canônica, o estabelecimento de erros nos dois conjuntos, ou seja, as variáveis respostas e as variáveis predictoras. Assim o efeito multicolinear poderá ocorrer nos dois conjuntos de dados a serem analisados. Uma possível análise estatística que não abranja e minimize estas distorções, poderá levar a resultados que não representem as ocorrências práticas.

Vários trabalhos que avaliam as correlações entre variáveis meteorológicas e microclimáticas com a poluição atmosférica, variáveis microclimáticas e uso do solo, utilizam a Análise de Correlação Canônica (BINAKU et al., 2013), (NÚÑEZ-ALONSO et al., 2019), (LO & QUATTROCHI, 2003), (BINAKU & SCHMELING, 2017), (MACKENZIE et al., 2019), (HINOJOSA-BALIÑO et al., 2019).

No geral a Análise de Correlação Canônica (ACC) gera relacionamentos multivariados, não representados na estatística descritiva, sendo útil na compreensão da variabilidade da poluição. A ACC e outras técnicas estatísticas multivariadas são usadas para descobrir relações subjacentes existentes em grandes conjuntos de dados, que não são encontradas usando métodos descritivos tradicionais. As informações

redundantes são eliminadas, tornando os dados mais gerenciáveis para interpretação (BINAKU et al., 2013).

Estruturas complexas de dados multivariadas são melhor compreendidas pelo estudo de projeções de baixa dimensão. Para um estudo de dois conjuntos de dados, podemos perguntar que tipo de projeção de baixa dimensão ajuda a encontrar possíveis estruturas articulares para os dois conjuntos. A análise de correlação canônica é uma ferramenta padrão de análise estatística multivariada para descoberta e quantificação de associações entre dois conjuntos de variáveis (HÄRDLE E SIMAR, 2003).

A análise de correlação canônica deriva de relações lineares que existem entre dois conjuntos de dados, cada um contendo várias variáveis. Um conjunto contém variáveis classificadas como preditoras ou variáveis independentes, enquanto o outro conjunto de dados de variáveis são as variáveis dependentes ou de respostas (HAIR et al., 2009).

Os pesos canônicos derivados de cada variável original expõem a correlação máxima presente entre combinações lineares das variáveis preditoras e de respostas. Quanto maior o peso canônico, mais influente é a variável original associada. Cada par de combinações lineares é chamado de função canônica ou par variável canônico. O primeiro par variável canônico abrange a máxima correlação encontrada nos dados originais. Cada par de variáveis canônicas sucessivas representa a correlação máxima entre as variáveis sem repetir as informações explicadas nos pares de variáveis anteriores (HAIR et al., 2009).

Mais detalhes sobre o ACC podem ser encontrados em (JOHNSON E WICHERN, 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O que se pretende nesta pesquisa é analisar as correlações entre a poluição atmosférica e as variáveis meteorológicas e microclimáticas. Na consecução deste objetivo e submetido às limitações existentes, financeiras e práticas, para conclusão da pesquisa, foi elaborado um desenho metodológico que pudesse constituir o banco de dados e instrumentalizar a pesquisa.

No desenho metodológico se considerou que estas correlações dependem das variáveis meteorológicas, das variáveis microclimáticas, e das concentrações de poluentes. Ocorre que essas grandezas têm suas interdependências: i) as variáveis meteorológicas tendem a se comportar dentro das características climáticas da região; ii) as variáveis microclimáticas dependem das características climáticas adicionadas às alterações que ocorrem pela composição do dossel urbano, nos seus vários microclimas, definidos fortemente pelo uso e ocupação do solo; iii) as variáveis associadas às concentrações de poluentes têm intrincada e complexa variação que passa pelas características físicas que alteram a dispersão e/ou concentração de poluentes, e das características químicas que alteram as concentrações de poluentes primários e secundários e dos aspectos meteorológicos e microclimáticos que afetam essas transformações físicas e químicas.

O próprio Oke et al. (2017) atribuem como altamente engenhoso o desenho metodológico para se buscar a compreensão da poluição atmosférica e suas várias interdependências em uma cidade.

O relatório da CETESB (2019) sobre qualidade do ar relata que para uma mesma quantidade de poluentes emitidos pode-se ter concentrações distintas de poluentes na atmosfera atreladas às variáveis que expressam aspectos meteorológicos e microclimáticos.

Assim a metodologia a ser utilizada está representada na Figura 9. A correlação C1 será analisada a partir das variáveis meteorológicas disponibilizadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), referentes às medições em escala local no Município de Cuiabá, e as concentrações de poluentes disponibilizadas pela SEMA-MT (Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso), referentes as médias

diárias do Município de Cuiabá. Esta análise possibilitará compreender como as variáveis predictoras, variáveis meteorológicas, se relacionam com as variáveis respostas, concentrações de poluentes atmosféricos. Os dados meteorológicos e os de poluição atmosférica foram considerados no período das 16 h às 17 h UTC, horário em que os boletins de qualidade do ar são fornecidos pela SEMA – MT.

A correlação C2 será analisada a partir das variáveis de uso e ocupação do solo e das variáveis termo-higrométricas, dados estes denominados microclimáticos. Esta análise possibilitará compreender como as variáveis predictoras, variáveis de uso e ocupação do solo, se relacionam as variáveis respostas, que são as termo-higrométricas. A análise da correlação C2 e comparação com outras ACC já realizadas, citadas na revisão bibliográfica, possibilitará a construção de possíveis respostas para as correlações C3 e C4.

As correlações C3 e C4 serão construídas nesta pesquisa de forma indireta, aguardando futuras análises constituídas a partir de medições e/ou modelagens.

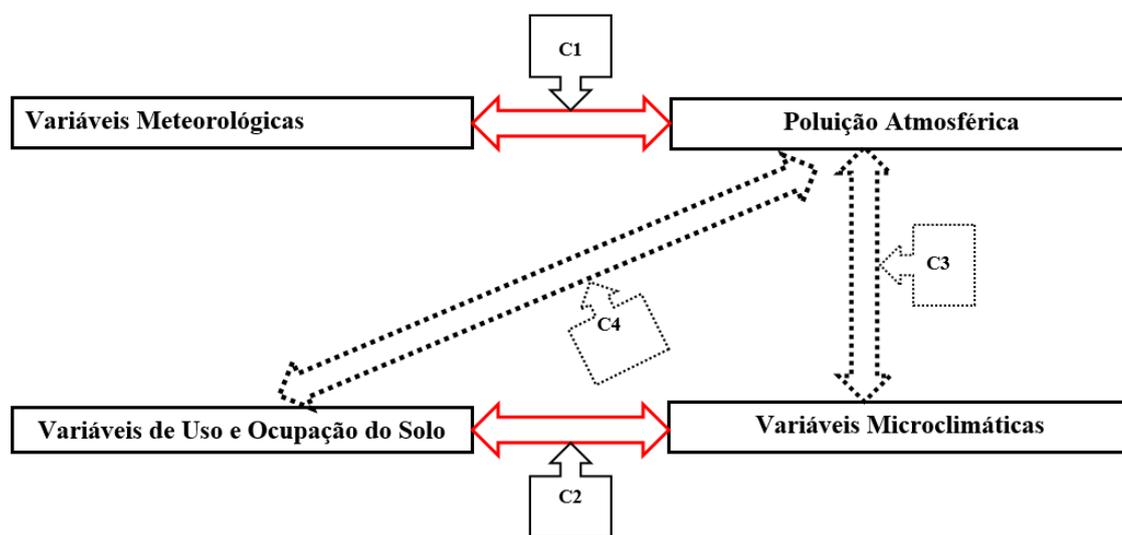


FIGURA 9 – Desenho Metodológico das variáveis e correlações.

O conjunto de dados é a matéria bruta dos estudos científicos (GOTELLI e ELLISON, 2011). Na direção da composição dos dados este trabalho foi dividido em etapas, nas quais foram adotados diferentes procedimentos, ações e instrumentos para realização das coletas e análises de dados. As etapas estão descritas a seguir.

3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no município de Cuiabá, Capital do Estado de Mato Grosso e centro Geodésico da América Latina, pertencente à região Centro-Oeste do Brasil. O município possui uma área de 3.224,68 km², sendo dividida em 254,57 km² (7,89%) de área urbana e 2.970,11 km² (92,1%) de área rural (SANTOS, 2008). O clima regional é do tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido com chuvas no verão e estiagem no inverno, com estações, úmida e seca, distintas.

Os dados foram obtidos no perímetro urbano de Cuiabá – MT (Figura 10): (i) Os dados meteorológicos foram extraídos da estação meteorológica A 901; (ii) Os dados termohigrométricos e de uso e ocupação do solo foram obtidos a partir de medições e levantamentos realizados nos transectos móveis; (iii) Os dados de poluição atmosférica foram obtidos a partir de boletins da SEMA – MT.

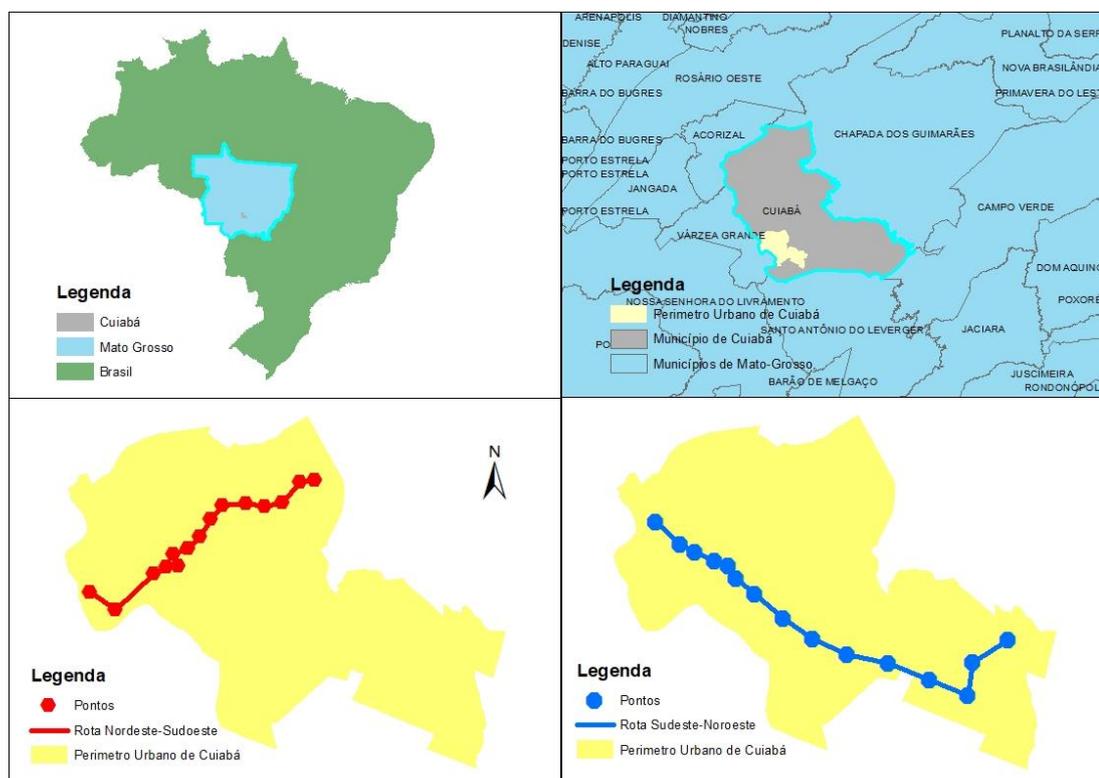


FIGURA 10 – Localização de Cuiabá no Brasil e no estado de Mato Grosso (a); Município de Cuiabá, delimitação da área urbana e municípios vizinhos (b); Transecto Móvel Sudeste – Noroeste (c); Transecto Móvel Nordeste – Sudoeste (d)

FONTE: Elaborado pelo autor

Na Figura 11 observa-se a imagem do Google Earth com os transectos realizados identificando os bairros/ pontos extremos dos transectos móveis. A imagem permite uma visualização genérica de parte da área urbana de Cuiabá – MT, objeto desta pesquisa.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS FIXOS DO TRANSECTO MÓVEL E COLETA DE DADOS

Os dados das variáveis microclimáticas, variáveis termo-higrométricas, foram coletados pelo método do transecto móvel. Para viabilizar a medição em uma hora, com um tempo de parada de 90 segundos em cada ponto, com velocidade não superior a 30 Km/h, as medições foram realizadas com dois veículos que realizaram as medições de forma simultânea em 15 pontos de cada transecto móvel.

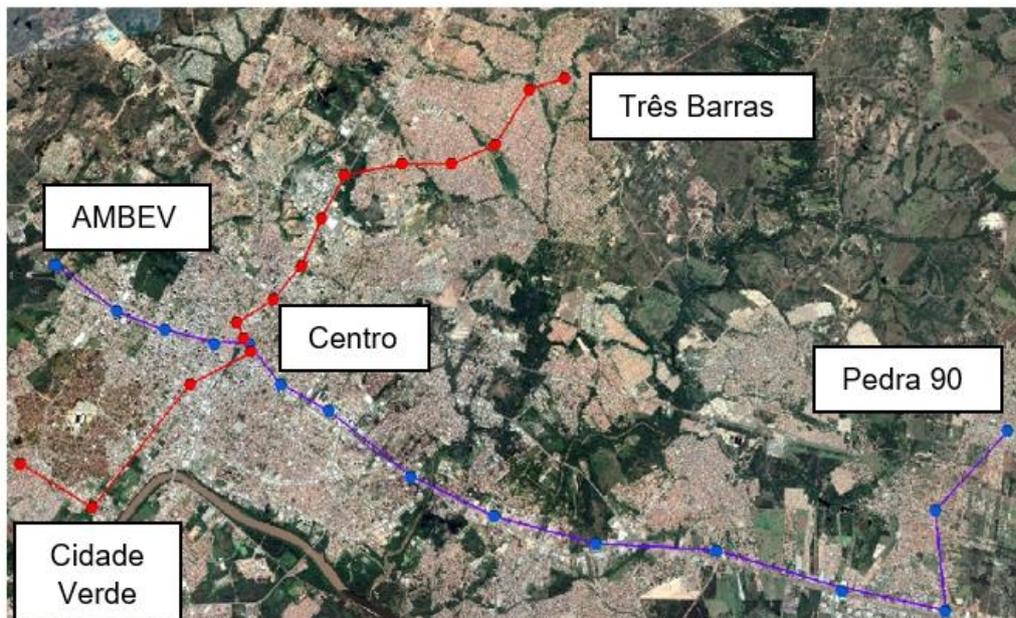


FIGURA 11 – Imagem de parte da área urbana de Cuiabá – MT com destaque para os dois transectos móveis realizados

Os pontos extremos dos transectos têm as seguintes coordenadas em UTM (Universal Transverse Mercator):

- a) Pedra 90: UTM(E) 611880,01 e UTM(N) 8271395,38;
- b) Três Barras: UTM(E) 604635,66 e UTM(N) 8279933,35;
- c) AMBEV: UTM(E) 593009,31 e UTM(N) 8274010,39;
- d) Cidade Verde: UTM(E) 593971,46 e UTM(N) 8277728,85.

Os trinta pontos de medição foram divididos, nos dois transectos móveis, de forma a abranger as diferentes características de uso e ocupação do solo da área urbana de Cuiabá-MT, privilegiando os pontos de maior acesso dos habitantes da cidade que são os pontos de ônibus.

A definição destes pontos se deu por meio de reuniões com os Gestores Municipais da Área de Mobilidade Urbana. Assim os transectos móveis foram definidos, em acordo com o governo municipal, na busca de contemplar as duas linhas de transporte urbano com maior fluxo dos usuários e também trabalhar com a variabilidade do uso e ocupação do solo urbano de Cuiabá – MT.

Após isto os pontos foram marcados de forma a, quase que na totalidade, coincidirem com os pontos de ônibus, cada ponto foi georeferenciado com o uso do receptor Topcon GNSS (*Global Navigation Satellite System*) Hiper SR (FIGURA 12). O receptor Topcon GNSS Hiper SR trabalha com 226 canais para rastreamento das constelações GPS (*Global Positioning System*), sistema americano, e GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnay Sputnikovaya System*), sistema russo, e tem precisão de 3 mm + 0,5 ppm na horizontal e 5mm + 0,5 ppm na vertical (EMBRATOP).

Os dados foram processados com o software Topcon Tools e as coordenadas foram medidas e corrigidas com a utilização do banco de dados disponibilizados pelo IBGE, ou seja, a RBMC (Rede brasileira de monitoramento contínuo), nas coordenadas marcadas foram identificados os pontos de medição.

Com as coordenadas definidas, o próximo passo foi localizá-las no Google Earth, marcar seu respectivo local e traçar um círculo de 200 metros no entorno do ponto (centro). Em seguida utilizando o software Arcmap, do conjunto ArcGis, foi realizada a vetorização da área, que consisti em circunscrever cada faixa do círculo por diferentes polígonos e atribuir-lhes uma característica própria, de acordo com sua respectiva ocupação de solo.



FIGURA 12 – Receptor Topcon GNSS Hiper SR.

Fabricado em Dover, Delaware, USA.

FONTE : www.embratop.com.br

A utilização do software Arcmap possibilita a separação do tipo de uso do solo como: (i) Edificações; (ii) Asfalto; (iii) Solo nu; (iv) Vegetação rasteira; (v) Vegetação arbórea; (vi) Concreto; (vii) Água. A determinação do tipo de uso do solo na escala microclimática possibilita analisar as possíveis influências da forma urbana nas variáveis microclimáticas.

As coordenadas dos pontos do transecto móvel SE-NO estão apresentadas na tabela 01. Esse transecto móvel tem como ponto inicial o Bairro Pedra 90 e ponto final na Avenida Antártica próximo ao Condomínio Villas Boas, um percurso total de 22,33 Km.

TABELA 01- Dados de localização e altitudes dos pontos fixos do transecto móvel Sudeste-Noroeste

Pontos	X(UTM)	Y(UTM)	Altitude (m)
1	611880,01	8271395,38	159,94
2	610104,60	8270213,82	162,08
3	609403,25	8268576,89	163,05
4	607921,32	8269241,08	165,09
5	605772,61	8270163,93	161,99
6	603643,30	8270661,83	166,98
7	601880,16	8271488,09	169,37
8	600414,20	8272567,98	171,85
9	598998,05	8273839,65	170,27
10	598009,71	8274720,12	168,83
11	597598,60	8275383,78	164,95
12	597007,38	8275322,13	165,09
13	595915,33	8276091,56	162,09
14	595163,67	8276545,20	165,04
15	593971,46	8277728,85	162,04

A Tabela 01 mostra que o transecto móvel SE-NO tem uma pequena variação de altitude que não chega a 12 metros.

A Figura 13 representa os pontos P1, P2 e P3, todos localizados em pontos de ônibus do transecto móvel SE-NO.



FIGURA 13 – Pontos P1, P2 e P3 do transecto SE-NO.

O ponto P1 está localizado em um dos bairros populosos de Cuiabá, o Bairro Pedra 90, composto por um dossel urbano de pequena altura, residências e comércios de um ou dois pavimentos e com alto percentual de área construída e alta taxa de impermeabilização. O ponto P2 está localizado no bairro Nova Esperança I, tendo um entorno de vias não pavimentadas (solo nu) e dossel urbano de um ou dois pavimentos. E o ponto P3 está localizado no Bairro Jardim Industriário na BR 364, uma área com baixa impermeabilização e dossel urbano de pequena altura.

A Figura 14 representa os pontos P4, P5 e P6 do transecto móvel SE-NO, todos localizados em pontos de ônibus.



FIGURA 14 – Pontos P4, P5 e P6 do transecto SE-NO.

O ponto P4 está localizado em ponto de ônibus na BR 364 nas proximidades do Condomínio Pascoal Moreira Cabral, sendo área em que o dossel tem pequena altura (um ou dois pavimentos) e boa permeabilidade, com presença de vegetação. O ponto P5 está localizado em ponto de ônibus localizado na BR 364/Avenida Fernando Corrêa da Costa nas proximidades do Bairro São Francisco, com características semelhantes ao P4. O ponto P6 está localizado na Avenida Fernando Corrêa da Costa, nas proximidades da entrada do Bairro Residencial Coxipó, semelhante aos demais pontos, porém com presença de vegetação remanescente, arbórea.

A Figura 15 representa os pontos P7, P8 e P9 do transecto móvel SE-NO, todos localizados em pontos de ônibus.

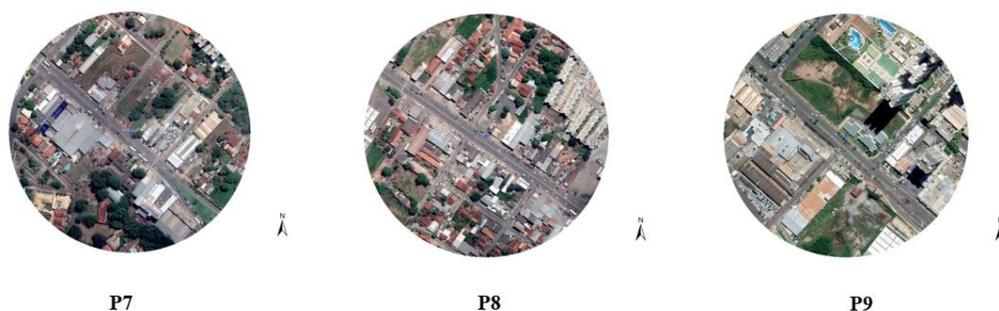


FIGURA 15 – Pontos P7, P8 e P9 do transecto SE-NO.

O ponto P7 está localizado na Avenida Fernando Corrêa nas proximidades da rodoviária do Coxipó e tem como característica um fluxo intenso de veículos e pessoas e dossel ainda de pequena altura. O ponto P8 está localizado na Avenida Fernando Corrêa da Costa nas proximidades da Escola Estadual Raimundo Pinheiro e tem características semelhantes ao ponto P7. O ponto P9 também está localizado na Avenida Fernando Corrêa da Costa nas proximidades do bairro Jardim das Américas, tem alto fluxo de pessoas e veículos e alteração da altura média do dossel urbano, já com efeitos mais acentuados quanto a rugosidade das edificações.

Os pontos P10, P11 e P12 estão localizados em Pontos de ônibus na Avenida Fernando Corrêa da Costa (Figura 16). O ponto P10 está localizado nas proximidades da Praça da Farinha e apresenta um dossel com uma pequena elevação da altura média. Os pontos P11 e P12 apresentam um aumento na altura do dossel e no índice de impermeabilização.



FIGURA 16 – Pontos P10, P11 e P12 da transecto SE-NO.

O ponto P11 está localizado na Avenida Coronel Escolástico nas proximidades da Igreja Presbiteriana do Areão e apresenta intenso fluxo de veículos e pessoas e elevação na altura do dossel. O ponto P12 está localizado na Avenida Getúlio Vargas

nas proximidades da Igreja Matriz, a altura do dossel tem um crescimento acentuado e a impermeabilidade da área é elevada.

Os pontos P13, P14 e P15 fecham o transecto SE-NO (Figura 17). Os pontos P13 e P14 tem no entorno alguns edifícios e as maiores alturas médias de dossel do transecto móvel SE-NO, além de elevado movimento de pessoas e veículos. O ponto P13 está localizado na Avenida Getúlio Vargas nas proximidades da Praça Oito de Abril e o P14 está localizado na Avenida José Monteiro de Figueiredo, nas proximidades do Shopping Goiabeiras.

O ponto P15 é o último ponto do transecto e tem elevado percentual de vegetação rasteira e remanescente, está localizado na Avenida Antártica nas proximidades do Condomínio Villas Boas.

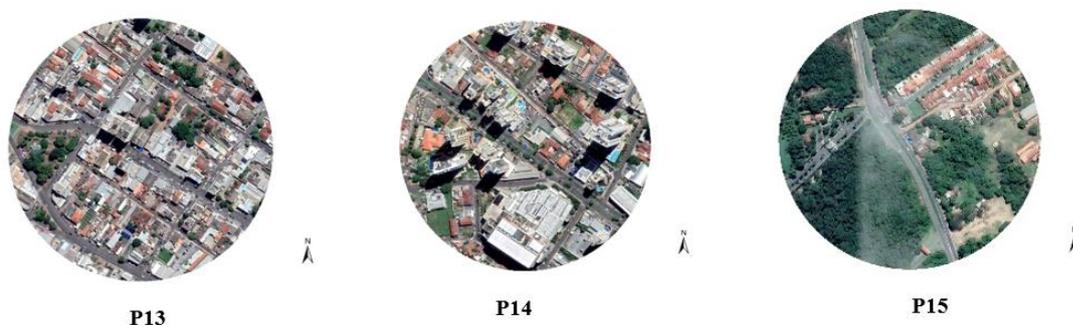


FIGURA 17 – Pontos P13, P14 e P15 do transecto SE-NO.

As coordenadas dos pontos do transecto móvel NE-SO estão apresentadas na tabela 02. A variação da altitude não chega a 10 metros no percurso desse transecto móvel. O início do transecto móvel ocorre no Bairro Três Barras, que está localizado na região da Grande Morada da Serra, uma das regiões mais populosas de Cuiabá – MT, e termina no ponto final do ônibus no bairro Cidade Verde, perfazendo um percurso de 14,8 Km.

A Figura 18 mostra os pontos NE1, NE2 e NE3.



FIGURA 18 – Pontos NE1, NE2 e NE3 do transecto móvel NE-SO.

O ponto NE1 está localizado na Rua Treze, via de acesso a outros bairros da região, no bairro Três Barras e tem dossel de baixa altura e área altamente impermeabilizada. O ponto NE2 mantém praticamente as mesmas características estando localizado na Avenida Curió no bairro CPA IV, nas proximidades do PSF do CPA IV. O ponto NE3 está localizado em ponto de ônibus próximo ao Parque Municipal Lagoa Encantada, entre os bairros CPA III e CPA IV.

A Figura 19 mostra os pontos NE4, NE5 e NE6.

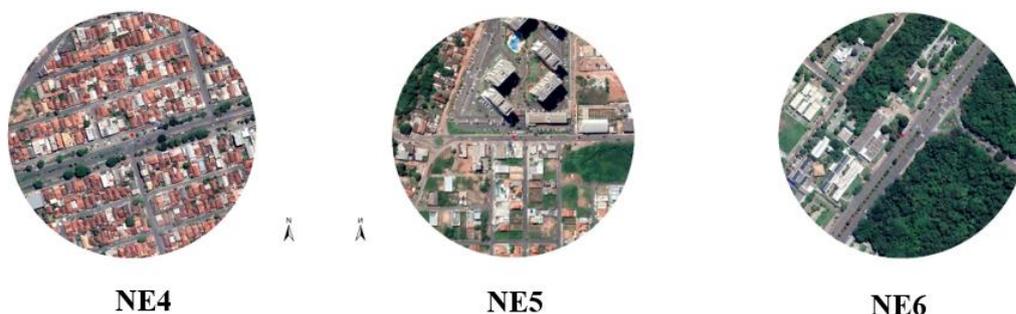


FIGURA 19 – Pontos NE4, NE5 e NE6 do transecto móvel NE-SO.

O ponto NE4 está no bairro CPA III, em área com alta concentração de edificações, portanto, bastante impermeabilizada e com pequena altura de dossel. O ponto NE5 está localizado na Avenida Mário Augusto Vieira, em frente ao Condomínio do Parque, tem uma elevação no dossel porém uma área com maior percentual de permeabilidade e próxima ao Vale do Córrego Gumitá. O ponto NE6 é o que tem o maior percentual de área vegetada do transecto móvel NE-SO, estando

localizado em ponto de ônibus da Avenida Historiador Rubens de Mendonça nas proximidades do Parque Estadual Massairo Okamura.

TABELA 02- Dados de localização e altitude dos pontos fixos do Transecto Móvel Nordeste-Sudoeste

Pontos	X(UTM)	Y (UTM)	Altitude (m)
NE1	604635,66	8279933,35	163,09
NE2	603886,27	8279825,99	166,03
NE3	602971,09	8278743,99	166,53
NE4	602054,84	8278518,85	165,03
NE5	601128,76	8278697,77	162,09
NE6	599886,90	8278611,33	163,10
NE7	599309,74	8277872,11	167,03
NE8	598647,36	8276829,66	164,09
NE9	598247,55	8276403,43	165,09
NE10	597386,21	8275976,79	166,08
NE11	596933,70	8275658,06	165,03
NE12	596361,77	8274983,06	166,38
NE13	595736,24	8274355,55	165,29
NE14	594381,22	8273067,11	169,98
NE15	593009,31	8274010,39	171,91

A Figura 20 mostra os pontos NE7, NE8 e NE9.

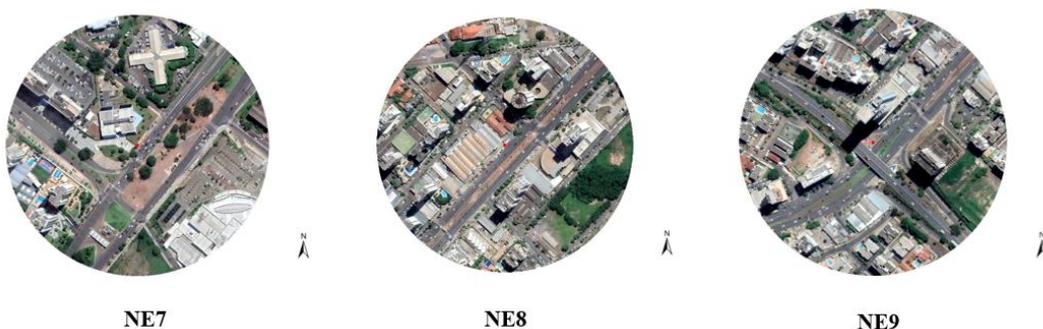


FIGURA 20 – Pontos NE7, NE8 e NE9 do transecto móvel NE-SO.

O ponto NE7, NE8 e NE9 estão localizados entre o ponto de ônibus localizado em frente ao Shopping Pantanal e o ponto de ônibus perto ao viaduto localizado no entroncamento das Avenidas Historiador Rubens de Mendonça e Avenida Miguel Sutil. Os pontos têm características que são elevações na altura do dossel pela presença de vários edifícios e comportam um elevado fluxo de veículos e pessoas.

A Figura 21 mostra os pontos NE10, NE11 e NE12.

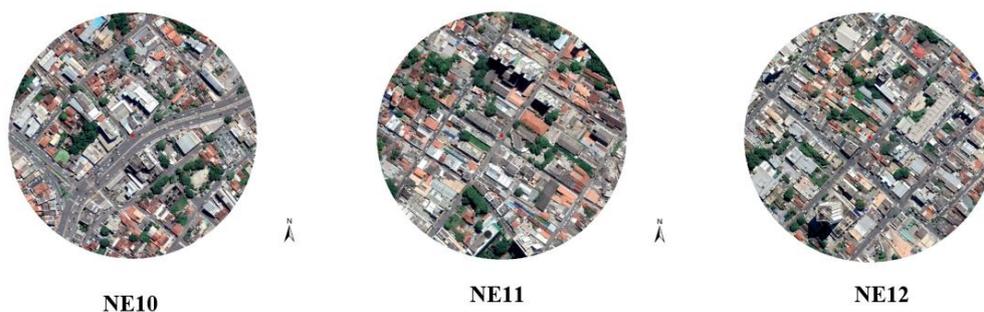


FIGURA 21 – Pontos NE10, NE11 e NE12 do transecto NE-SO.

O ponto NE10 está localizado em ponto de ônibus na Avenida Historiador Rubens de Mendonça, antes da entrada para a Avenida Mato Grosso. O ponto NE10 tem características semelhantes aos pontos NE7, NE8 e NE9. Os pontos NE10 está localizado na Rua Barão de Melgaço, na região central da cidade, e tem uma alteração do dossel pela presença de edifícios e elevada taxa de impermeabilidade, além do fluxo intenso de veículos e pessoas. Situação similar a dos pontos NE11 e NE12, também localizados na Rua Barão de Melgaço.

A Figura 22 mostra os pontos NE13, NE14 e NE15.

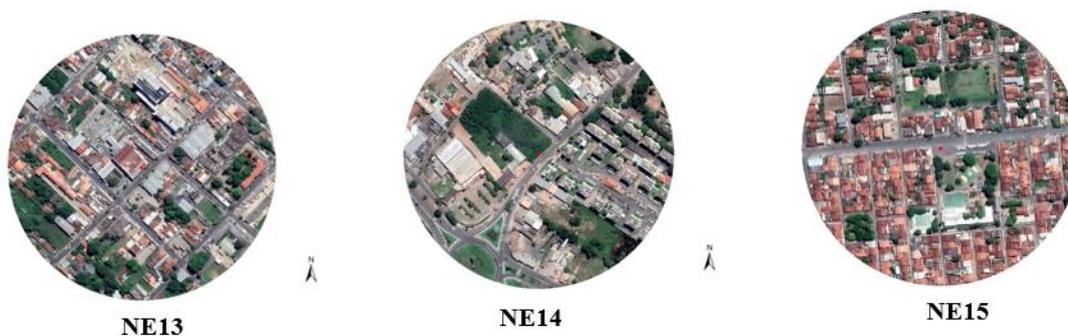


FIGURA 22 – Pontos NE13, NE14 e NE15 do transecto NE-SO.

O ponto NE13 está localizado na Rua Barão de Melgaço em área com alto percentual de edificações, porém, há uma redução na altura do dossel urbano em relação aos pontos anteriores. O ponto NE14 está localizado na Rua Barão de Melgaço nas proximidades de uma região denominada Campo do Bode e tem a presença de área vegetada. O último ponto do transecto móvel NE-SO, NE15, está localizado no ponto final de ônibus do Bairro Cidade Verde, com características semelhantes a do Três Barras, elevado percentual de edificações térreas, dosséis abaixo de 4 metros.

3.3. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E TEMPERATURA DE GLOBO PELO MÉTODO DO TRANSECTO MÓVEL

Os dados foram coletados no período de fevereiro de 2018 a janeiro de 2019, por meio do método transecto móvel, conforme a tabela 3, em dias típicos, conforme OKE (1982), ou seja, medições com céu limpo e velocidade do vento reduzida.

Para coleta dos dados foram utilizados dois sensores tipo datalogger de temperatura do ar e umidade do ar da marca Onset, modelo U12-013 posicionado na lateral de dois veículos automotores, há aproximadamente 2,00 metros do solo, protegido por um abrigo alternativo de PVC (Figura 23 e 24). A precisão do sensor de umidade é de $\pm 2,5\%$ operando com intervalo de medições programáveis entre 1 segundo a 18 horas, e o sensor de temperatura com precisão de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ e resolução de 0,03%. Os dados do sensor tipo datalogger foram importados e exportados com a utilização do software BHW-PRO, disponibilizado em conjunto ao dispositivo.

TABELA 03 – Dia, mês, ano e horários das medições nos transectos Sudeste-Noroeste e Nordeste-Sudoeste

MÊS	DIA	HORÁRIOS (h)
Fevereiro/2018	28	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Março/2018	21	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Abril/2018	18	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Mai/2018	16	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Junho/2018	20	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Julho/2018	12	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Agosto/2018	16	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Setembro/2018	06	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Outubro/2018	15	Das 8 às 9 e das 14 às 15
Novembro/2018	14	Das 9 às 10 e das 15 às 16
Dezembro/2018	17	Das 9 às 10 e das 15 às 16
Janeiro/2019	22	Das 9 às 10 e das 15 às 16



FIGURA 23 - Foto do Veículo Utilizado no transecto Nordeste-Sudoeste. Com detalhe do termômetro de globo.

O sensor tipo datalogger foi acondicionado em abrigo alternativo de PVC (Figura 25). Modelos alternativos de abrigos para termohigrômetros foram testados por Valin Jr (2019) para medições noturnas e apresentaram resultados favoráveis a utilização desse tipo de abrigo.



FIGURA 24 - Foto do veículo utilizado no transecto móvel Sudeste-Noroeste, do sensor datalogger utilizado na medição e parte do abrigo.

O horário das coletas de dados foi o recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para o período diurno adaptado ao fuso horário local, ou seja, às 08 h (12:00 h UTC) e às 14 h (18:00 h UTC). Nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019, as medições foram realizadas nos horários das 09 h e das 15 h, devido ao horário brasileiro de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, as 12:00 h UTC e as 18:00 h UTC.

O termômetro de globo foi acoplado ao abrigo e conectado ao sensor do datalogger (Figura 25),

A partir da temperatura de globo foi calculada a temperatura radiante média com a utilização da equação:

$$T_{rm} = ((Tg + 273,15)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6}}{\epsilon \cdot (Dm)^{0,4}} \cdot (Tg - Tar))^{0,25} - 273,15,$$

(Equação 01)

Equação conforme (THORSSON et al., 2007), onde:

T_{rm} ----- Temperatura radiante média ($^{\circ}C$);

T_g ----- Temperatura de globo ($^{\circ}C$);

V ----- Velocidade do vento ($m.s^{-1}$);

D_m ----- Diâmetro do termômetro de globo (mm);

T_{ar} ----- Temperatura do ar ($^{\circ}C$);

ϵ ----- Emissividade do globo.

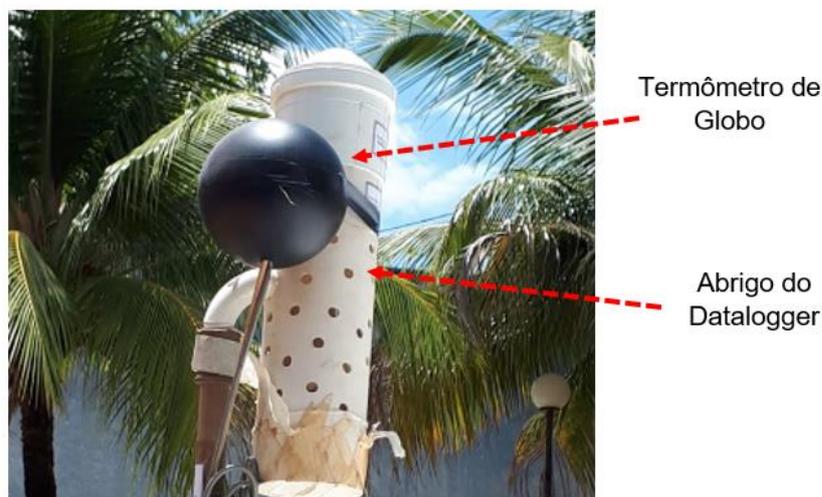


FIGURA 25 - Foto do termômetro de Globo e o Abrigo do Datalogger

A medição no período diurno é compatível com o horário de maior fluxo de pessoas pela cidade, possibilitando a compreensão da variabilidade microclimática no horário em que as variações termo-higrométricas mais afetam as pessoas que vivem na área urbana.

3.4 MEDIÇÃO NA ESTAÇÃO FIXA AUTOMÁTICA A901

Para avaliação das variáveis meteorológicas no período de agosto de 2017 a junho de 2019, foram utilizados dados referentes à temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e velocidade de rajada do vento, coletados

por uma estação fixa: a Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – Estação A 901.

A estação meteorológica A 901 compõe a rede de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia e está localizada nas dependências da 13ª Brigada de Infantaria Motorizada situada na Avenida Historiador Rubens de Mendonça, com latitude de 15°33'33.5''S, longitude 56°03'46.6''O e altitude de 242 metros. A estação é composta por uma unidade de memória central (datalogger), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, velocidade de rajada de vento). Os dados são coletados de minuto a minuto e disponibilizado automaticamente a cada hora. Dados disponíveis no site www.inmet.gov.br.

Devido às características de cobertura do solo em suas proximidades, respeitando-se o raio de 200 metros de influência, de acordo com Oke (2004). A estação está abrigada dentro dos requisitos estabelecidos em nota técnica do INMET, a qual determina que a estação deva ser instalada em uma base física, em área livre de obstruções naturais e edificações, devendo estar situada em área gramada mínima de 14 metros por 18 metros, cercada por tela metálica.

Os sensores e demais instrumentos devem ser fixados num mastro metálico de 10 metros de altura, aterrado eletricamente e dotado de sistema de para-raios para proteção dos equipamentos de medição. O pluviômetro e o medidor de radiação solar, bem como a antena para comunicação, ficam situados fora do mastro, no entanto no interior da cerca da estação (INMET, 2011). Nas estações automáticas do INMET as grandezas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, direção do vento, velocidade do vento, velocidade de rajada de vento e radiação solar, são realizadas por meio de sensores específicos e os dados são aferidos em intervalos de minuto a minuto. Os dados são integralizados para uma hora e, após validação, compõem o banco de dados do INMET e são disponibilizados de forma livre no sítio do INMET (INMET, 2018).

Para realização desta pesquisa, foram utilizados os dados referentes à temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, velocidade de rajada

do vento e radiação solar, dados coletados no período de 01/08/2017 a 30/06/2019, resultando em 738 conjuntos completos de dados.

3.5 DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os dados de poluição atmosférica foram obtidos junto a Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso, por meio de boletins diários da poluição atmosférica no Estado de Mato Grosso. Os boletins são emitidos para alguns municípios do estado, dentre eles, o município de Cuiabá-MT, em atendimento a Resolução CONAMA nº 491/2018, de 19/11/2018, que atribui o planejamento e gestão da qualidade do ar como função do governo estadual.

Esta pesquisa foca em dois tipos de poluentes o monóxido de carbono (CO) e o material particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}) abordando os poluentes a nível local e urbano, daí a abordagem das variáveis microclimáticas (alcance em microescala) e meteorológicas (alcance urbano – escala local). As informações disponíveis na SEMA-MT, quanto a poluição atmosférica, são referentes a apenas estes dois poluentes.

O estado de Mato Grosso não dispõe de estações medidoras de poluentes atmosféricos, nem fixas e nem móveis, para realização desse monitoramento. Os dados emitidos são resultantes da aplicação do Modelo CATT-BRAMS (Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System). Neste modelo, a equação de conservação de massa é resolvida para concentração de monóxido de carbono ([CO]) e a concentração de material particulado de diâmetros médios menores que 2,5 µm ([MP_{2,5}]). As fontes de emissões de gases e partículas associadas com queimada em floresta tropical, cerrado e pastagem são parametrizadas e introduzidas no modelo.

As fontes são distribuídas espacialmente e temporalmente e assimiladas diariamente conforme os focos de queimada obtidos por sensoriamento remoto (AVHRR, MODIS e GOES-12). Fontes antropogênicas de CO são incluídas conforme as bases de dados (http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo_cattbrams).

Os dados são constituídos a partir das imagens de sensoriamento obtidas às 12 h e submetidos à aplicação do modelo. Os dados emitidos são: (i) Concentração mínima de monóxido de carbono ($[CO]_{\min}$) em ppm; (ii) Concentração máxima de monóxido de carbono ($[CO]_{\max}$) em ppm; (iii) Concentração mínima de material particulado de diâmetro médio menor que 2,5 μm $[MP_{2,5}]_{\min}$; (iv) Concentração máxima de material particulado de diâmetro médio menor que 2,5 μm $[MP_{2,5}]_{\max}$.

Os dados meteorológicos utilizados na análise da correlação C1 foram os das 12 h ou 13 h, conforme disponibilizado pelo INMET, de forma a se aproximar de forma temporal aos dados de poluição atmosférica, minimizando distorções por defasagens temporais de dados, já que os boletins são emitidos tendo como referência às 12 h.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise dos dados busca investigar as possíveis correlações existentes conforme o desenho metodológico proposto (Figura 09). A avaliação por métodos de regressão, em situações de variáveis independentes altamente correlacionadas, tem melhores resultados apenas para previsão não se mostrando consistente para interpretação dos coeficientes de regressão (HAIR et al., 2009). Neste contexto uma análise multivariada sustentada em múltiplas regressões se mostra fragilizada. A estrutura complexa de dados multivariados, que é o caso, é melhor compreendida pelo estudo de projeções de baixa dimensão, uma importante ferramenta estatística que abre esta possibilidade é a Análise de Correlação Canônica (HÄRDLE e SIMAR, 2007).

A análise de correlação canônica procura identificar e quantificar as associações entre dois conjuntos de variáveis enfocando as correlações entre a combinação linear das variáveis em um conjunto e a combinação linear das variáveis em outro conjunto. Os pares de combinações lineares são chamados de variáveis canônicas e suas correlações são chamadas de correlações canônicas. As correlações canônicas medem a força da associação entre os dois conjuntos de variáveis. O aspecto de maximização da técnica representa uma tentativa de concentrar uma relação de alta

dimensão entre dois conjuntos de variáveis em alguns pares de variáveis canônicas (JOHNSON e WICHERN, 2007).

No sentido de avaliar a multicolinearidade foi aplicado um teste de correlação entre as variáveis de cada conjunto. No caso:

- a) Para investigar a correlação C1: Foi aplicado ao Conjunto 01, das variáveis meteorológicas dados obtidos diariamente no INMET, Estação A901, no horário das 16 h ou 17 h UTC, conforme disponibilizado, e ao Conjunto 02, das variáveis de poluição atmosférica, dados fornecidos diariamente por boletins da SEMA-MT, referentes às 16 h UTC;
- b) Para investigar a correlação C2: Foi aplicado ao Conjunto 01, das variáveis de uso e ocupação do solo, conforme a localização dos 15 pontos de cada transecto e o tipo de solo num raio de 200 m do ponto de medição, e o Conjunto 02, das variáveis microclimáticas resultantes diretamente e indiretamente das medições realizadas em dois horários, as 12 h UTC e as 18 h UTC.

Optou-se por um teste não paramétrico, Correlação de Spearman, já que se busca apenas avaliar a presença, ou não, da multicolinearidade e não a interpretação paramétrica das correlações bivariadas, que nesse complexo contexto de múltiplas dependências e interdependências, não faria sentido, sendo dispensável o maior rigor estatístico do teste paramétrico, Correlação de Pearson. O que se quer é apenas avaliar as possíveis correlações no sentido de verificar se há ou não a multicolinearidade.

Assim se procedeu a análise não paramétrica das Correlações de Spearman entre as variáveis que compõe o conjunto de dados das variáveis meteorológicas, das variáveis de poluição atmosférica, das variáveis microclimáticas e das variáveis de uso e ocupação do solo utilizando o software SPSS 16.0.

Quando se deseja investigar as correlações entre dois grupos de variáveis, as correlações entre variáveis do mesmo grupo podem gerar regressões múltiplas que superponham interdependências gerando o que se define como multicolinearidade. Quando as várias variáveis são multicolineares perde-se graus de liberdade na análise estatística. Caso ocorra correlações entre variáveis de um mesmo grupo, para

minimizar o problema da multicolinearidade pode ser aplicada a análise de correlação canônica. A correlação canônica é estabelecida com a combinação linear em cada um dos dois conjuntos de variáveis gerando duas variáveis latentes e as suas possíveis correlações (VIALI, 2019).

A análise de correlação canônica pode ser vista como uma extensão lógica da análise de regressão múltipla. Enquanto a análise de regressão múltipla envolve uma única variável dependente métrica e várias variáveis independentes também métricas. Na correlação canônica o objetivo é correlacionar simultaneamente várias variáveis dependentes métricas com várias variáveis independentes também métricas. Enquanto a regressão múltipla envolve uma única variável dependente, a correlação canônica envolve múltiplas variáveis dependentes (VIALI, 2019).

A análise de correlação canônica e inferências neste trabalho ocorrem em três etapas:

- a) As correlações entre a poluição atmosférica e as variáveis meteorológicas (C1);
- b) As correlações entre o Tipo de Uso do Solo e as Variáveis Microclimáticas (C2);
- c) As correlações C3 e C4 serão analisadas a partir dos resultados das correlações C1 e C2, c com base em outros estudos citados na revisão bibliográfica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS – DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA A901

O clima do município de Cuiabá é do tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido com chuvas no verão e estiagem no inverno, com estações, úmida e seca, distintas.

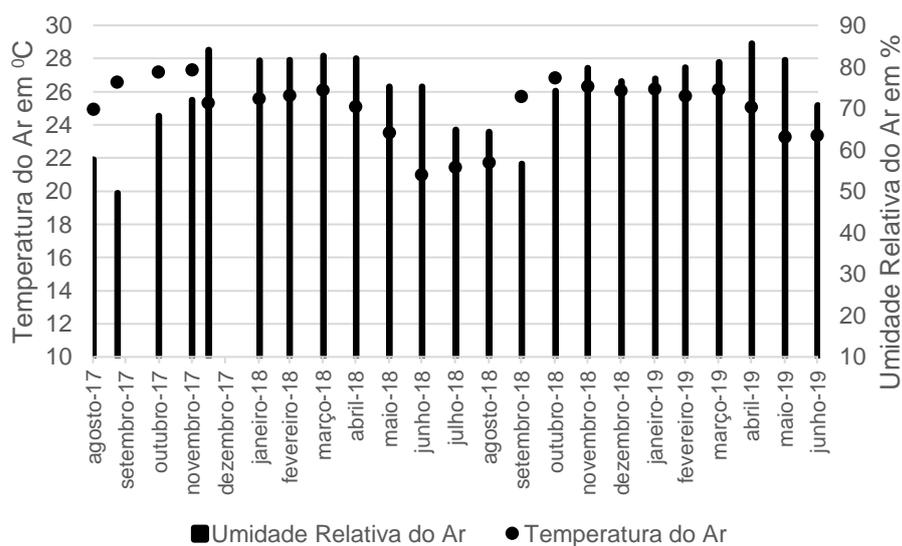


FIGURA 26 – Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar. Dados da Estação Automática A901 do INMET.

As variações de temperatura e umidade relativa do ar ocorreram conforme esta classificação, contrastando uma estação quente e seca, junho a setembro e uma estação quente e úmida, novembro a março. Nos meses mais secos, ao se considerar os valores diários, a umidade relativa do ar chegou aos menores valores nos meses de agosto e setembro, tanto em 2017, quanto em 2018. A menor umidade relativa do ar foi registrada no mês de setembro de 2017 atingindo o valor de 23 %. As maiores umidades foram registradas no período de novembro de 2018 a abril de 2019. Em abril de 2019 a umidade relativa do ar chegou a 94 %.

Ao se considerar os valores diários, as menores temperaturas ocorreram nos meses de maio a agosto de 2018, chegando a 12,4 °C em agosto de 2018. As maiores temperaturas foram registradas no período de agosto a dezembro de 2017, a maior temperatura foi de 32,4 °C em outubro de 2017.

Com os valores médios mensais de temperatura do ar, no período de agosto de 2017 a junho de 2019, os menores valores ocorreram no período de abril a agosto de 2018. A menor média ocorreu em junho de 2018, 20,99 °C. Os maiores registros ocorreram no período de outubro a janeiro, tanto em 2017 quanto em 2018. A maior média registrada ocorreu em novembro de 2017, valor de 27,3 °C.

O comportamento da temperatura e umidade relativa repete os valores reproduzidos em outros trabalhos e reforça a classificação Köppen para o clima regional. Ficando bem característico um período seco, mais acentuado nos meses de agosto e setembro, com baixas umidades e o período mais úmido, principalmente nos meses de novembro a abril.

Na figura 26, é observado o comportamento médio mensal da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, no período de agosto de 2017 a junho de 2019.

As maiores temperaturas são registradas no período próximo ao período de solstício de verão compreendendo os maiores valores em outubro e novembro de 2017 e no período de outubro de 2018 a março de 2019, neste período há uma intensificação das chuvas e uma elevação na umidade relativa do ar. Os meses de julho a agosto há uma redução na umidade relativa do ar, caracterizando o período seco e uma redução nas temperaturas do ar próximo ao solstício de inverno.

Os maiores valores de radiação solar foram registrados no período de outubro a dezembro de 2018, o que pode explicar a elevação da temperatura no período.

Na figura 27 é observada a variação média mensal da radiação solar no horário das 12 h.

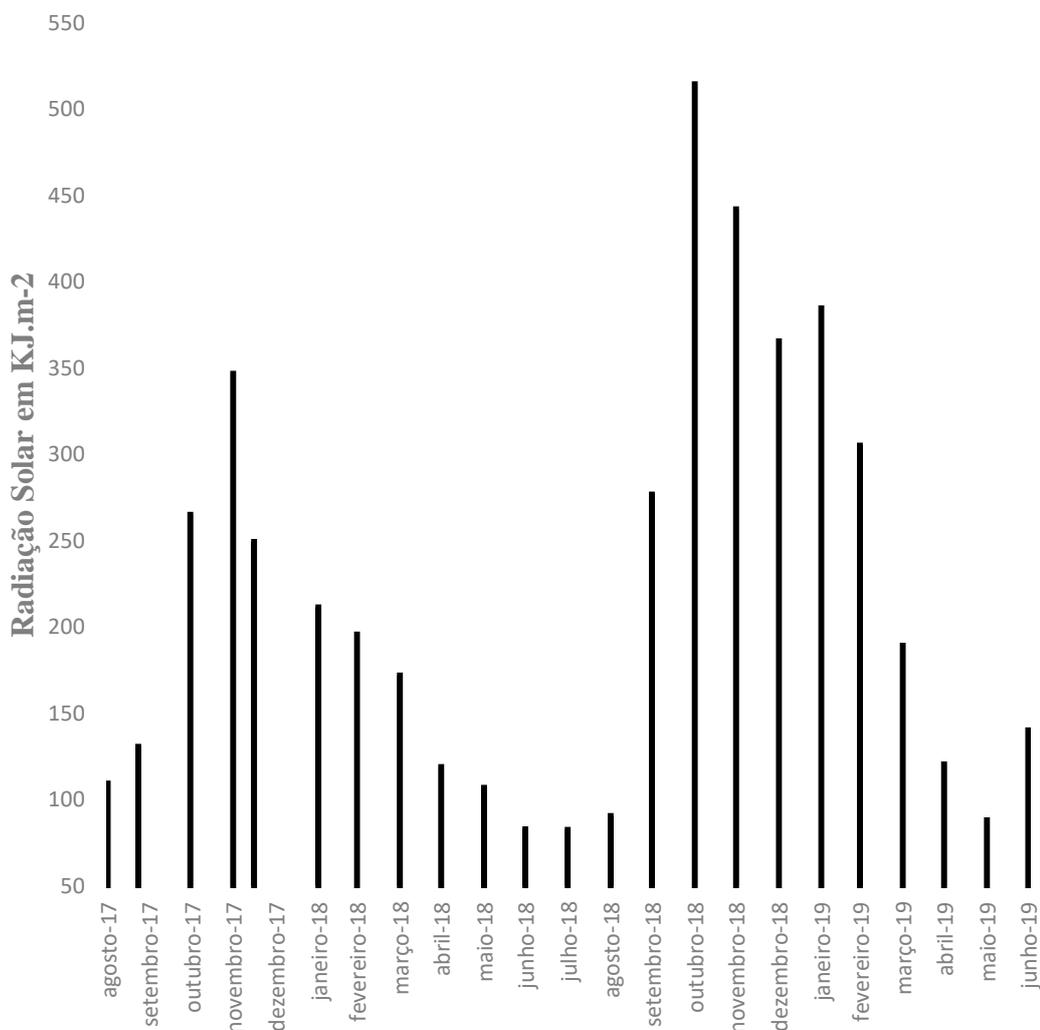


FIGURA 27 – Radiação Solar. Médias Mensais. Dados da Estação Automática A901 do INMET.

Na Figura 27 é observado que os maiores valores de radiação solar ocorrem no período de outubro a dezembro de 2018 e os menores valores no período de junho a agosto de 2018. A maior média de radiação solar ocorreu em outubro de 2018, 514,41 KJ.m⁻², e o menor valor em julho de 2018, 82,54 KJ.m⁻².

A velocidade do vento tem menores valores médios no período de março a junho de 2018, chegando a 1,07 m.s⁻¹ no mês de abril de 2018. O maior valor médio foi registrado no período de setembro a dezembro, em 2017 e 2018. A maior média de

velocidade do vento foi registrada em outubro de 2017, $1,97 \text{ m.s}^{-1}$. Fica caracterizado que as velocidades do vento são reduzidas, esta característica não favorece a dispersão e circulação dos poluentes atmosféricos. O vento é fator criticamente importante para a dispersão dos poluentes da camada CLU (OKE et al., 2017). Em se considerando os valores extremos diários, a menor velocidade do vento ocorreu em maio de 2018, $0,2 \text{ m.s}^{-1}$, e o maior valor em outubro de 2017, $3,9 \text{ m.s}^{-1}$.

Na Figura 28 são observadas as variações dos valores médios da velocidade do vento e da velocidade de rajada de vento no período do estudo.

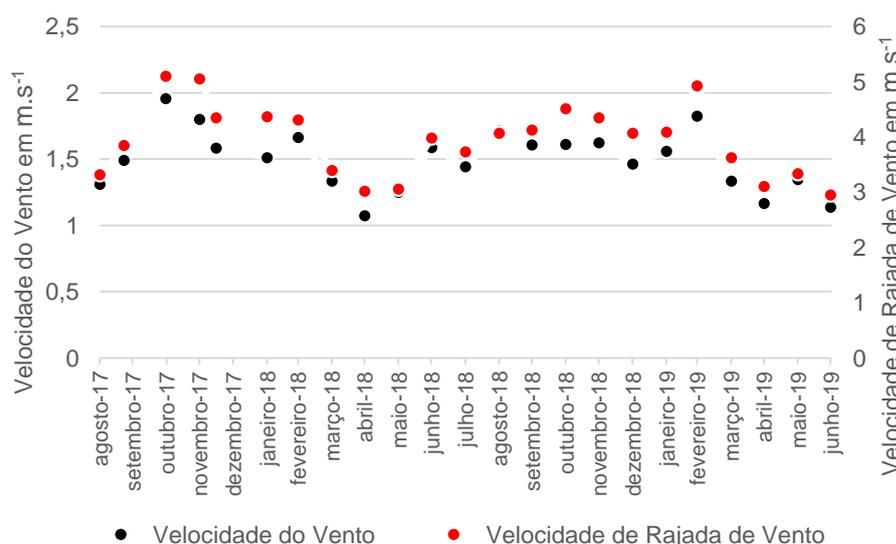


FIGURA 28 – Velocidade do Vento e Velocidade de Rajada de Vento. Dados da Estação Automática A901 do INMET.

O comportamento de velocidade de rajada de vento se assemelha ao da velocidade do vento. Os menores valores de velocidade de rajada de vento ocorreram no período de março a julho de 2018 e os maiores de outubro a dezembro, tanto em 2017 quanto em 2018. O menor valor médio registrado para velocidade de rajada de vento ocorreu em junho de 2019, $2,95 \text{ m.s}^{-1}$ e o maior em outubro de 2017, $5,1 \text{ m.s}^{-1}$. É importante a consideração da velocidade do vento e da velocidade de rajada de vento, pois, constituem-se dois fatores importantes na dispersão de poluentes gerados no metabolismo urbano.

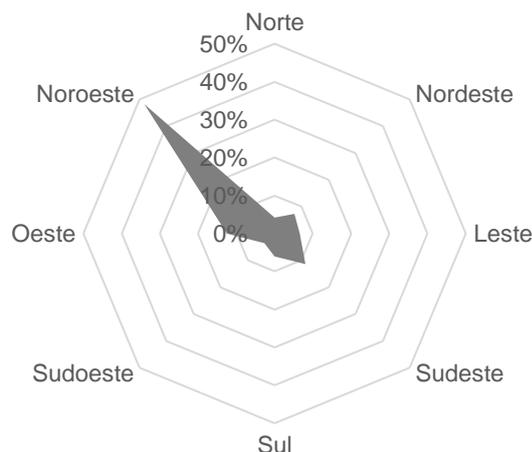


FIGURA 29 – Direção do Vento. Dados da Estação Automática A901 do INMET.

No período analisado, a direção do vento ocorreu de forma predominante na direção SE-NO (Figura 29). Em uma eventual consolidação do distrito industrial de Cuiabá, como um polo industrial, algo que ainda não é vocação do município, sendo predominante no município de Cuiabá a atividade dos serviços públicos e a prestação de serviços (CUIABÁ, 2012), o centro da cidade estará na rota de dispersão destes possíveis poluentes, além do que já é gerado pelo funcionamento da cidade, especialmente pelo tráfego intenso de veículos e a intensificação das queimadas urbanas na estação quente e seca (BOMBEIROS, 2019)

Na Figura 29, observa-se as direções de predominância do vento no município de Cuiabá. E conseqüentemente o sentido predominante das plumas urbanas, de calor ou de poluição.

4.2. CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS – BOLETINS DA SEMA-MT

Os dados de poluição atmosférica foram obtidos junto a SEMA-MT, e abrangem o período de agosto de 2017 a junho de 2019. Os boletins se referem às concentrações mínimas e máximas de poluentes atmosféricos no município de Cuiabá:

- a) Concentração mínima de monóxido de carbono em ppm (parte por milhão), $[CO]_{\min}$;

- b) Concentração máxima de monóxido de carbono em ppm (parte por milhão), $[CO]_{\max}$;
- c) Concentração mínima de material particulado em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $[MP_{2,5}]_{\min}$;
- d) Concentração máxima de material particulado em $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $[MP_{2,5}]_{\max}$.

A concentração de material particulado de $[MP_{2,5}]$, partículas cujo diâmetro aerodinâmico médio é menor que 2,5 micrômetros, partículas finas ou respiráveis, apresentou valores que ultrapassam os limites recomendados pela organização mundial de saúde que é $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Dos 544 conjuntos de dados lidos, apenas três valores estabelecem a qualidade do ar como adequada, os demais, 99,49% dos valores lidos, ultrapassam a concentração recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

A concentração mínima de material particulado, em 39,2% das leituras ultrapassa a concentração de $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Se consideradas as médias mensais das concentrações de material particulado, em todos os meses a qualidade do ar é inadequada, se considerada a concentração máxima de material particulado. O menor valor médio mensal da concentração de material particulado ($[MP_{\max}]_{2,5}$) foi de $58,11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, em fevereiro de 2018, e o maior valor médio mensal foi de $142,63 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ em junho de 2019. Na Figura 30 são observadas as concentrações de poluentes atmosféricos.

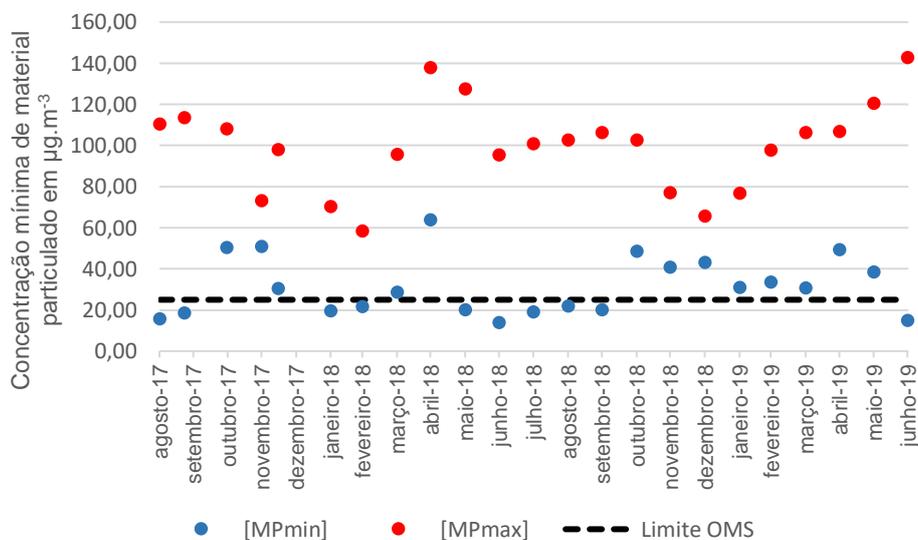


FIGURA 30 – Concentração Média Mensal Mínima de Material Particulado $[MP]_{2,5}$.

Se considerados os valores médios mensais mínimos da concentração de material particulado ($[MP_{\min}]_{2,5}$), em 39,2% dos conjuntos de dados os limites ultrapassam a concentração recomendada pela OMS.

O vento afeta, de forma importante, o transporte e a dispersão dos poluentes atmosféricos e pode mitigar os efeitos locais dos poluentes atmosféricos. A Figura 31 representa de forma conjunta a variabilidade temporal da concentração máxima de material particulado ($[MP_{2,5}]_{\max}$) e da velocidade do vento.

Os valores médios mensais da concentração máxima de material particulado ($[MP_{\max}]_{2,5}$) estão bem acima dos limites recomendados pela OMS. Outro aspecto que se observa na Figura 31, é uma correlação inversa entre a velocidade do evento e a concentração de material particulado. Os meses de maior concentração de material particulado, que de forma predominante está no período de abril a outubro, coincidindo com o período de menores valores de velocidade do vento, período que abrange a estação quente e seca. As menores concentrações de poluentes ocorrem no período de aumento nos valores da velocidade do vento. Nas análises das correlações existentes entre as variáveis meteorológicas e as concentrações dos poluentes atmosféricos estas afirmações terão o trato e a discussão estatística.

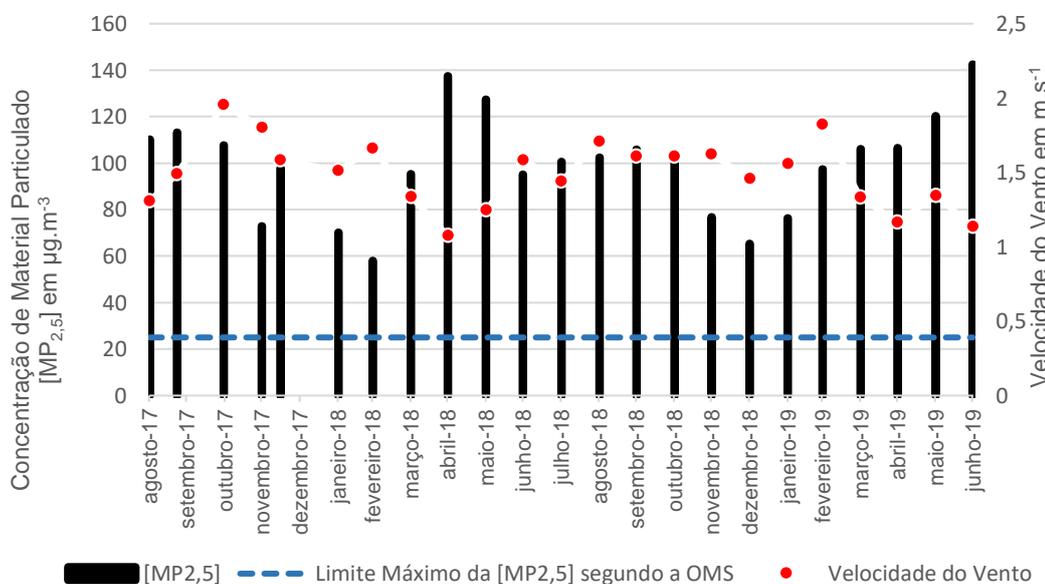


FIGURA 31 – Concentração Média Mensal Máxima de Material Particulado $[MP]_{2,5}$ e Velocidade do Vento.

A velocidade de rajada de vento indica a presença de turbulência, fator crítico para o transporte e diluição dos poluentes atmosféricos (OKE et al., 2017). A Figura 28 indica os valores de velocidade do vento e da velocidade de rajada de vento, demonstrando um comportamento similar de variabilidade temporal. Assim é relevante a representação da variabilidade dos valores médios de concentração máxima de material particulado e da velocidade de rajada do vento (Figura 32).

O período de outubro de 2018 a junho de 2019 respalda a importância da turbulência na dispersão dos poluentes atmosféricos, o período de fevereiro a junho de 2019 permite a consideração de que há uma redução na velocidade de rajada de vento e um aumento na concentração de material particulado. Por outro lado, no período outubro a dezembro ocorre um aumento da turbulência, retratada no aumento da velocidade de rajada de vento e uma redução na concentração do material particulado na atmosfera.

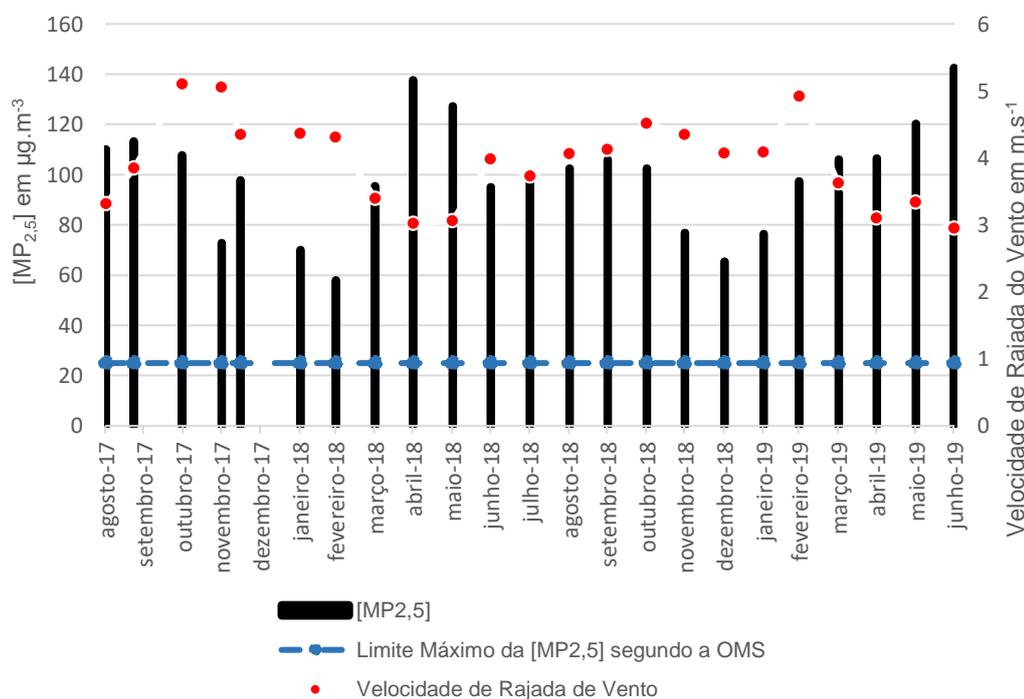


FIGURA 32 – Concentração Média Mensal Máxima de Material Particulado [MP_{max}]_{2,5} e Velocidade de Rajada do Vento.

As concentrações de monóxido de carbono não ultrapassam os limites estabelecidos pelos padrões nacionais de qualidade do ar, conforme a Resolução CONAMA N° 491, de 19/11/2018, a qual estabelece como limite aceitável a concentração de monóxido de carbono não ultrapassar o valor de 9 ppm, exposição por 8 horas. A concentração de monóxido de carbono, segundo os boletins emitidos pela SEMA, não ultrapassa os limites que padronizam uma boa qualidade do ar, porém, constitui-se como variável de importância estatística nas análises de correlações, especialmente quando se analisa as combinações lineares das várias variáveis. Na Figura 33 é observada a variabilidade dos valores médios mensais das concentrações máximas e mínimas de monóxido de carbono.

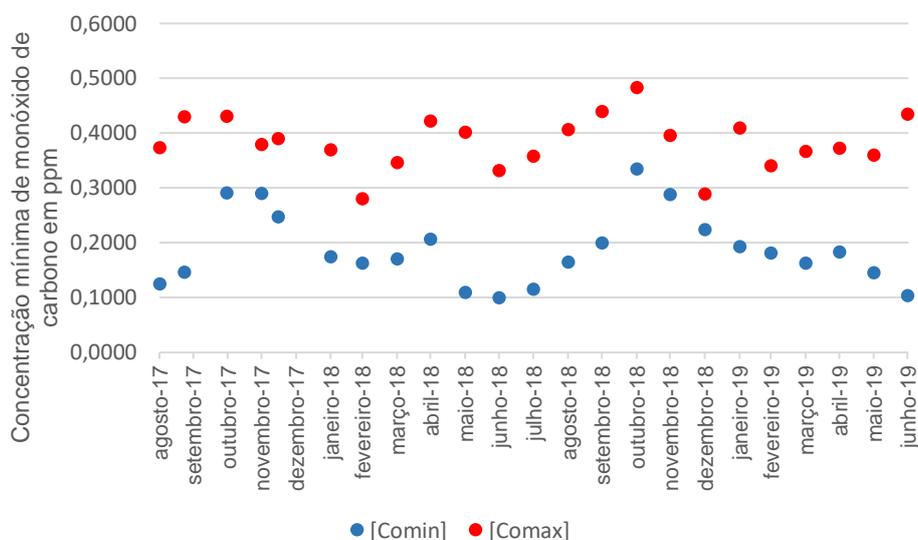


FIGURA 33 – Concentrações máximas e mínimas de monóxido de carbono (Médias Mensais).

Quando submetido ao teste de correlação de Spearman é identificado um coeficiente de correlação direta com $\rho = 0,54$, com significância no nível de 1%, indicando que a poluição por material particulado tem correlação direta com a poluição por monóxido de carbono.

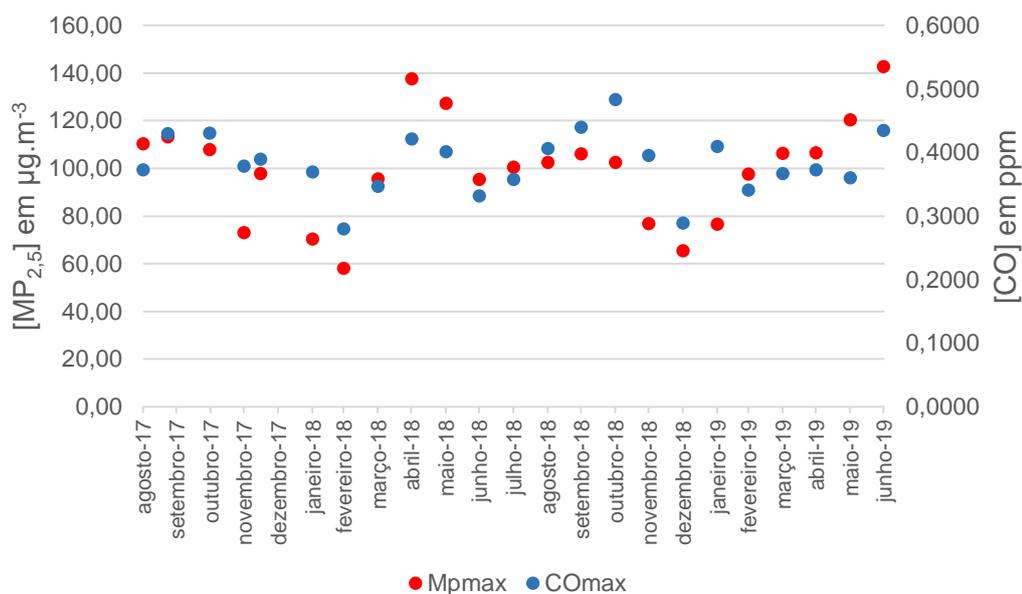


FIGURA 34 – Concentrações Máximas de Material Particulado $[MP_{\max}]_{2,5}$ e Monóxido de Carbono

A Figura 34 permite observar esta correlação com coeficiente positivo.

Da mesma forma a variabilidade das concentrações mínimas de material particulado e monóxido de carbono, indicam que as reduções ocorrem de forma correlatas. A aplicação do teste de correlação de Spearman indica que as reduções dos poluentes atmosféricos investigados se associam a uma causa que pode ser comum as duas variáveis, que pode ser o elevado tráfego de veículos em Cuiabá – MT. O teste de Spearman indicou um coeficiente de correlação $\rho = 74\%$, a um nível de significância de 1%.

Na Figura 35, observa-se o comportamento associativo destes poluentes. A presença do vento interfere também na dispersão do monóxido, o teste de correlação de Spearman demonstra correlações com ρ negativo, quando se analisa a concentração máxima de monóxido de carbono com relação à velocidade do vento e a velocidade de rajada de vento, coeficientes respectivamente iguais a $\rho = -0,25$ e

$\rho = -0,24$.

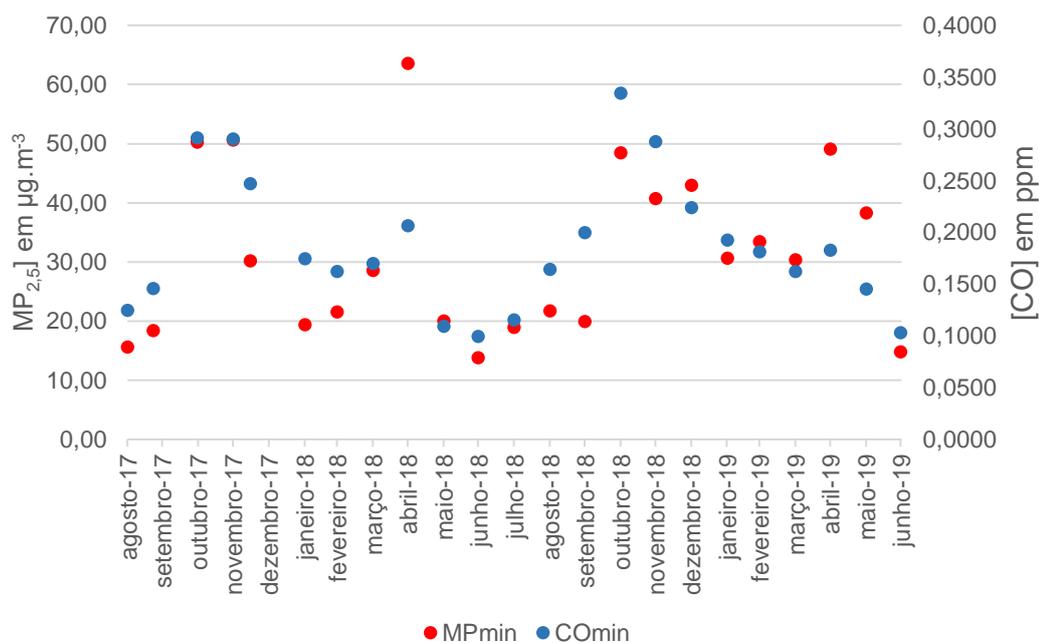


FIGURA 35 – Concentrações Mínimas de Material Particulado $[MP_{max}]_{2,5}$ e Monóxido de Carbono

A Figura 36 mostra as variações temporais da velocidade do vento, da velocidade de rajada de vento e da concentração máxima de monóxido de carbono.

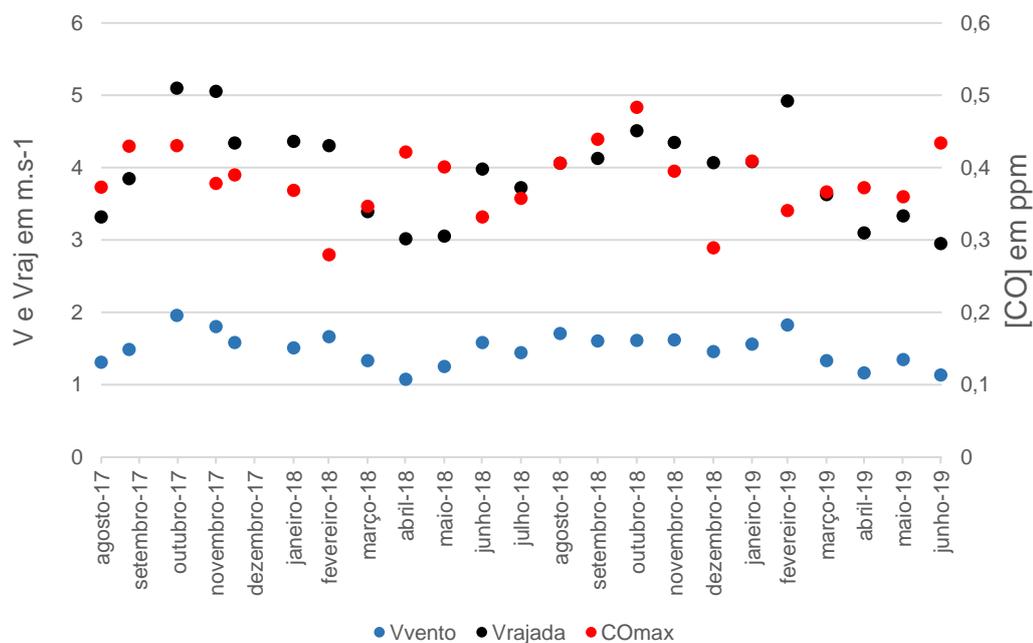


FIGURA 36 – Concentração máxima de CO, velocidade do vento e velocidade de rajada de vento.

4.3. VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS – TRANSECTOS SE-NO E NE-SO

Estudos demonstram que há uma interdependência entre as variáveis meteorológicas, as variáveis microclimáticas e as concentrações de poluentes atmosféricos. Assim a discussão sobre as variáveis microclimáticas é de fundamental importância. Os vários microclimas de uma cidade podem potencializar ou amenizar a poluição atmosférica visto que podem, para uma mesma quantidade de poluentes, implicar em concentrações diferentes dos poluentes primários ou secundários (CETESB, 2019).

4.3.1. Temperatura do Ar (Período da Manhã)

As medições feitas nos transectos móveis SE-NO e NE-SO permitem observar uma variabilidade sazonal e espacial da temperatura do ar. A variação espacial aqui referida está associada ao uso e ocupação do solo. As medições foram realizadas pela manhã, no horário das 8 h às 9 h, exceção feita aos meses novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 9 h às 10 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 12 h às 13 h UTC.

O comportamento sazonal das temperaturas do ar, com valores mais amenos nos meses de junho, julho e agosto, meses da estação quente e seca e mais elevados nos meses de novembro, dezembro e janeiro, meses da estação quente e úmida. Esses resultados fortalecem um comportamento sazonal das temperaturas do ar, sujeitos a característica climática da região (Figura 37).

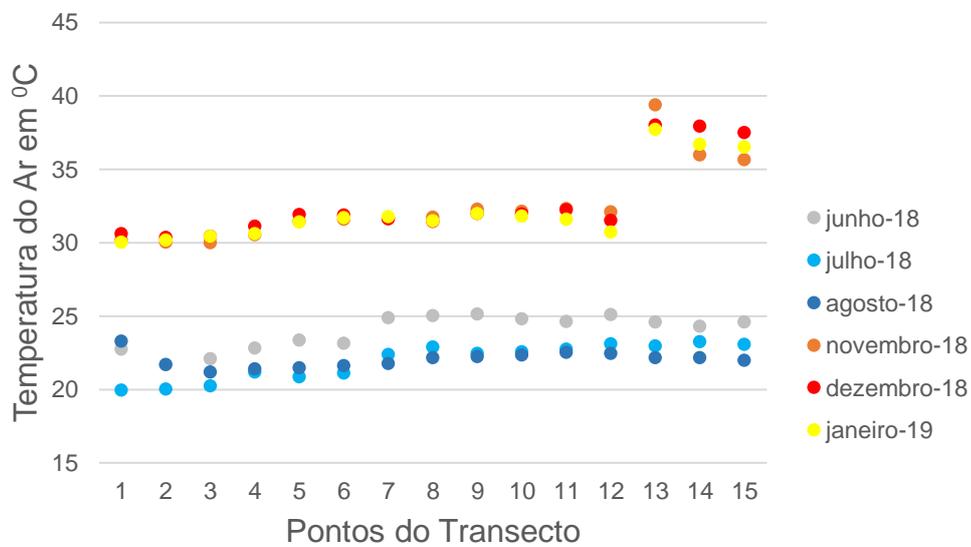
Nos meses de junho a agosto de 2018 foram registradas as menores temperaturas do ar nos dois transectos móveis, com valores médios entre 20 °C e 25 °C. No transecto móvel SE-NO as temperaturas do ar, média dos 15 pontos de medições, foram respectivamente iguais a 22 °C, em julho de 2018, 22,03 °C, em agosto de 2018 e 23,93 °C em junho de 2018. No transecto móvel NE-SO, as temperaturas do ar também foram menores nesses meses com valores médios iguais a 23,8 °C em junho de 2018 e 22,1 °C em agosto do mesmo ano. Estas menores médias

de temperatura do ar correspondem ao período de menor radiação solar e a respectiva redução da temperatura.

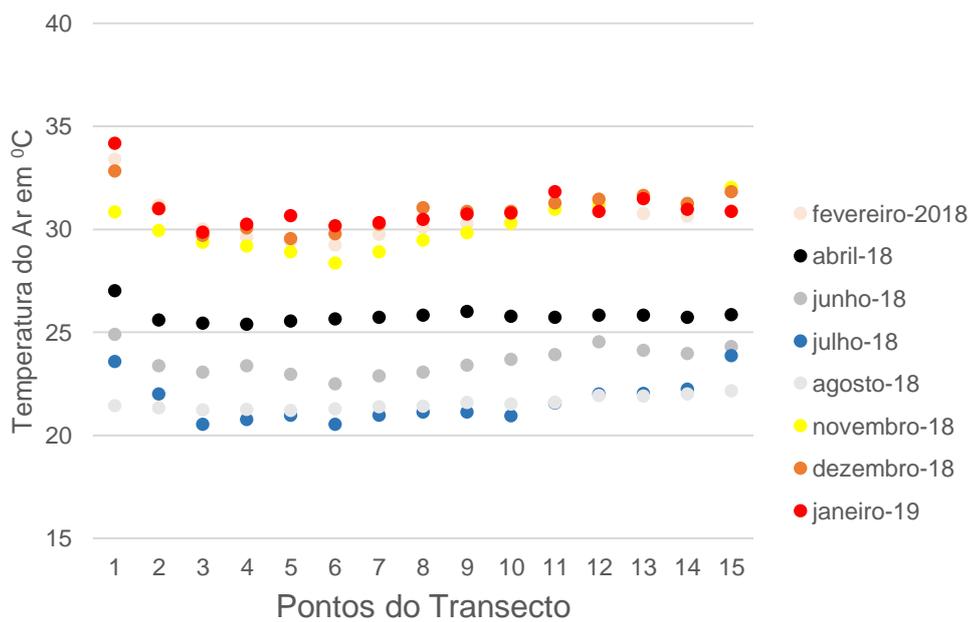
Nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019 ocorreram os registros dos maiores valores de temperatura do ar nos dois transectos móveis, no SE-NO os valores médios foram respectivamente iguais a 32,71 °C, em dezembro de 2018, a 32,46 °C, em novembro de 2018, e a 32,31 °C em janeiro de 2019 (Figura 37). No transecto móvel NE-SO, nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019, os valores médios da temperatura do ar foram respectivamente iguais a 31,8 e 30,8 °C. Este período de aumento da temperatura coincide com o aumento da radiação solar.

Na Figura 37 também se observa uma variação dos valores médios das temperaturas do ar, segundo os pontos de medição, o que indica uma variação por razão do uso e ocupação do solo urbano. Os pontos com valores máximos e mínimos foram selecionados e avaliados quanto ao comportamento sazonal e de uso e ocupação do solo (Figura 38).

No transecto móvel SE-NO, a temperatura variou entre um ponto e outro. A maior variabilidade ocorreu de novembro de 2018 a janeiro de 2019, sendo que as maiores diferenças ocorreram entre os pontos 2 e 13. A diferença chegou a 9,4 °C em novembro, a 7,6 °C em dezembro de 2018 e em janeiro de 2019. Assim nos meses de maiores temperaturas do ar foram detectadas, nas medições da manhã, a formação de ilhas de calor de forte intensidade nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019. A menor diferença ocorreu no mês de agosto de 2018, 0,96 °C, coincidindo com a menor média mensal de temperatura do ar, 22,16 °C. Nos meses de junho e julho de 2018, também com médias de temperatura do ar inferiores aos demais meses pesquisados iguais respectivamente a 24,3 °C em junho e a 23,2 °C em julho, as diferenças foram pequenas, se comparadas com os meses da estação quente e úmida, valores respectivamente iguais 2,5 °C e 2,7 °C, indicando a presença de ilhas de calor, porém de fraca intensidade.

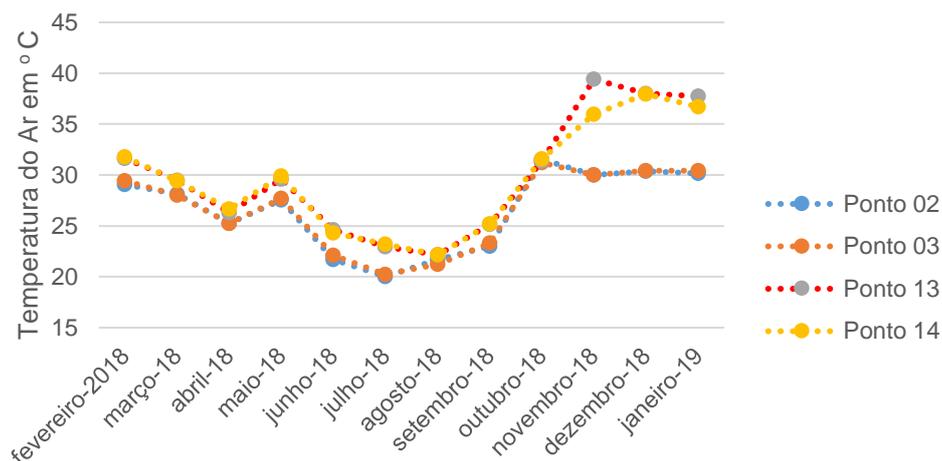


(a)

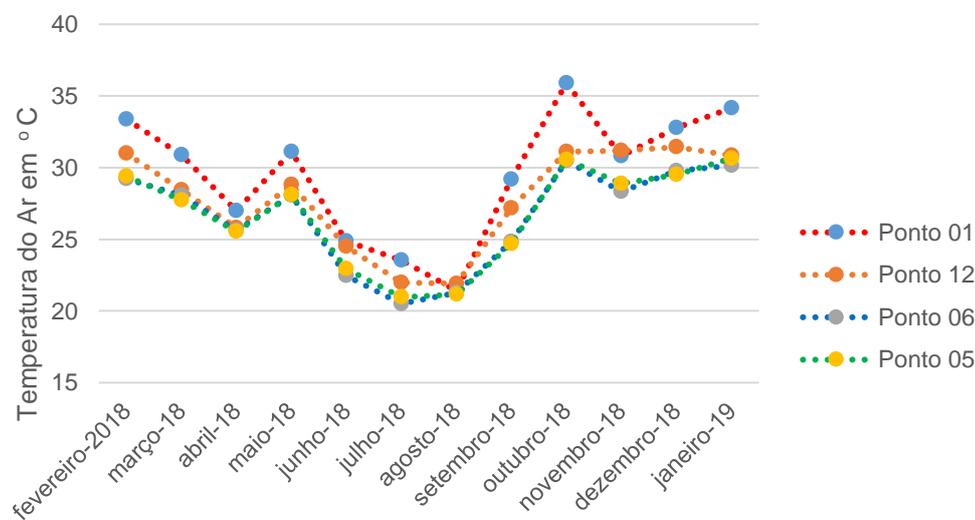


(b)

FIGURA 37 - Temperatura do ar nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO



(a)



(b)

FIGURA 38 - Temperatura do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO

Para comparar diferentes usos e ocupações do solo urbano, Oke et al. (2017) elenca alguns parâmetros para caracterização de uma área urbana. Dois deles, pertinentes a esta pesquisa, são: (i) a taxa de impermeabilização da área considerada; (ii) a razão H/W que expressa diferentes cânions urbanos. As diferentes formas urbanas podem provocar alterações nos microclimas e por consequência, alterar os processos químicos e físicos presentes na atmosfera modificando a qualidade do ar.

A Figura 39 mostra os pontos 13 e 14, do transecto móvel SE-NO, os quais têm as maiores temperaturas do ar. Este comportamento pode estar ocorrendo devido a

elevada impermeabilidade da área que circunda esses pontos e a razão H/W, característica que altera o balanço de energia, as variáveis termo-higrométricas e a dispersão e concentração de poluentes.

Em outro sentido, os pontos 2 e 3 têm alta permeabilidade e pequena razão H/W. O ponto 2 e 3 são constituídos por construções de um ou dois pavimentos, o ponto 2 tem boa permeabilidade pela presença de solo nu e o 3 por vegetação rasteira (Figura 40).

Nas Figuras 39 e 40, observa-se que o uso e ocupação do solo são diferentes. As medições das variáveis termo-higrométricas apontam diferentes comportamentos microclimáticos, mais severos na região de elevado percentual construído e elevado fluxo de veículos e pessoas. Estes aspectos e a direção prevalecente do vento, direção SE-NO, indicam a possibilidade de a qualidade do ar ser melhor nos pontos 2 e 3 se comparados aos pontos 13 e 14. As variáveis microclimáticas podem melhorar, ou piorar a qualidade do ar, já que podem interferir nas concentrações de poluentes primários e secundários nos locais em que os cidadãos estão e na dispersão desses poluentes. Vários estudos demonstram estas possíveis correlações.

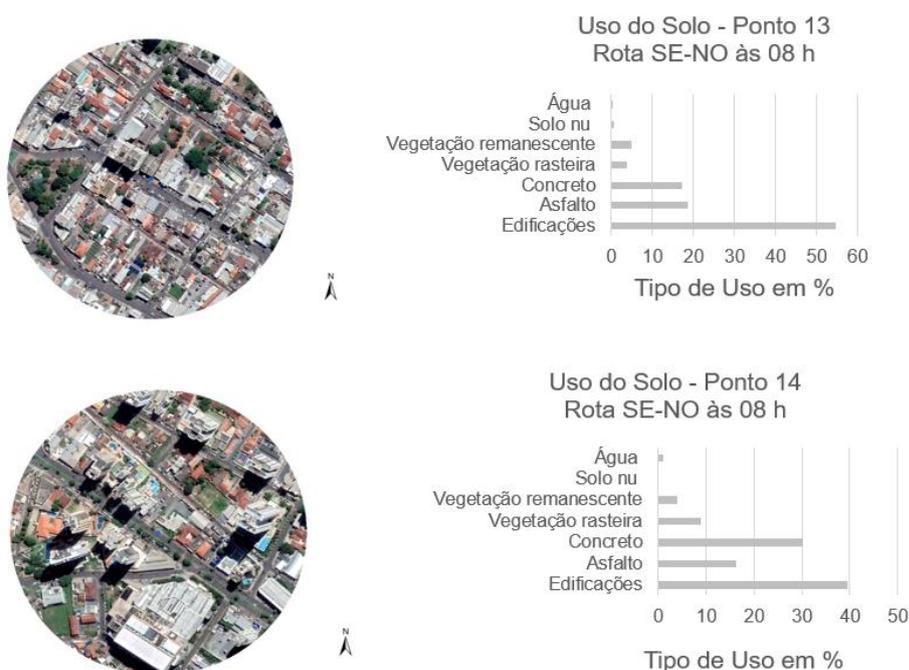


FIGURA 39 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 13 e 14 do transecto móvel SE-NO.

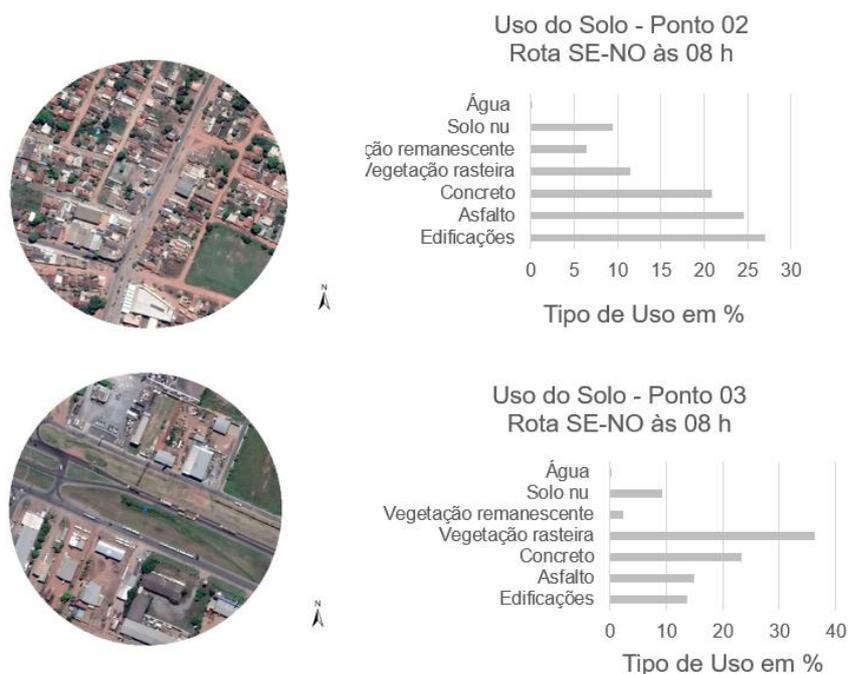


FIGURA 40 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 02 e 03 do transecto móvel SE-NO.

Esta situação é agravada na região central da cidade devido aos cânions urbanos que afetam o balanço de energia, os microclimas, a circulação de ar, a dispersão e a circulação dos poluentes atmosféricos.

Na Figura 38 pode ser observado que a temperatura do ar no transecto NE-SO também sofre alterações, segundo o uso e ocupação do solo. Os pontos 1 e 12 têm temperaturas do ar maiores e os pontos 5 e 6 temperaturas do ar menores, o uso e ocupação do solo tem aspectos distintos nesses pontos referidos (Figura 41 e 42).

Os resultados das medições apontam que a temperatura do ar depende do tipo de uso e ocupação do solo urbano. Os pontos de maior temperatura do ar têm um maior percentual de edificações e áreas de vegetação mais reduzidas e os pontos 5 e 6, têm estas proporções invertidas. O ponto 06 é o de menor temperatura do ar e também o de maior percentual de vegetação e há uma redução, no percentual, nas áreas utilizadas para edificações.

No que se refere a variabilidade da temperatura do ar no transecto NE-SO, o que se observa é que a temperatura varia entre um ponto e outro. Nesse transecto a maior variabilidade ocorreu nos meses de setembro, outubro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019, sendo maiores entre os pontos 1 e 6. A diferença chegou a 5,4 °C em outubro, a 4,5 °C em setembro, um mês de baixa umidade relativa do ar. Em dezembro de 2018 e janeiro de 2019 a diferença chegou respectivamente a 3,3 °C e 3,5 °C. Nos meses de maiores temperatura do ar foram detectadas, nas medições da manhã, a formação de ilhas de calor, de intensidade moderada nos meses de setembro e outubro de 2018 e intensidade fraca nos meses de fevereiro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019, conforme classificação proposta por Brandão (2003).

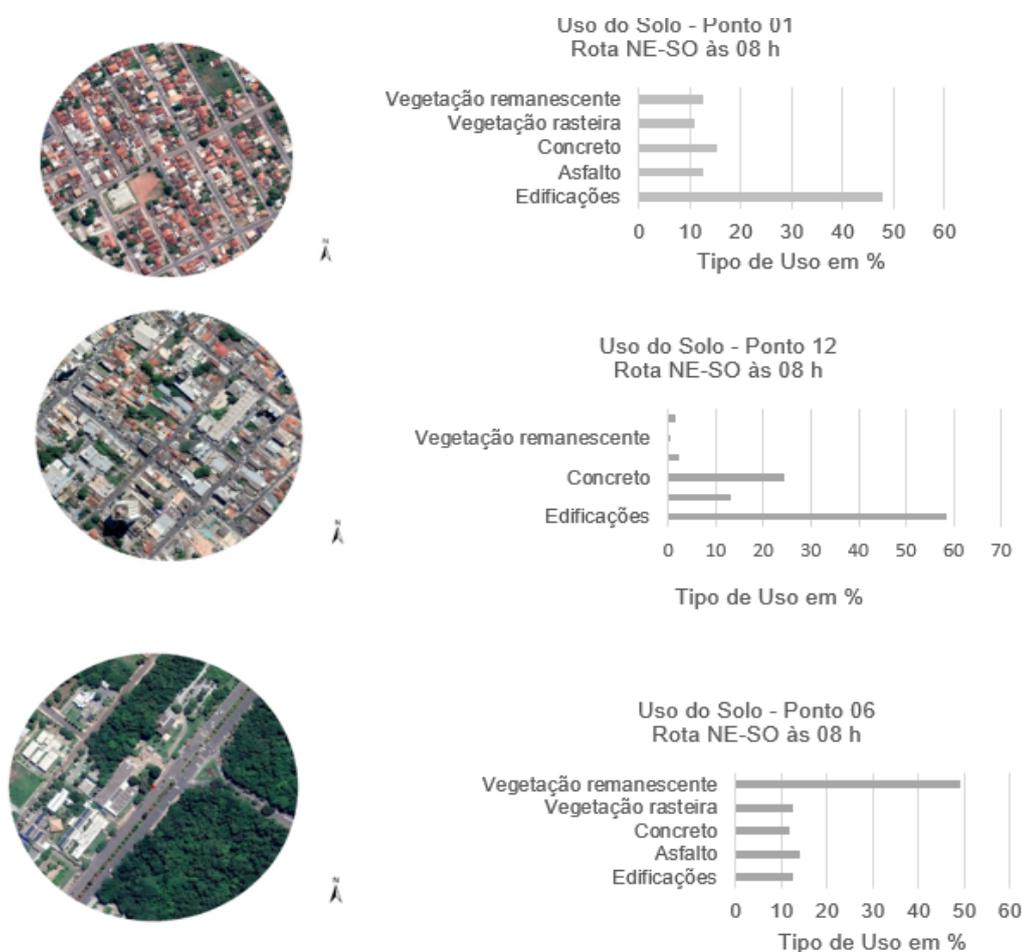


FIGURA 41 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01, 06 e 12 do transecto móvel NE-SO.

Nos meses de menores temperaturas do ar, no transecto móvel NE-SO, de junho a agosto de 2018, as medidas demonstram pequena variação. Ainda que a análise deva ser feita no âmbito da estatística, para uma maior consistência e abrangência nas inferências que serão feitas em itens subsequentes deste trabalho, onde a abordagem buscará minimizar as distorções da multicolinearidade e investigar as correlações entre as variáveis, é possível apontar por meio dos resultados, que a temperatura do ar está associada ao tipo de uso e ocupação do solo. Os pontos de maior temperatura estão em uma área de grande fluxo de veículos e utilização comercial e têm um maior percentual de edificações e áreas de vegetação mais reduzidas.



FIGURA 42 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Ponto 05 do transecto móvel NE-SO.

4.3.2. Temperatura do Ar (Período da Tarde)

As medições feitas nos transectos móveis SE-NO e NE-SO permitem observar uma variabilidade sazonal e espacial da temperatura do ar. As medições foram realizadas a tarde, no horário das 14 h às 15 h, exceção feita aos meses novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 15 h às 16 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 18 h às 19 h UTC.

No transecto móvel SE-NO foi observado que, nos meses de abril, maio e agosto de 2018 foram registradas as menores temperaturas do ar, com valores médios

iguais a 30,1 °C, em abril de 2018, 31,02 °C, em maio de 2018, e 28,01 °C em agosto de 2018. A menor temperatura ocorreu no mês de agosto de 2018, período onde ocorre uma redução na radiação solar e, no ano de 2018, a chegada de algumas frentes frias provenientes da região sul. Nos meses de fevereiro, setembro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019 ocorreram os registros dos maiores valores da temperatura do ar, com valores médios iguais a 36,8 °C, em fevereiro de 2018, 36,1 °C, em setembro de 2018, 37 °C, em dezembro de 2018, e 38,3 °C em janeiro de 2019 (Figura 43). O mês de setembro caracterizou-se pela baixa umidade o que pode explicar as altas temperaturas, já as elevações ocorridas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro se referem ao período de maior radiação solar.

No transecto móvel NE-SO foi observado que, as menores temperaturas do ar ocorreram em agosto e abril de 2018, sendo 28,04 °C e 30,26 °C, respectivamente, em agosto e abril de 2018. Na estação quente e úmida foram registradas temperaturas do ar mais elevadas, onde se destacam os meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019, com valores médios respectivamente iguais a 38,3 °C e 38,2 °C (Figura 43).

No período da tarde os dados se submeteram de maneira parcial a sazonalidade, a forma e função da cidade associada a exposição à radiação solar provocam o surgimento de uma gama muito maior de microclimas na cidade.

Na Figura 43, observa-se que, no transecto SE-NO, há uma variabilidade espacial, a qual pode estar associada ao tipo de uso do solo, os pontos 01, 09 e 13 de temperaturas do ar maiores e os pontos 3 e 15 de temperaturas do ar menores, têm aspectos distintos no que se refere a ocupação do solo. Este comportamento se acentua nos meses de fevereiro, abril, maio, junho julho, novembro e dezembro de 2018. A maior diferença ocorreu em fevereiro e novembro de 2018, chegando a 9,7 °C em novembro de 2018. Diferente dos resultados obtidos em alguns meses em que houve uma inversão de comportamento, de forma especial em agosto de 2018, o mês de menor média de temperatura do ar e setembro de 2018, mês extremamente seco com alteração da vegetação remanescente, que predomina no ponto 15.

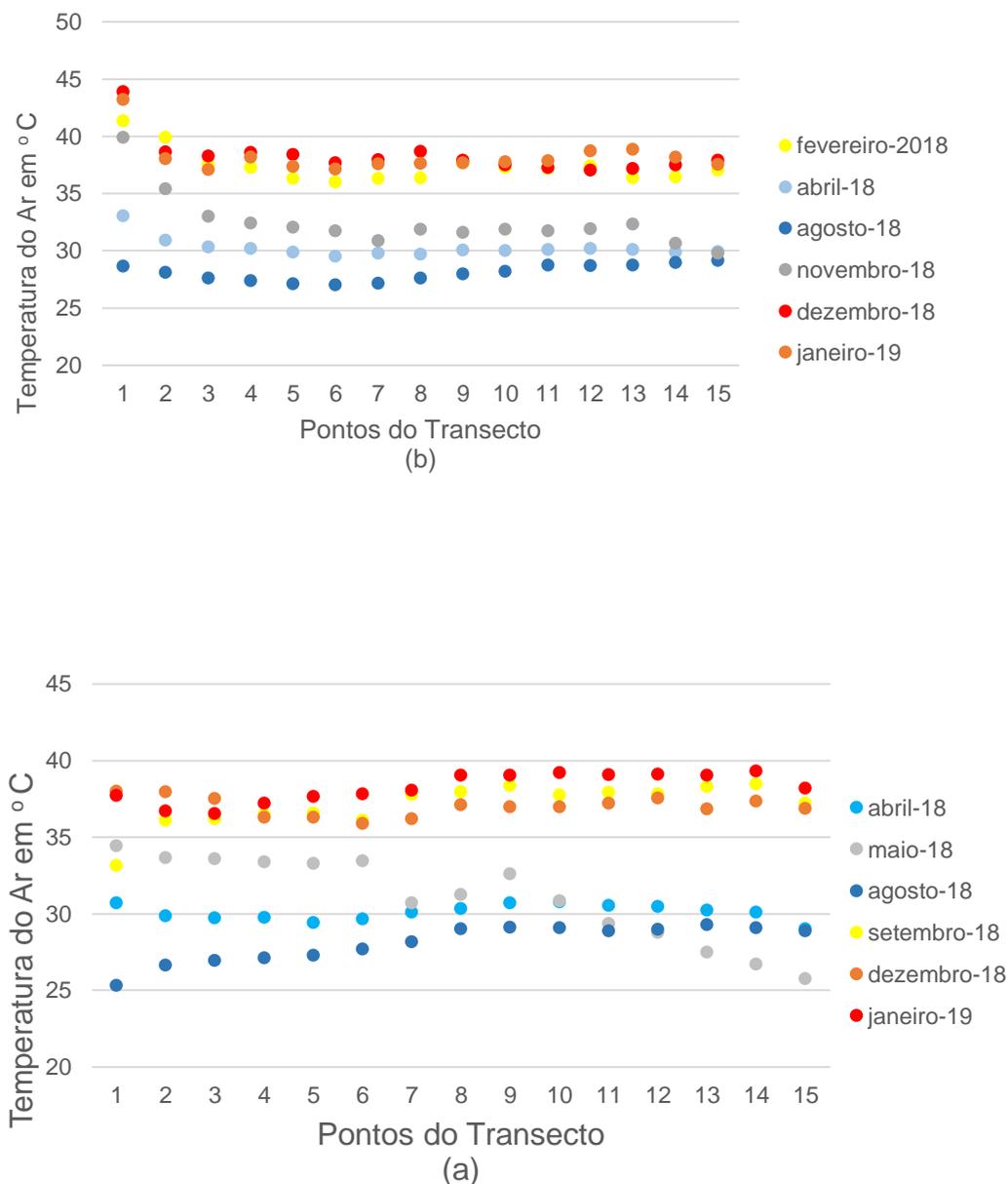


FIGURA 43 - Temperatura do ar nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO

Na medição da tarde o efeito das variáveis de uso e ocupação do solo é minimizado e há uma maior dependência das variações meteorológicas. A radiação solar é a variável que protagoniza as alterações nos fluxos de energia, concentrações e difusões de poluentes atmosféricos. O uso e ocupação do solo interferem de maneira menos acentuada. Os pontos de maior temperatura do ar média, 01 e 09 (Figura 45) estão em uma área de grande fluxo de veículos e utilização comercial e têm um maior percentual de edificações e áreas de vegetação mais reduzidas. Os pontos 03 e 15 (Figura 44a), têm estas proporções invertidas, o ponto 03 tem um bom percentual de

vegetação rasteira e o ponto 15 é o de menor temperatura do ar e também o de maior percentual de vegetação remanescente e há uma redução, no percentual, nas áreas utilizadas para edificações.

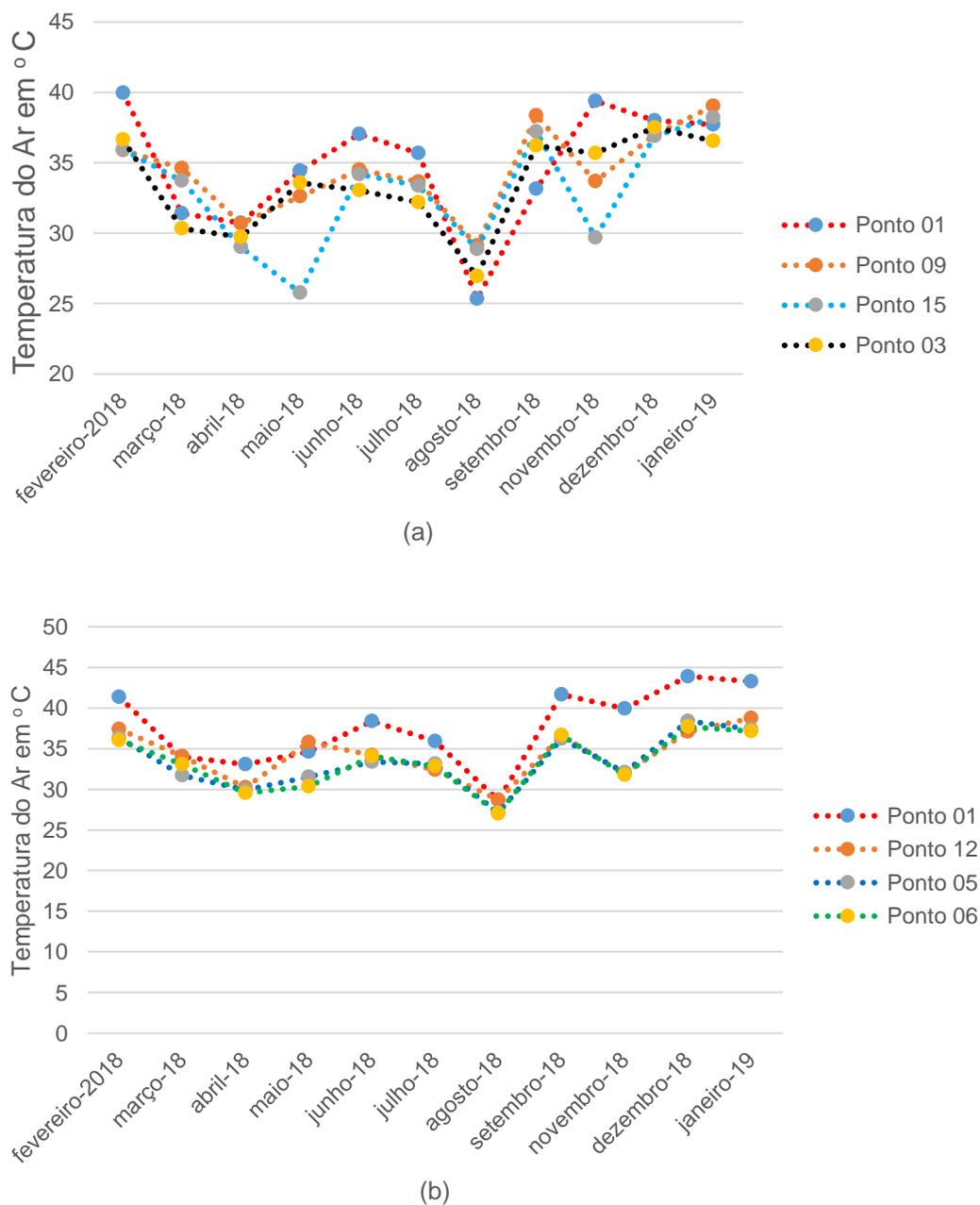


FIGURA 44 - Temperatura do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 14 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO

Na Figura 44 (b), observa-se que há uma variação da temperatura do ar com relação ao uso e ocupação do solo no transecto móvel NE-SO. O ponto 01 tem temperatura do ar mais elevada, um valor médio $37,7^{\circ}\text{C}$, e, o ponto 06 com temperatura do ar menor, valor médio de $33,3^{\circ}\text{C}$. Na Figura 44 (b) é possível identificar que a variabilidade é menor no mês de menor temperatura, agosto de 2018.

O ponto 01 está em uma região intensamente urbanizada. As edificações e asfalto afetam o balanço de energia na camada CDU e acentuam os valores da temperatura do ar.

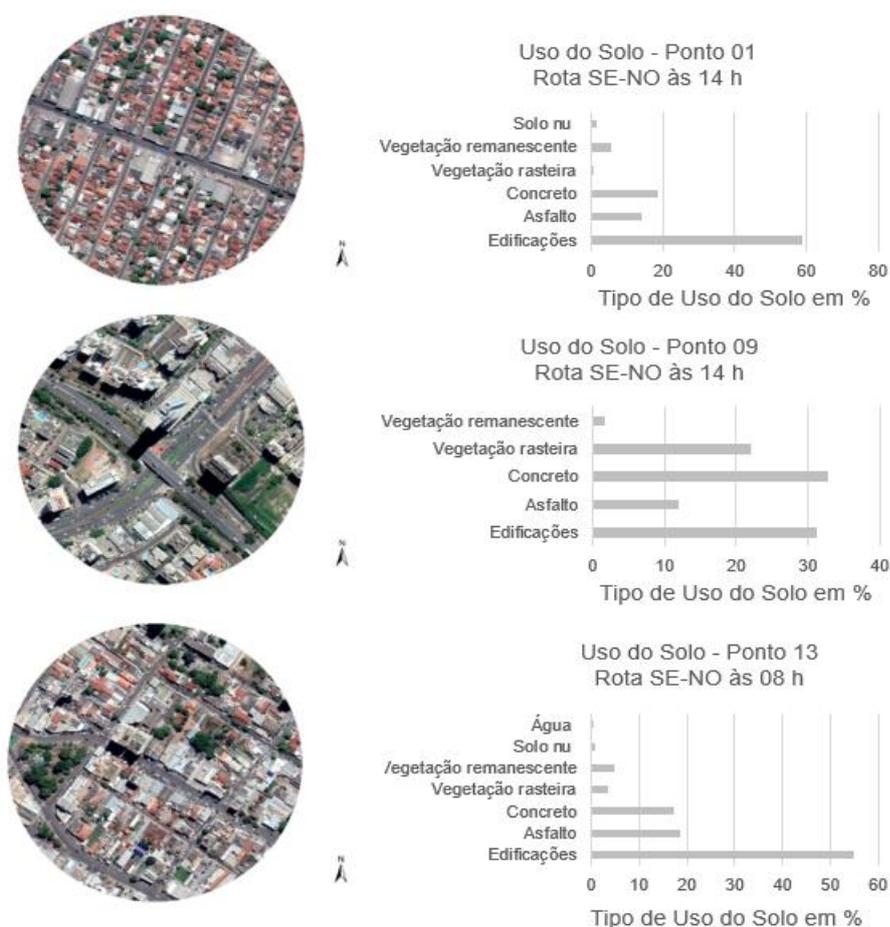


FIGURA 45 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01, 09 e 13 do transecto móvel SE-NO.

Na Figura 47, observa-se que há uma variabilidade espacial no transecto NE-SO, a qual pode estar associada ao tipo de uso do solo, o ponto 01 de temperatura do ar maior e o ponto 06 de temperatura do ar menor, tem aspectos distintos no que se

refere a ocupação do solo. Esta variabilidade pode estar ligada aos diferentes tipos de uso do solo nos pontos considerados. O ponto 01 tem temperatura do ar mais elevada, um valor médio $37,7^{\circ}\text{C}$, e, o ponto 06 com temperatura do ar menor, valor médio de $33,3^{\circ}\text{C}$. Na Figura 47, observa-se uma menor variabilidade da temperatura do ar no mês mais frio, agosto de 2018, onde não ocorre, no transecto, a identificação de ilhas de calor. A temperatura do ar média foi de $28,01^{\circ}\text{C}$. O ponto 01 está em uma região intensamente urbanizada. As edificações e o asfalto afetam o balanço de energia na CDU e acentuam os valores de temperatura do ar.

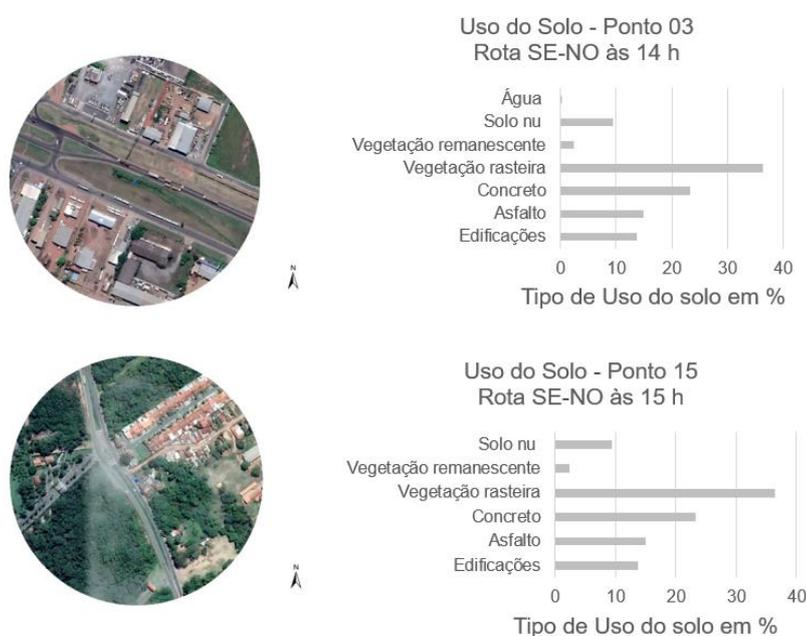


FIGURA 46 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 03 e 15 do transecto móvel SE-NO.

A comparação dos pontos de maiores e menores temperatura do ar possibilitam a afirmação de que há uma dependência sazonal e do tipo de uso do solo que alteram a temperatura do ar.

Na Figura 44, observa-se que nos pontos considerados, o período de maior temperatura do ar ocorreu nos meses de fevereiro e dezembro de 2018 e, janeiro de 2019 e um período de temperaturas menores, no mês de agosto de 2018.

No período da tarde as variações da temperatura do ar têm um comportamento mais inconstante se comparado com as medições do período da manhã. A análise da interdependência das variáveis termo-higrométricas com o tipo de uso e ocupação do solo precisa ser trabalhada no âmbito da estatística, para uma maior consistência e abrangência nas inferências que serão feitas nesta pesquisa, por meio de abordagens que minimizem as distorções da multicolinearidade e possibilitem a investigação de possíveis correlações entre essas variáveis.

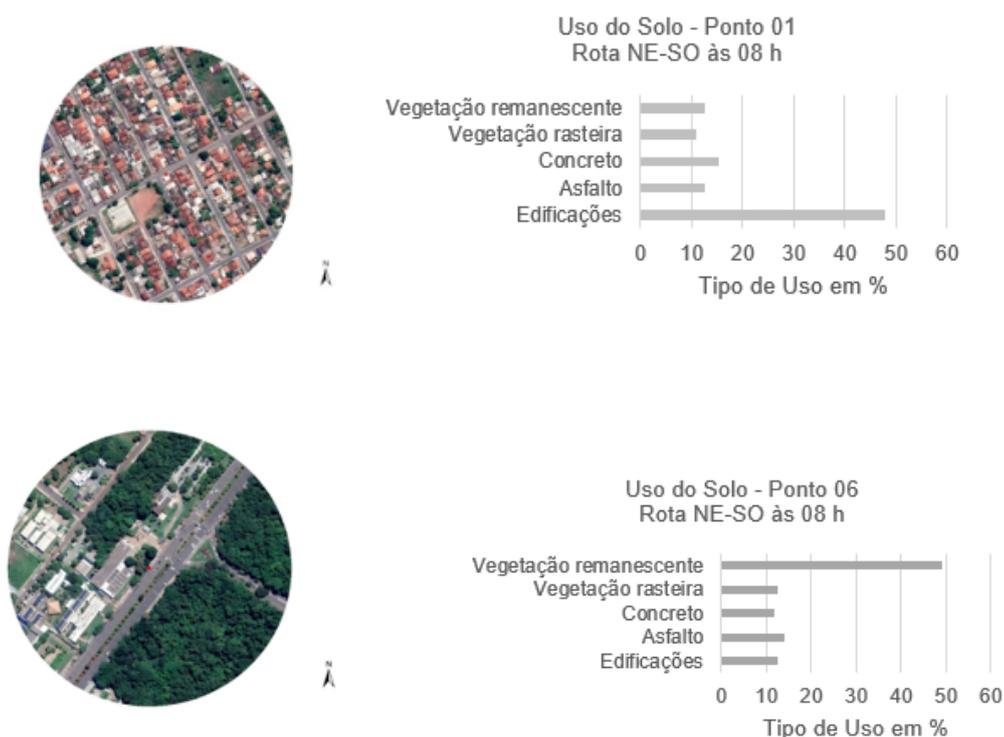


FIGURA 47 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01 e 06 do transecto móvel NE-SO.

A princípio é possível apontar que os resultados de temperatura do ar dependem do tipo de uso do solo na medição da tarde, porém de forma menos acentuada se comparado ao comportamento que ocorre no período da manhã. O tempo de exposição aos raios solares altera os fluxos de energia e as propriedades físicas e químicas da atmosfera de forma a reduzir as diferenças pontuais entre as grandezas termo-higrométricas.

4.3.3. Umidade Relativa do Ar (Período da Manhã)

As medições feitas nos transectos móveis, SE-NO e NE-SO, permitem observar uma variabilidade da umidade relativa do ar sujeita a sazonalidade e ao uso e ocupação do solo. As medições foram realizadas pela manhã, no horário das 8 h às 9 h, exceção feita aos meses de novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 9h às 10 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 12 h às 13 h UTC.

No transecto móvel SE-NO, nos meses de abril, junho a agosto de 2018 foram registradas as maiores umidades relativas do ar, com valores médios respectivamente iguais a 80%, em abril de 2018, a 74%, em junho e agosto de 2018. Estas maiores médias de umidade relativa do ar ocorreram em abril 2018, mês em que as chuvas foram frequentes e nos meses de junho e agosto de 2018, onde foram registradas temperaturas menores que a média anual, sendo o mês de agosto o mês de menor valor médio de temperatura do ar no período das medições. Neste período no bioma do cerrado, vegetação que predomina no entorno de Cuiabá e em áreas de vegetação remanescente no perímetro urbano, pode ocorrer a formação de nevoeiros e a formação de grande quantidade de orvalho nas primeiras horas da manhã (COUTINHO, 2020).

Nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019, no transecto SE-NO, ocorreram valores intermediários entre o período de maiores e menores umidades, neste período há um aumento na intensidade das chuvas, porém há também um aumento na incidência de radiação solar (Figura 27). Na Figura 48 é perceptível esse comportamento.

Em comportamento semelhante ao do transecto móvel SE-NO. O outro transecto móvel, NE-SO, tem nos meses de abril, março, junho e agosto de 2018 as maiores umidades relativas do ar, com valores médios respectivamente iguais a 79%, em abril, a 77%, em março, e 76% em junho e agosto de 2018.

Essas maiores médias de umidade relativa do ar ocorreram em março e abril 2018, meses em que as chuvas foram frequentes e nos meses de junho e agosto de 2018, onde foram registradas temperaturas menores que a média anual, sendo o mês de agosto o mês de menor valor médio de temperatura do ar no período das medições.

Neste período as manhãs são úmidas pela formação do orvalho noturno que permanece no ambiente nas primeiras horas da manhã. Nos meses de fevereiro e dezembro de 2018 a janeiro de 2019 ocorreram valores intermediários entre o período das maiores e menores umidades. Nesse período há um aumento na intensidade das chuvas, porém há também um aumento na incidência de radiação solar (Figura 27). A maior umidade relativa do ar ocorreu em março de 2018, com 82%, e o mês de menor umidade relativa do ar foi em setembro de 2018, com 36%.

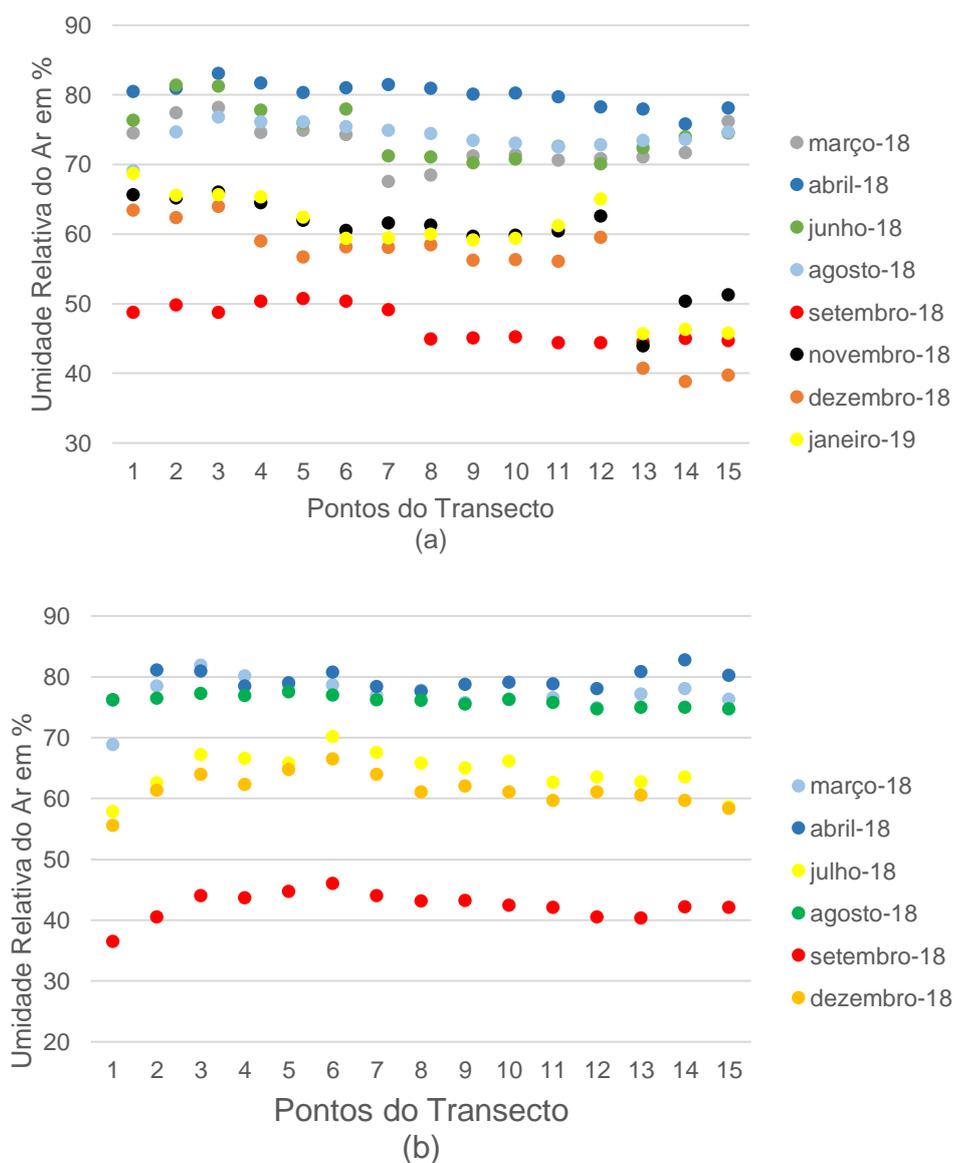


FIGURA 48 – Umidade relativa do ar nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO

Os dois transectos móveis, SE-NO e NE-SO, têm comportamentos semelhantes no que se refere ao comportamento sazonal e em alguns meses da estação quente e seca há uma alta umidade relativa pela manhã, a possível explicação é a grande quantidade de orvalho que pode se formar no período da noite. O transecto SE-NO tem a umidade relativa do ar um pouco mais elevada que o NE-SO. O maior percentual de área vegetada pode contribuir para este comportamento.

Quanto a variação com o uso e ocupação do solo os pontos 13 e 14, do transecto móvel SE-NO, têm as menores umidades relativas do ar, com valores médios anuais respectivamente iguais a 60% e 61%. Os pontos 2 e 3, do mesmo transecto móvel, apresentaram as umidades relativas do ar com as maiores médias anuais, com valores respectivamente iguais a 69% e 70%. Na Figura 49, pode-se observar que a variação da umidade relativa do ar é menor no período de menores temperaturas e menor radiação solar. Em agosto e setembro de 2018 as diferenças foram respectivamente iguais 3% e 4%.

Nesse transecto, nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019, período de aumento na radiação solar, as diferenças com o uso e ocupação do solo foram acentuadas chegando a 25% em dezembro de 2018, a 19% em janeiro de 2019 e a 16% em novembro de 2018. Na medição matutina os resultados confirmam a sazonalidade do clima nas duas estações, quente e úmida e quente e seca.

Na Figura 49, no transecto NE-SO, observa-se que a variabilidade espacial pode estar ligada ao tipo de uso do solo, visto que o comportamento é distinto com relação aos pontos considerados. Os pontos 01 e 12 têm as menores umidades relativas do ar, com valores médios anuais respectivamente iguais a 60% e 61%. Os pontos 3 e 6 apresentaram as umidades relativas do ar com as maiores médias anuais, com valores respectivamente iguais a 64 % e 66 %. Na Figura 49, pode-se identificar os meses onde ocorreram as maiores ou menores umidades relativas do ar. Há uma menor variabilidade entre os pontos de medições no período de menores temperaturas e menor radiação solar. Em agosto e setembro de 2018, as diferenças foram respectivamente iguais 1 % e 9 %. Nos meses de outubro e julho de 2018 ocorreram as maiores diferenças, valores iguais a, 16 % em outubro de 2018, e 13 % em julho de 2018. No período de novembro de 2018 a janeiro de 2019, período de aumento na

radiação solar, as diferenças espaciais foram intermediárias chegando a 11% em dezembro de 2018, a 10% em janeiro de 2019 e a 12% em novembro de 2018.

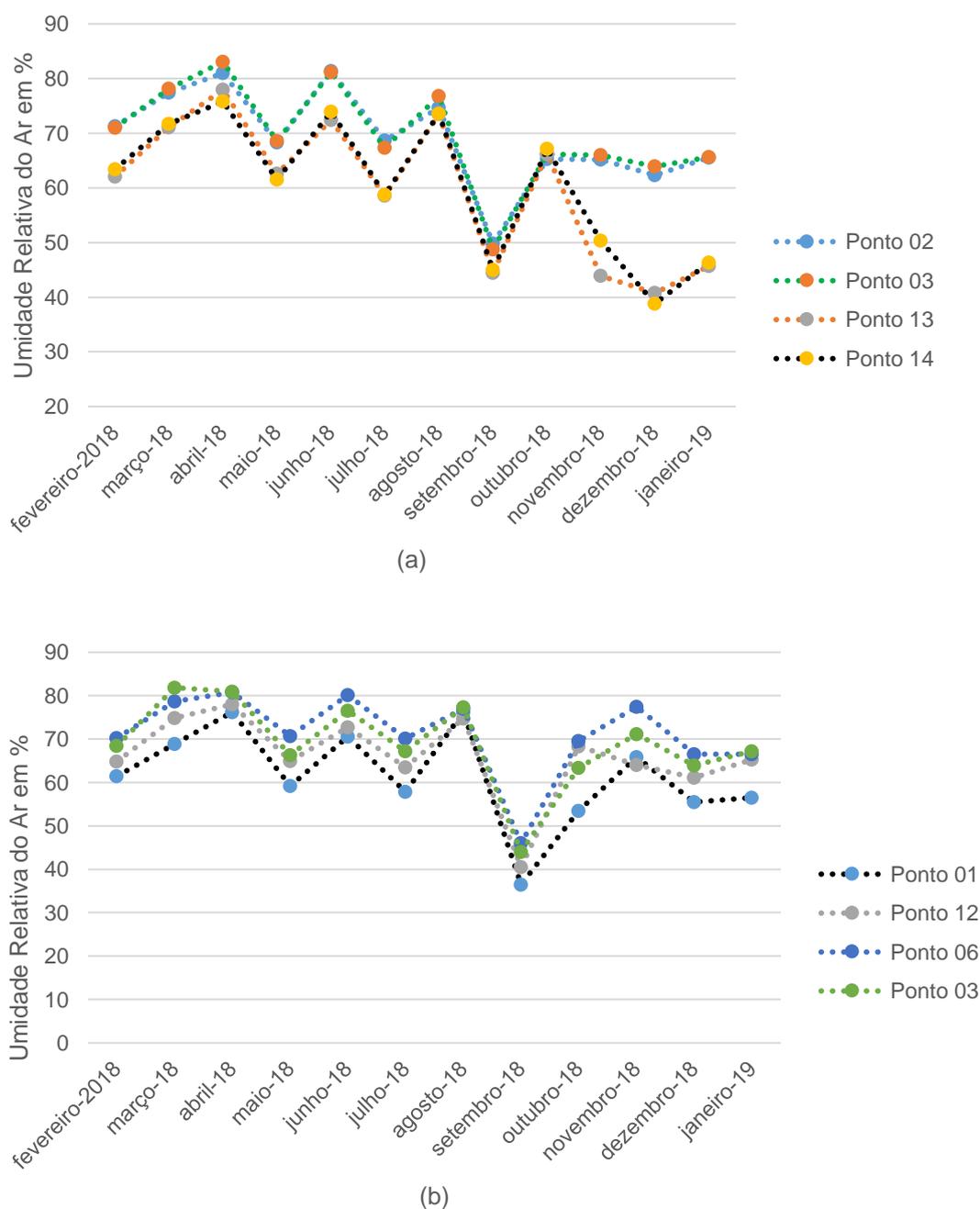


FIGURA 49 – Umidade relativa do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO.

A comparação dos pontos de maiores e menores umidades relativas do ar possibilitam a afirmação de que há uma dependência sazonal e do tipo de uso e ocupação do solo que altera a umidade relativa do ar, também no transecto móvel NE-SO.

4.3.4. Umidade Relativa do Ar (Período da Tarde)

As medições feitas nos transectos móveis, SE-NO e NE-SO, permitem observar uma variabilidade da umidade relativa do ar sujeita a sazonalidade e ao uso e ocupação do solo. As medições foram realizadas a tarde, no horário das 14 h às 15 h, exceção feita aos meses novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 15 h às 16 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 18 h às 19 h UTC.

No transecto móvel SE-NO, nos meses de abril, maio e novembro de 2018 foram registradas as maiores umidades relativas do ar, com valores médios iguais a 63%, em abril de 2018 e a 58%, em maio e novembro de 2018 (Figura 50). As maiores médias de umidade relativa do ar, ocorridas em abril e novembro de 2018 podem ser explicadas pelas chuvas frequentes que ocorreram nesses dois meses.

Nos meses de junho, julho e setembro de 2018, no transecto móvel SE-NO, ocorreram as menores médias de umidade relativa do ar, com valores de 20% em setembro de 2018, 34% em junho de 2018 e 37% em julho de 2018, confirmando a estação quente e seca presente no clima do cerrado mato-grossense. É possível a observação de dois extremos no que se refere a umidade relativa do ar, abril de 2018, 58% e setembro de 2018, 20%.

No transecto NE-SO, observa-se que nos meses de abril, março e novembro de 2018 foram registradas as maiores umidades relativas do ar, com valores médios respectivamente iguais a 62%, em abril, 56%, em março e 65% em novembro de 2018. Essas maiores médias de umidade relativa do ar ocorreram em março e novembro onde ter aumentado a umidade relativa do ar nesses meses. Nos meses de junho a setembro de 2018, exceção feita a agosto do mesmo ano, ocorreram os menores valores médios de umidade relativa do ar, coincidindo com o período de pouca incidência de chuvas

e menor incidência de radiação solar. Os valores médios registrados foram 38% em julho, 34% em junho e 21% em setembro de 2018 (Figura 50).

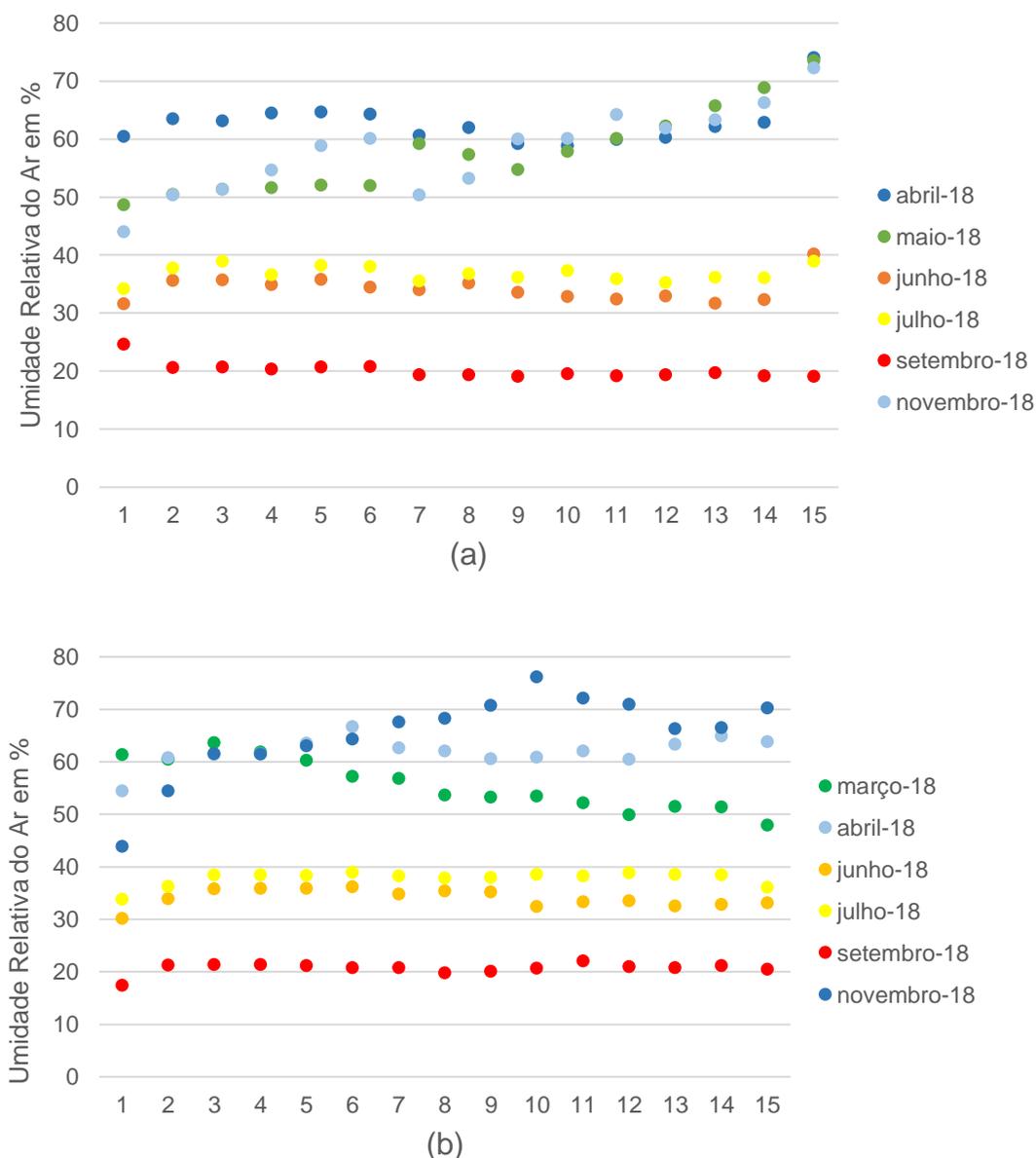


FIGURA 50 – Umidade relativa do ar nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO

O mês de agosto teve um comportamento diferente, tendo sido registrado valor médio de umidade relativa do ar igual a 54%, o mês de agosto de 2018 foi o que teve a menor temperatura do período das medições. Na Figura 50, observa-se a variação mensal da umidade relativa do ar.

Outro aspecto a ser destacado é que nos dois transectos móveis os valores de umidade relativa do ar são diferentes para os vários pontos. Essa variabilidade pode estar relacionada ao uso e ocupação do solo urbano. A existência ou não de correlação entre essas variáveis pode ser investigada com a utilização de análises estatísticas multivariadas, objeto desta pesquisa em item subsequente. A provável correlação entre variáveis microclimáticas e o uso e ocupação do solo urbano pode representar uma influência da forma e função urbana sobre a dispersão e concentração de poluentes atmosféricos já que várias pesquisas atestam a correlação entre a qualidade do ar e os parâmetros meteorológicos e microclimáticos.

No que se refere a interferência do uso e ocupação do solo urbano e sua influência sobre a umidade relativa do ar, o que se observa, é que no transecto SE-NO há uma redução nas diferenças entre as umidades relativas do ar nos vários pontos na estação quente e seca. Nesse transecto esta redução ocorreu de julho a setembro de 2018, a possível razão é que a redução da umidade relativa do ar, traz junto, uma redução no fluxo de energia por calor latente e uma maior troca na forma de calor sensível, tornando as diferenças entre os pontos de medições menos acentuadas. Ocorre uma ampliação nas diferenças entre as umidades relativas do ar, nos vários pontos do transecto, no período de fevereiro a maio de 2018 e novembro do mesmo ano, provavelmente pela distribuição de chuvas em noites anteriores aos dias de medições em algumas regiões do transecto. Em setembro as diferenças são menores, neste caso, a menor diferença pode estar ligada a baixa umidade relativa do ar.

Nos meses de fevereiro a abril de 2018, ocorreu a acentuação das diferenças das umidades relativas do ar entre os pontos de medições. Esta variabilidade espacial pode estar associada ao tipo de uso do solo em conjunto com as condições meteorológicas. Nos pontos 03 e 15 as umidades relativas do ar são maiores e nos pontos 01 e 09, as umidades relativas do ar são menores. Os pontos têm aspectos distintos no que se refere a ocupação do solo (Figuras 51 e 52).

Os pontos de menores umidades relativas do ar, 01 e 09 (Figura 52), têm condições urbanas que tendem a reduzir a umidade relativa do ar. O ponto 01, apesar de estar localizado em região periférica do município, concentra um grande número

de habitantes e tem uso urbano intenso, sendo região de uso múltiplo, como região domiciliar, de comércio e de serviços.

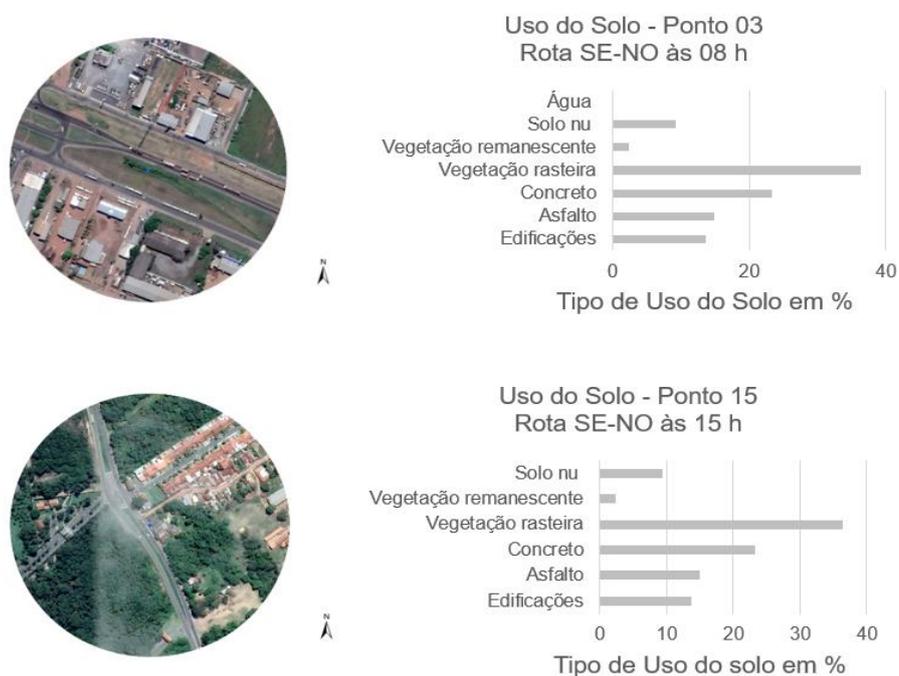


FIGURA 51 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 03 e 15 do transecto SE-NO.

O ponto 09 está na região central da cidade, próximo a um grande shopping do município e às vias de tráfego intenso de veículos, além do alto percentual de cobertura do solo com edificações e pavimentações, dois fatores que podem contribuir com a intensificação do fluxo de energia e a consequente redução da umidade relativa do ar. Os pontos 3 e 15 (Figura 51), têm estas proporções invertidas com relação aos pontos 01 e 09, tendo um maior percentual de vegetação e uma redução, no percentual, das áreas utilizadas para edificações e pavimentações.

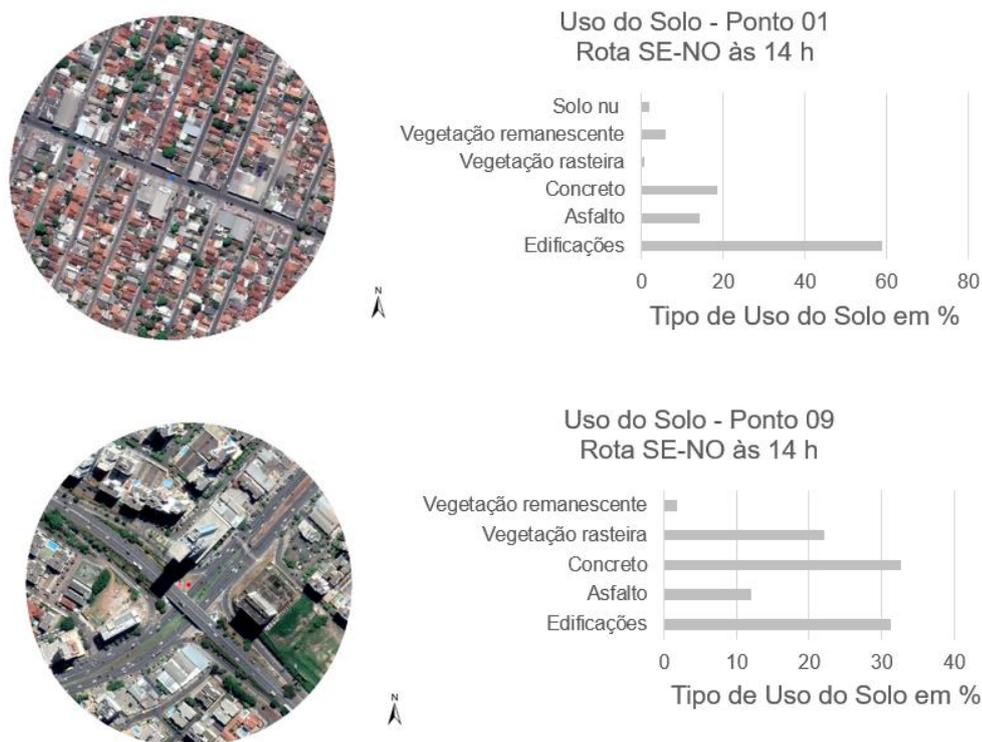


FIGURA 52 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 01 e 09 do transecto SE-NO.

Na Figura 53, observa-se a variação das umidades relativas do ar entre os pontos de medições no período da pesquisa.

No transecto NE-SO, o comportamento da variação da umidade relativa do ar com os meses e os pontos de medições é similar ao do transecto móvel SE-NO. Na Figura 53, observa-se que nos pontos considerados, há um mês de maior umidade relativa do ar, maio de 2018, com 77%, e um mês de menor umidade relativa do ar, setembro de 2018, com 21%. A maior variabilidade ocorre nos meses de maio e novembro de 2018, períodos de transição entre as estações úmidas e secas. No período quente e seco, meses de junho a setembro de 2018, ocorre um arrefecimento nas diferenças espaciais das umidades relativas do ar.

Esta variabilidade entre os pontos pode estar associada ao tipo de uso do solo, os pontos 03, 05 e 06 de umidades relativas do ar maiores e os pontos 01, 02 e 13 de umidades relativas do ar menores tem aspectos distintos no que se refere a ocupação do solo.

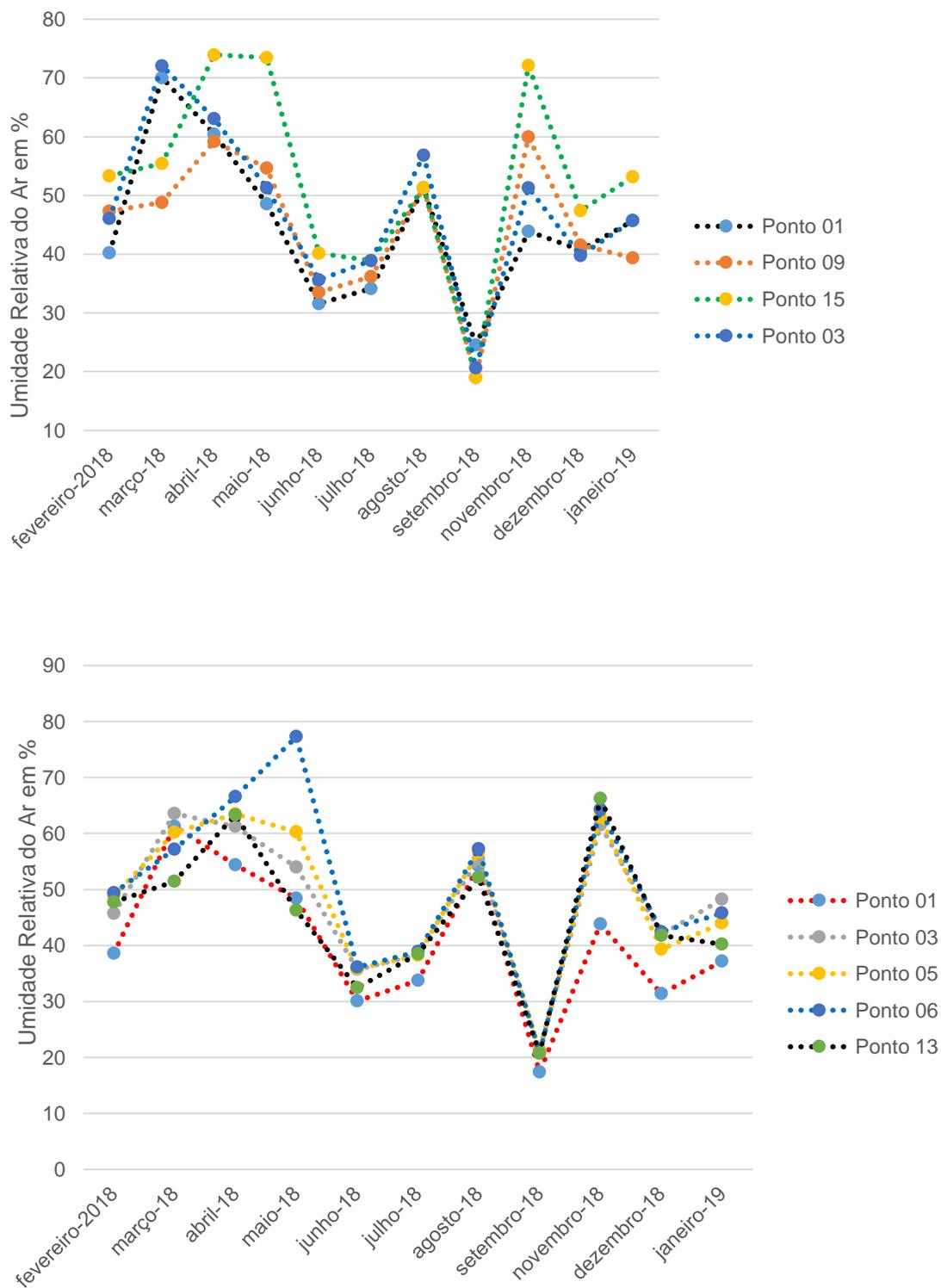


FIGURA 53 – Umidade relativa do ar em pontos de diferentes formas urbanas, uso e ocupação do solo, às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO

Os pontos de menores umidades relativas do ar, 01, 02 e 13, estão em áreas de intenso uso urbano, os pontos 01 e 02 estão em áreas domiciliares de grande concentração populacional e fluxo de veículos de acesso a vários bairros ao centro da cidade e, o ponto 13, na área central da cidade tem ocupação predominantemente comercial com grande fluxo de veículos e alterações na circulação de ar por conta da formação dos cânions urbanos.

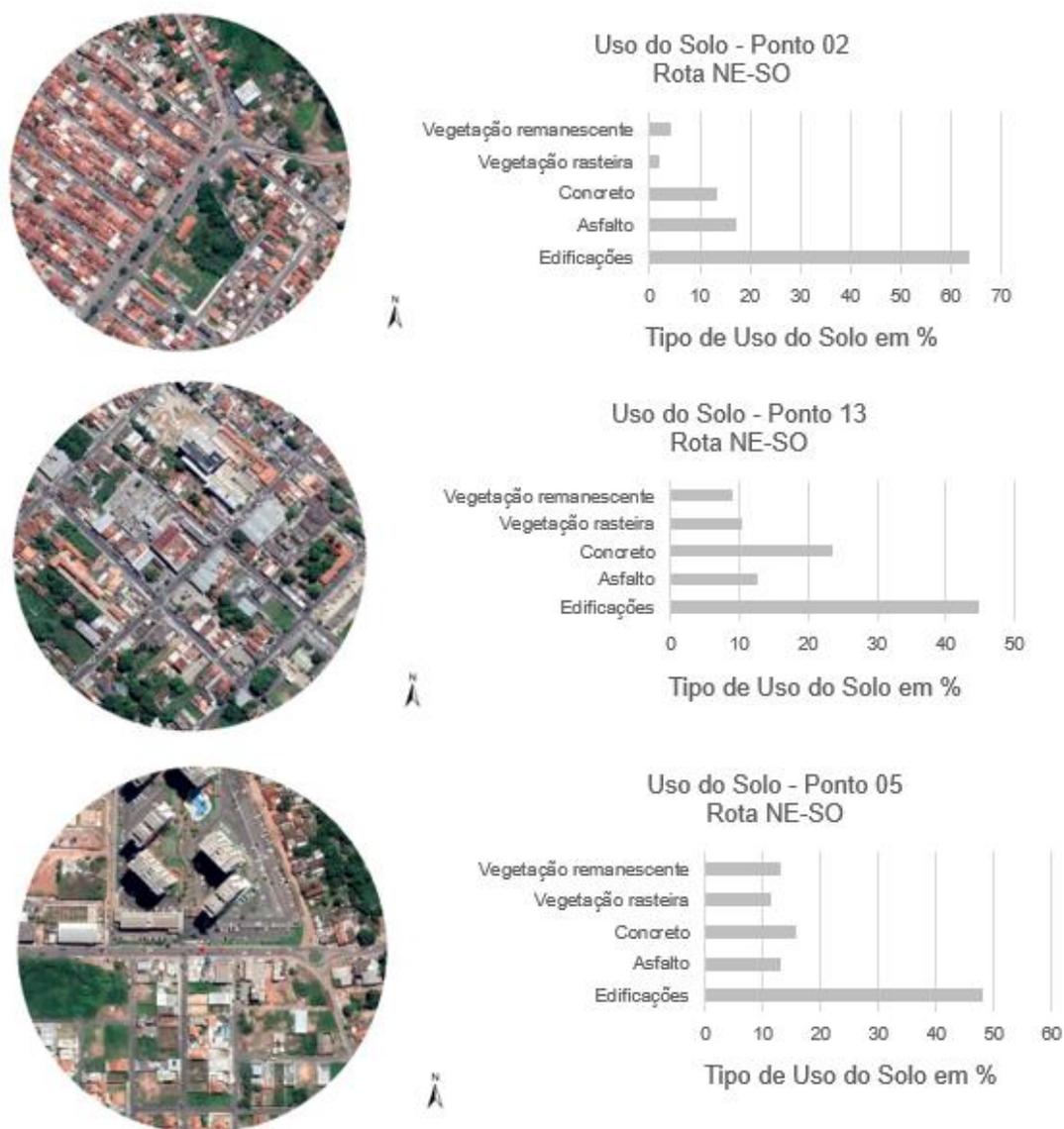


FIGURA 54 – Uso e Ocupação do Solo. Imagem e percentuais por tipo de uso e ocupação. Pontos 02, 05 e 13 do transecto NE-SO.

Os pontos 01 e 02 têm um maior percentual de edificações e áreas de vegetação praticamente inexistentes e o ponto 13 têm áreas predominante edificadas e pavimentadas, além de ser um corredor de tráfego de veículos, esta conjunção de fatores podem estar afetando a umidade relativa do ar. O ponto 03 tem um percentual de 35% de vegetação, incluindo a rasteira e a remanescente, além de estar próximo ao Parque Municipal Lagoa Encantada. O ponto 06 é o de maior umidade relativa do ar e também o de maior percentual de vegetação é próximo ao Parque Estadual Massairo Okamura e há uma redução no percentual, nas áreas utilizadas para edificações e um percentual de vegetação próximo a 60%.

O ponto 05 também tem umidade relativa do ar maior que a média dos demais pontos, com exceção do ponto 06, apesar de ter um percentual elevado de edificações conta com 25% de vegetação e está nas proximidades do vale do Córrego Gumitá em área que tende a receber o vento cuja direção predominante na área de estudo é a noroeste (NO), este pode ser um dos fatores que amenizam a perda de umidade relativa do ar no período da tarde (Figura 54).

4.3.5. Temperatura Radiante Média (Período da Manhã)

As medições feitas nos transectos móveis SE-NO e NE-SO possibilitaram o cálculo da temperatura radiante média a partir da equação 01. No cálculo foram utilizadas as variáveis termo-higrométricas medidas, temperatura de globo e temperatura do ar e a variável meteorológica velocidade do vento. A consideração da velocidade do vento como um valor único para todos os pontos insere uma aproximação com erro, porém o fato das velocidades do vento serem pequenas em Cuiabá – MT minimizam essas distorções.

Os resultados obtidos para temperatura radiante média nos transectos móveis SE-NO e NE-SO, permitem observar uma variabilidade sazonal e espacial da temperatura radiante média. A variação espacial aqui referida está associada ao uso e ocupação do solo. As medições foram realizadas pela manhã, no horário das 8 h às 9 h, exceção feita aos meses novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 9h às 10 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma

correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 12 h às 13 h UTC.

No transecto SE-NO, observa-se que nos meses de abril e de junho a agosto de 2018, as temperaturas radiantes médias foram menores, com valores médios iguais a 22,7 °C, em agosto, 26,3 °C, em julho, 27 °C, em abril, e 27,9 °C em junho de 2018. Estas menores médias de Trm correspondem ao período de menor radiação solar e a respectiva redução da temperatura, exceção feita a abril de 2018, neste caso, a redução pode ter origem nas frequentes chuvas ocorridas nesse mês. Nos meses de novembro de 2018 a janeiro de 2019 ocorreram os maiores registros de temperatura radiante média, com valores médios respectivamente iguais a 38,7 °C, em dezembro de 2018, 37 °C, em novembro de 2018, e 37,4 °C em janeiro de 2019 (Figura 55).

A temperatura radiante média tem comportamento sazonal (Figura 55) e depende do tipo de uso e ocupação do solo (Figura 56). Os pontos 01 e 13 têm as temperaturas radiantes médias elevadas, com valores médios respectivamente iguais a 34,4 °C e 32,9 °C. Em dezembro de 2018 os pontos 1 e 13 atingiram as temperaturas radiantes médias respectivamente iguais 47 °C e 44 °C. Os pontos 03 e 04 apresentaram os menores valores médios de temperaturas radiantes médias com valores respectivamente iguais a 29,9 °C e 30,5 °C.

Na Figura 56 observa-se que, no transecto SE-NO, há uma menor variabilidade espacial no período de menores temperaturas, quando a radiação solar é menor, em agosto a diferença das temperaturas radiantes não chegou a 1 °C. No período de temperaturas radiantes médias maiores, o tipo de uso e ocupação do solo acentuou as diferenças, no mês de novembro e dezembro de 2018 a diferença chegou a valores respectivamente iguais a 16 °C e 14 °C, em janeiro de 2019 chegou a 13 °C.

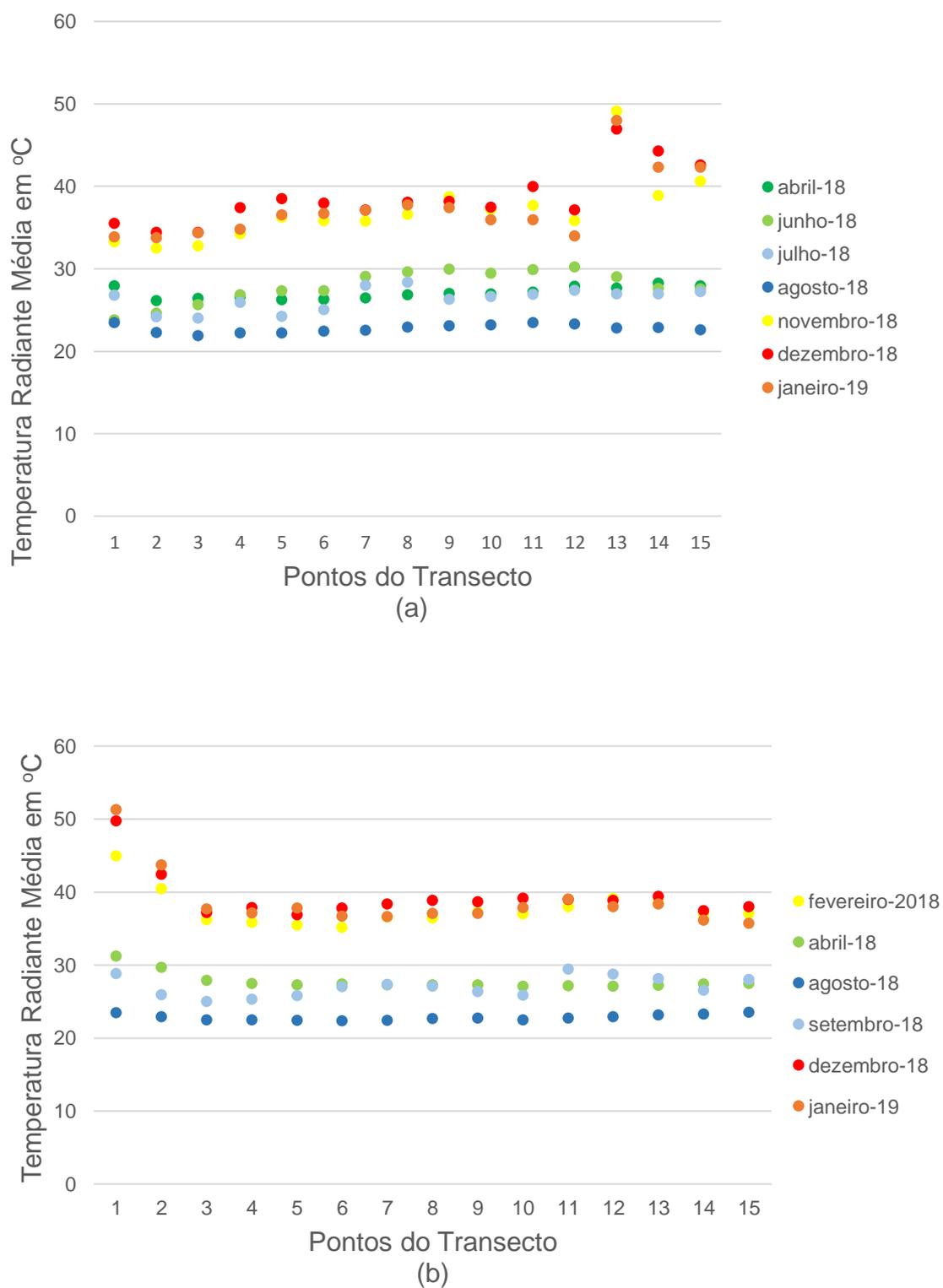


FIGURA 55 – Temperatura radiante média nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto SE-NO; (b) Transecto NE-SO

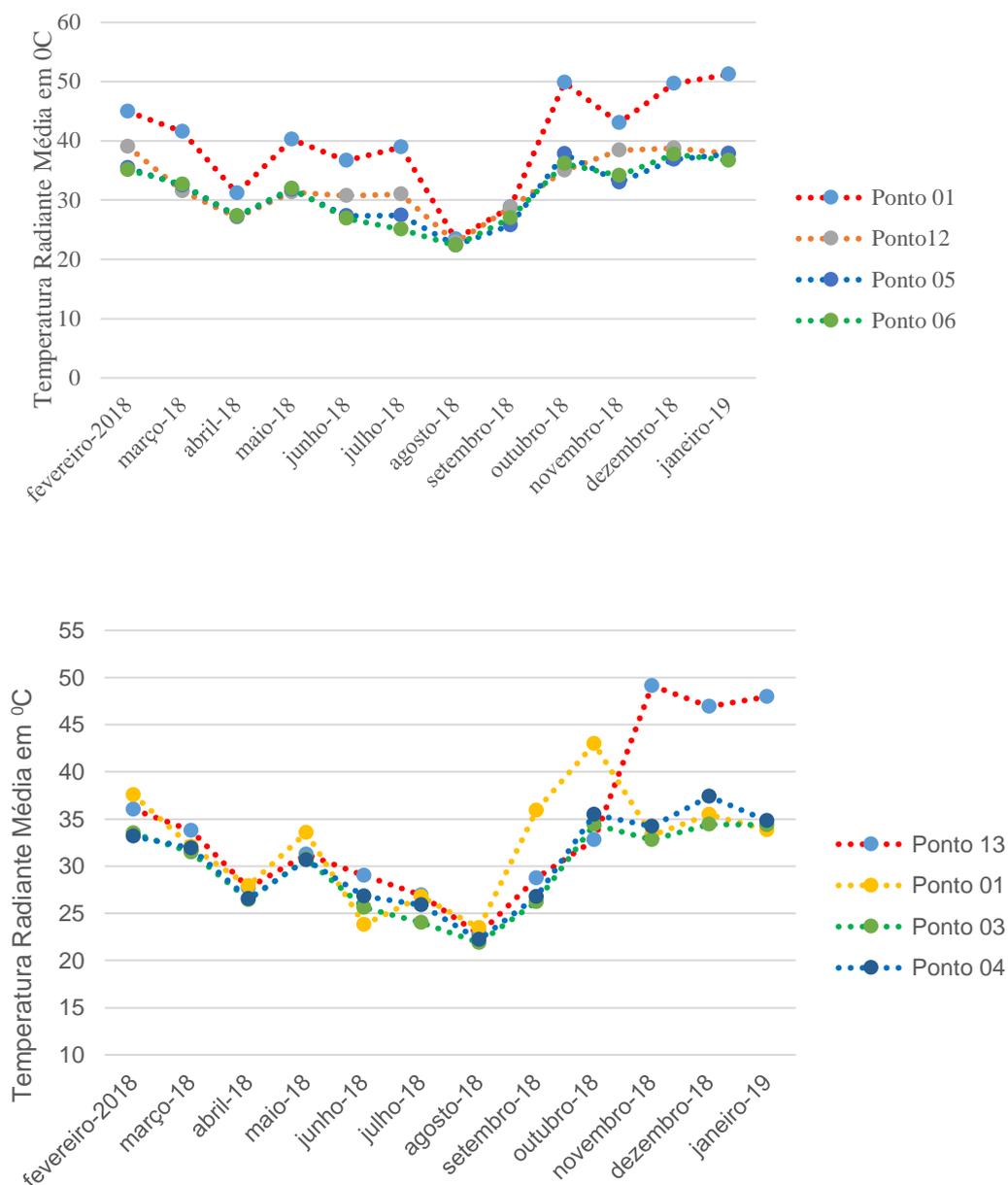


FIGURA 56 - Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 8 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO.

Quanto ao transecto móvel NE-SO, nos meses de abril, agosto e setembro de 2018, foram registradas as menores temperaturas radiantes médias, com valores médios iguais a 22,7 °C, em agosto, 27 °C, em setembro, 27,7 °C, em abril de 2018. Esses valores menores de temperatura radiante média correspondem ao período de menor radiação solar, exceção feita a abril de 2018, neste caso, a redução pode ter origem nas frequentes chuvas ocorridas no mês. Nos meses de fevereiro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019 ocorreram os maiores registros de temperatura radiante

média, com valores médios respectivamente iguais a 39,3 °C, em dezembro de 2018, 37,7 °C, em fevereiro de 2018 e 38,7 °C em janeiro de 2019. Esta ocorrência pode ser devido a maior incidência de radiação solar na camada CDU e respectivas alterações nos balanços de energia e na dispersão e concentração de poluentes atmosféricos.

Na Figura 56, observa-se que no transecto NE-SO, há uma menor variabilidade entre os pontos de medições no período de menores temperaturas, em que a radiação solar é menor, em agosto a diferença espacial de temperatura radiante não chegou a 1 °C e em setembro foi de 1,7 °C. No período de temperaturas radiantes médias maiores o tipo de uso do solo acentuou as diferenças, no mês de fevereiro e dezembro de 2018 a diferença chegou a valores respectivamente iguais a 10 °C e 12 °C, em janeiro de 2019 chegou a 14 °C.

Assim como no transecto SE-NO, nesse transecto, na estação quente e úmida as diferenças microclimáticas são maximizadas e podem afetar de forma mais acentuada as dispersões e concentrações de poluentes atmosféricos e a qualidade do ar. Nesse transecto a vegetação também tem papel relevante na minimização das amplitudes térmicas entre um ponto e outro do transecto móvel.

As Figuras 55 e 56 pode se observar que a temperatura radiante média tem variabilidade espacial que pode estar ligada ao tipo de uso e ocupação do solo, além das variáveis meteorológicas. Os pontos 01 e 12 têm temperaturas radiantes médias elevadas, com valores médios respectivamente iguais a 39,9 °C e 35,7 °C. Em dezembro de 2018 os pontos 01 e 12 atingiram as temperaturas radiantes médias respectivamente iguais a 49,7 °C e 39,8 °C. Os pontos 05 e 06 apresentaram os menores valores médios de temperaturas radiantes médias com valores respectivamente iguais a 31,3 °C e 31,1 °C.

Os resultados mostram que os pontos com maior área impermeável e forte adensamento construtivo e populacional têm uma maior temperatura radiante média, a diferença se acentua nos meses correspondentes a estação quente e úmida, que tem uma maior radiação solar.

4.3.6. Temperatura Radiante Média (Período da Tarde)

As medições feitas nos transectos móveis SE-NO e NE-SO possibilitaram o cálculo da temperatura radiante média nas mesmas condições já reportadas nesta pesquisa

Os resultados obtidos para temperatura radiante média nos transectos móveis SE-NO e NE-SO permitem observar uma variabilidade sazonal e espacial da temperatura radiante média (Figura 57). A variação espacial aqui referida está associada ao uso e ocupação do solo e as características meteorológicas. As medições foram realizadas a tarde, no horário das 14 h às 15 h, exceção feita aos meses novembro, dezembro e janeiro, em que as medições ocorreram das 15 h às 16 h, devido ao horário de verão, de forma a ter a mesma correspondência com relação ao tempo universal coordenado, ou seja, das 18 h às 19 h UTC.

Nos meses de agosto, abril e maio de 2018 foram registradas, no transecto móvel SE-NO, as menores temperaturas radiantes médias, com valores médios iguais a 29,5 °C, em agosto, 31,3 °C, em abril e 32,3 °C, em maio de 2018. Estes menores valores de temperaturas radiantes médias correspondem ao período de menor radiação solar e a respectiva redução da temperatura, o que se justifica no mês de agosto de 2018. No mês de abril do mesmo ano a redução pode estar nas frequentes chuvas ocorridas no período. Nos meses de fevereiro de 2018 e de setembro de 2018 a janeiro de 2019 ocorreram os maiores registros de temperatura radiante média, com valores médios iguais a 38,6 °C, em fevereiro, 38,5 °C, em setembro, e 40,1 °C em dezembro de 2018 e 43,3 °C em janeiro de 2019. A variação mensal da temperatura radiante média está representada na Figura 57.

No transecto móvel NE-SO, o comportamento sazonal foi similar ao do SE-NO. Nos meses de agosto e abril de 2018 foram registradas as menores temperaturas radiantes médias, com valores médios iguais a 31 °C, em agosto e 32,4 °C, em abril de 2018. Estas menores médias de temperaturas radiantes médias correspondem ao período de menor radiação solar e a respectiva redução da temperatura, o que se justifica no mês de agosto. No mês de abril de 2018, a redução pode ter origem nas frequentes chuvas ocorridas no período. Nos meses de setembro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019 ocorreram os maiores registros de temperatura radiante média, com

valores médios iguais a 44,5 °C, em setembro e 41,6 °C em dezembro de 2018 e 43,1 °C em janeiro de 2019. A variabilidade temporal e espacial está representada na Figura 57.

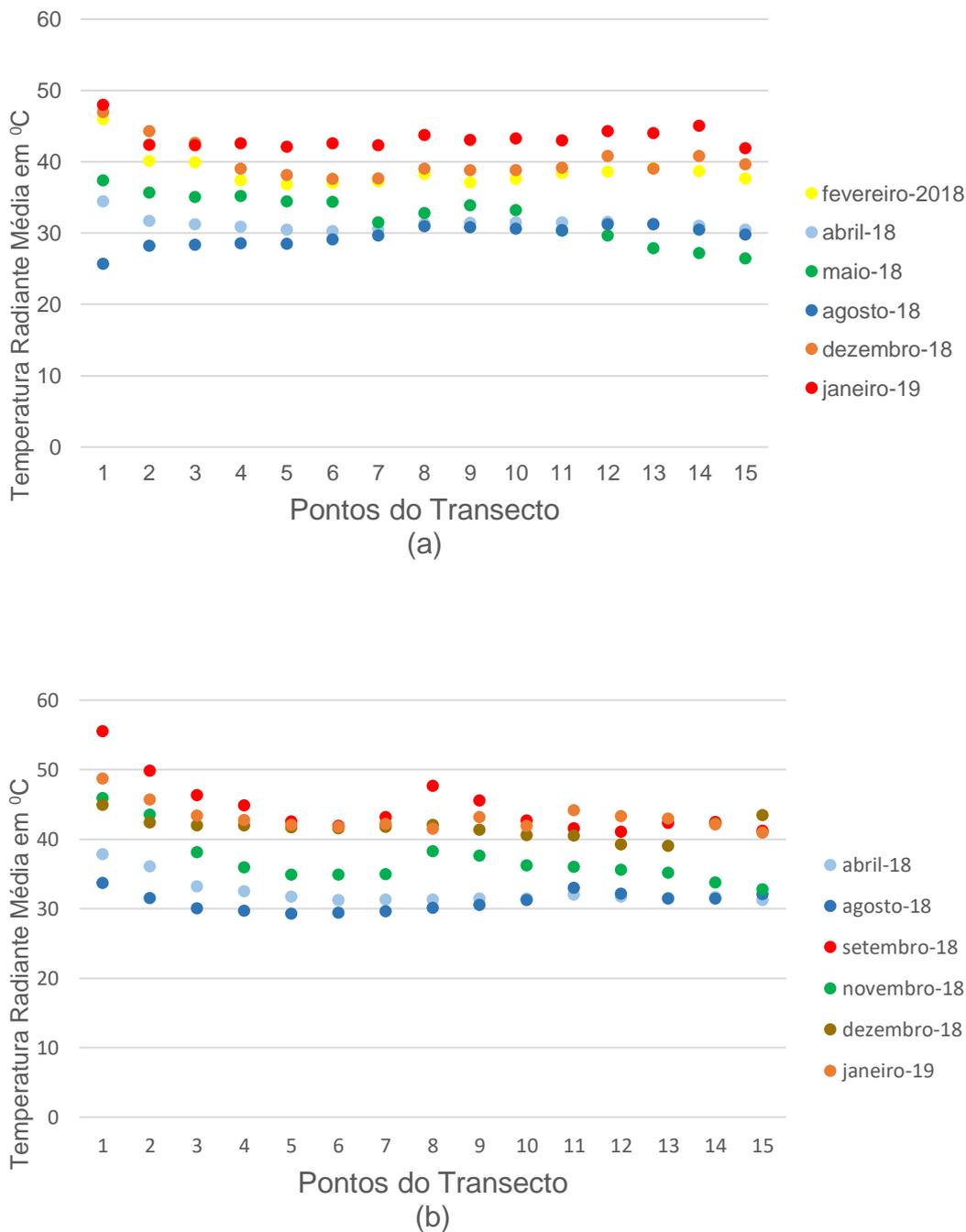


FIGURA 57 – Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 14 h: (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO.

Em setembro a baixa umidade relativa do ar aumenta a variação de temperatura radiante térmica já que há um aumento do calor sensível e uma diminuição do calor latente e assim um aumento da amplitude térmica. Nos meses de dezembro e janeiro há um aumento na radiação solar alterando os fluxos de energia e a temperatura radiante térmica.

Na Figura 57, observa-se que os vários pontos, do mesmo transecto móvel, tem temperaturas riantes médias diferentes. Uma das razões possíveis é que a variabilidade espacial pode estar ligada ao tipo de uso e ocupação do solo (Figura 58). No transecto SE-NO, os pontos 01 e 12 têm temperaturas riantes médias elevadas, com valores médios respectivamente iguais a 41,2 °C e 32,4 °C. Em janeiro de 2019 os pontos 01 e 12 atingiram as temperaturas riantes médias respectivamente iguais 47,9 °C e 44,3 °C. Os pontos 15 e 06 apresentaram os menores valores médios de temperaturas riantes médias com valores respectivamente iguais a 34,7 °C e 35,4 °C.

Na Figura 58, observa-se uma menor variabilidade espacial no período de menores temperaturas, menores umidades relativas e menor radiação solar, em março e agosto as diferenças espaciais de temperatura radiante média chegaram a ser negativas, com valores respectivamente iguais a - 1,6 °C e - 4 °C, a explicação pode estar ligada a fatores externos associados ao mesoclima e ao macroclima, em agosto as temperaturas foram reduzidas, no referencial do clima local, a temperatura do ar chegou a um valor de 23 °C no horário da medição e março de 2018 teve alterações pluviométricas e a umidade relativa do ar nos horários das medições foi em média 53%. Em setembro a diferença espacial praticamente não ocorreu o que pode ser explicado pelos baixos níveis de umidade relativa do ar, com valores em média iguais 20 %, nos horários das medições.

No período de temperaturas riantes médias maiores o tipo de uso do solo acentuou as diferenças, nos meses de novembro e dezembro de 2018 as diferenças chegaram a valores respectivamente iguais a 17 °C e 7 °C, em fevereiro de 2018 chegou a 8 °C. Neste período a vegetação tem um papel importante na redução da temperatura do ar e da radiante média, pois é um período em que a vegetação, em especial a remanescente, tem um maior IAF- Índice de Área Foliar (NOVAIS et al., 2019).

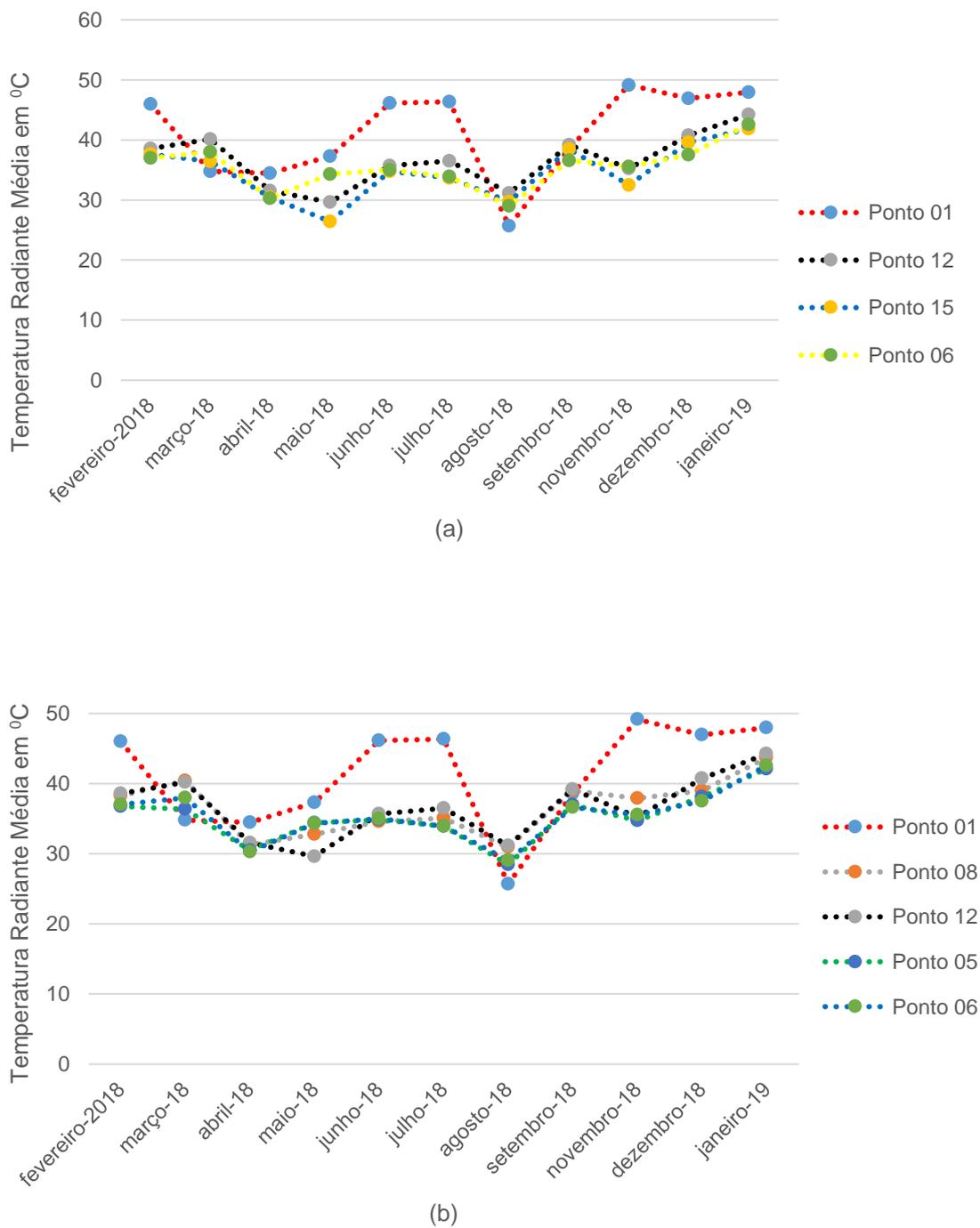


FIGURA 58 – Temperatura Radiante Média nos transectos móveis às 14 h:
 (a) Transecto Móvel SE-NO; (b) Transecto Móvel NE-SO

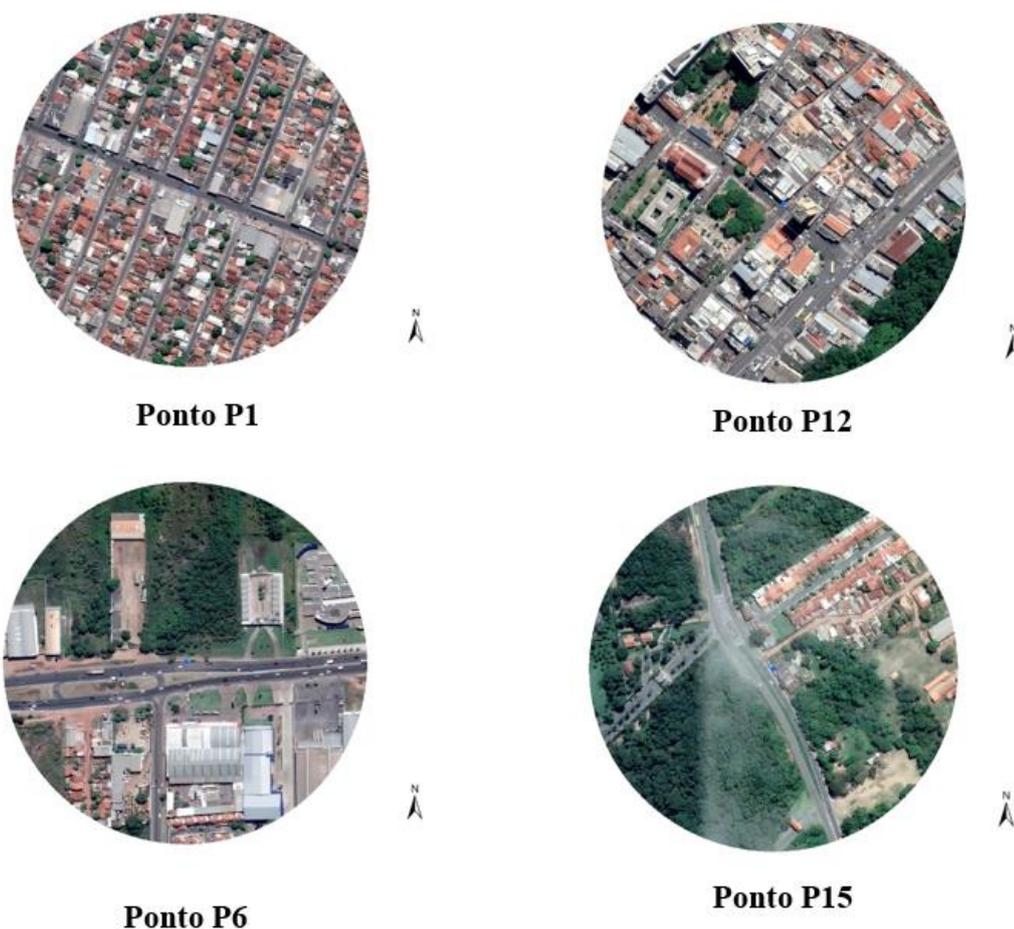


FIGURA 59 – Pontos de medição do transecto SE-NO. Temperaturas radiantes médias diferentes e forma e função urbana diferentes.

Os pontos 1 e 12 têm as maiores temperaturas radiante média. O ponto P1 está no bairro Pedra 90, em área com alto percentual de ocupação e o P12 está na região do centro de Cuiabá, também com elevado percentual de área utilizada. Por outro lado, os pontos P6 e P15 têm alto percentual de vegetação (Figura 59).

No transecto móvel NE-SO, a variação da temperatura radiante média também apresentou variabilidade entre um ponto de medição e outro. Na Figura 58, observa-se um comportamento distinto com relação aos pontos considerados. Os pontos 01, 08 e 12 têm temperaturas radiantes médias elevadas, com valores médios respectivamente iguais a 44 °C, 39 °C e 48 °C. Em janeiro de 2019, os pontos 01 e 08 atingiram as temperaturas radiantes médias respectivamente iguais 49 °C e 43 °C. Os pontos 05 e 06 apresentaram os menores valores médios de temperaturas radiantes médias com valores respectivamente iguais a 37,0 °C e 36,7 °C.

A temperatura radiante média tem uma menor variabilidade espacial no período de menores temperaturas, menores umidades relativas e menor radiação solar.

No período de temperaturas radiantes médias maiores, o tipo de uso do solo acentuou as diferenças, nos meses de novembro e dezembro de 2018 a diferença chegou a valores respectivamente iguais a 11 °C e 3 °C, em janeiro de 2019 chegou a 7 °C. Neste período, a vegetação tem um papel importante na redução de temperatura do ar e da radiante média, pois é um período em que a vegetação, em especial a remanescente, tem um maior IAF- Índice de Área Foliar.

Nos meses de maio a julho de 2018 ocorreu uma acentuação das diferenças espaciais de temperatura radiante média, nas medições vespertinas, com valores respectivamente iguais a 6 °C em maio e junho e 8 °C em julho. O que se pode inferir, nesses meses, é que no período da tarde com a incidência da radiação solar de forma cumulativa, há o aquecimento das edificações, pavimentações e elementos móveis do funcionamento urbano, nesse cenário a vegetação passa a exercer um papel mais importante na minimização das médias de temperaturas do ar e a da radiante média.

A comparação dos pontos de maiores e menores temperatura radiante média possibilita a afirmação de que há uma dependência sazonal e do tipo de uso do solo que alteram a temperatura radiante média.

4.3.7 Análise Comparativa dos Transectos SE-NO e NE-SO

A análise comparativa de transectos móveis com relação aos horários pode complementar a compreensão e a discussão realizada, a qual foi concebida numa ênfase microclimática, na abordagem de ponto a ponto e mês a mês. Essa análise pode complementar as conclusões sobre o comportamento climático do local da pesquisa e suas dependências, com relação aos meses e ao uso e ocupação do solo e também as possíveis influências sobre a qualidade do ar na alteração da concentração e dispersão de poluentes atmosféricos.

4.3.7.1. Análise Comparativa da Temperatura do Ar

A temperatura do ar tem variações quanto ao ponto da medição (uso e ocupação do solo), quanto ao mês (sazonalidade) e quanto ao horário (manhã ou tarde).

No que se refere a temperatura do ar, ao se comparar os dois transectos móveis o que se observa é que os comportamentos são similares, quanto a sazonalidade, uma estação quente e seca, de temperaturas menores e uma estação quente e úmida, de temperaturas maiores e quanto ao horário de medição, nos dois transectos, foram registradas temperatura maiores no período da tarde.

As maiores diferenças, na temperatura do ar segundo o horário de medição, ocorreram no período seco, em especial nos meses de junho, julho e setembro de 2018. Observa-se que, em todos esses meses, ocorre uma variação de temperatura do ar, entre os dois horários de medição, valores maiores do que 10 °C, entre as razões que podem explicar este fenômeno, está o aumento da umidade relativa do ar no período noturno, esta umidade permite que, nas primeiras horas da manhã, a elevação da temperatura do ar seja atenuada pela umidade presente no ar. Outro aspecto atenuador a ser considerado é o tempo menor de exposição à radiação solar, no período da manhã, contado a partir do nascer do sol.

No período da tarde, já com a redução da umidade relativa do ar e o aumento da emissão de ondas longas originadas pelo próprio funcionamento da cidade, ocorre um aumento acentuado da temperatura. Nos transectos SE-NO e NE-SO o comportamento é parecido, no que se refere a amplitude da variação, o que reforça a hipótese de que o comportamento se refira ao clima local, ultrapassando a explicação de questões ligadas apenas aos microclimas.

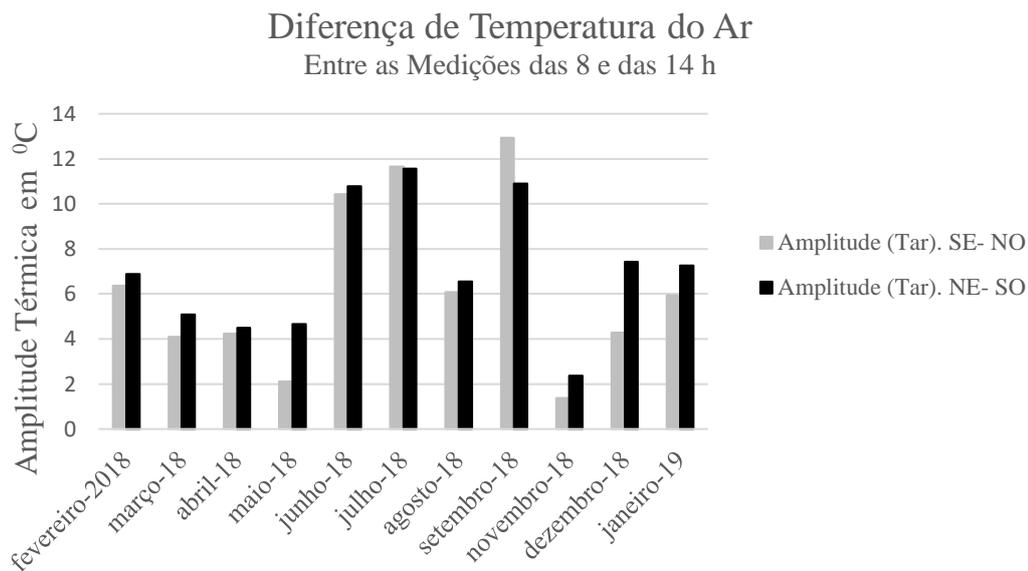


FIGURA 60 – Comparação da Variação Sazonal das diferenças de temperaturas entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO

A aplicação da estatística paramétrica, com a comparação das médias da temperatura do ar das duas amostras pelo Teste t, apresentou diferença significativa entre as medições nos dois horários 12 h UTC e 18 h UTC, com p – valor menor de 5%.

Nos meses correspondentes ao período quente e úmido, especialmente fevereiro e dezembro de 2018 e janeiro de 2019, esta variação da temperatura do ar, entre os dois horários de medição, teve um valor intermediário entre 6 e 8 °C. O mês de novembro foi atípico dado o elevado índice pluviométrico. Nos meses de março a maio de 2018 a variação de temperatura do ar é menor, a explicação pode estar no fato de que neste período ocorre uma redução na radiação solar e a ocorrência de chuvas, estes fatores podem minimizar as variações de temperatura do ar.

4.3.7.2. Análise Comparativa da Umidade Relativa do Ar

Os comportamentos da umidade relativa do ar nos dois transectos são similares quanto a variação sazonal nos dois horários de medições. Na medição da tarde é

possível estabelecer dois intervalos, meses de umidade relativa do ar maiores de 40 % e o período seco, de junho a setembro, com valores inferiores a 40 %, excetuando-se agosto, provavelmente por ocorrência de chuvas que elevaram a umidade relativa do ar, mesmo em um mês tradicionalmente seco.

O comportamento das variações na umidade relativa do ar ocorreu de forma similar nos dois transectos. As maiores diferenças ocorreram no período quente e seco, nos meses de junho a setembro de 2018, com diferenças, entre os dois horários de medição, superiores a 20%. No mês de junho ocorreu a maior variação da umidade relativa do ar, ultrapassando o valor de 40%, entre as razões que podem explicar este fenômeno está a presença de orvalho que aumenta a umidade relativa do ar no período noturno e isso, nas primeiras horas da manhã, aumenta a umidade relativa do ar de forma acentuada. A medida em que a radiação solar alcança a camada CDU e a água presente no ar participa do processo de transferência de energia, ocorrendo a redução da umidade relativa do ar.

Na estação quente e úmida, nos meses de fevereiro e dezembro 2018 e, janeiro de 2019, as diferenças tiveram valores intermediários, entre 10 e 20%. Neste período, apesar da forte radiação solar, há uma menor variação da umidade relativa do ar com relação aos horários de medição, a amplitude oscila entre 10 a 20%. Neste período há um crescimento no índice pluviométrico e a umidade relativa do ar passa a depender também das chuvas que ocorrem em dias que antecedem as medições. Nos meses de março e abril as diferenças da umidade relativa do ar assumiram valores intermediários, entre 15 e 20%.

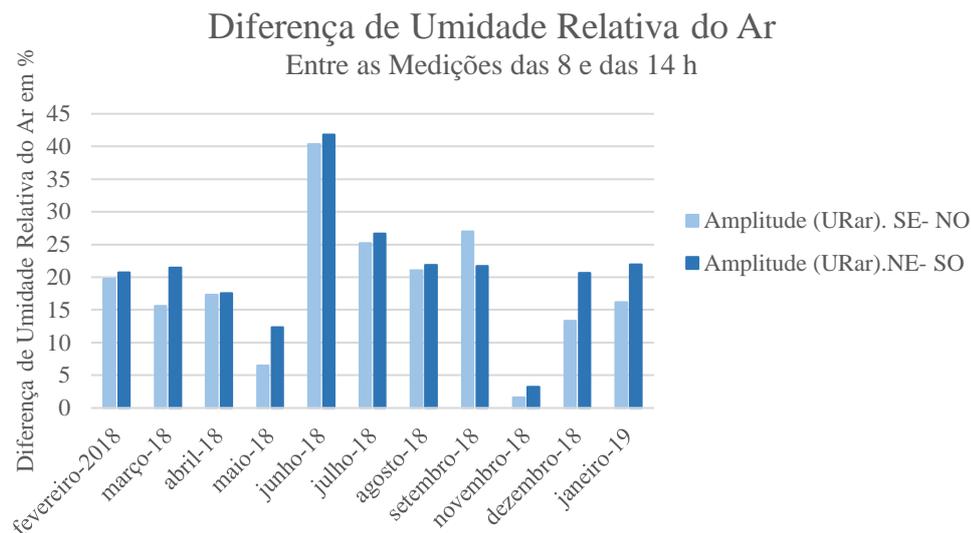


FIGURA 61 – Comparação da Variação Sazonal das diferenças de umidades relativas do ar entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO

A aplicação da estatística paramétrica, com a comparação das médias da umidade relativa do ar das duas amostras pelo Teste t, apresentou diferença significativa entre as medições nos dois horários 12 h UTC e 18 h UTC, com p – valor menor de 5%.

A comparação das umidades relativa do ar mostra que no período da tarde a redução da umidade relativa do ar é acentuada, variando na maior parte dos meses, excetuando-se novembro de 2018, com valores menores que 10% e outubro de 2018 em que as medições não ocorreram, inviabilizadas pelas chuvas que ocorreram de forma frequente no mês.

Nos transectos SE-NO e NE-SO, o comportamento, quanto às diferenças de valores de umidade relativa do ar entre a manhã e à tarde, é parecido, o que reforça que esse comportamento se refira ao clima local, ultrapassando a explicação de questões ligadas apenas aos microclimas. As exceções podem ser notadas nos meses de setembro de 2018, em que a diferença de umidade relativa foi maior no transecto SE-NO, e nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019, as diferenças de umidades relativas foram maiores no transecto NE-SO. A explicação, nesses casos, pode estar no tipo de uso do solo e na direção predominante da velocidade do vento. O transecto SE-NO tem uma menor densidade construtiva (Figura 64) e maior parcela de

vegetação e direção próxima, na maior parte do percurso, a direção predominante do vento no local da pesquisa.

4.3.7.3. Análise Comparativa da Temperatura Radiante Média

A Figura 60 e 62 mostram o comportamento sazonal e espacial da temperatura radiante média.

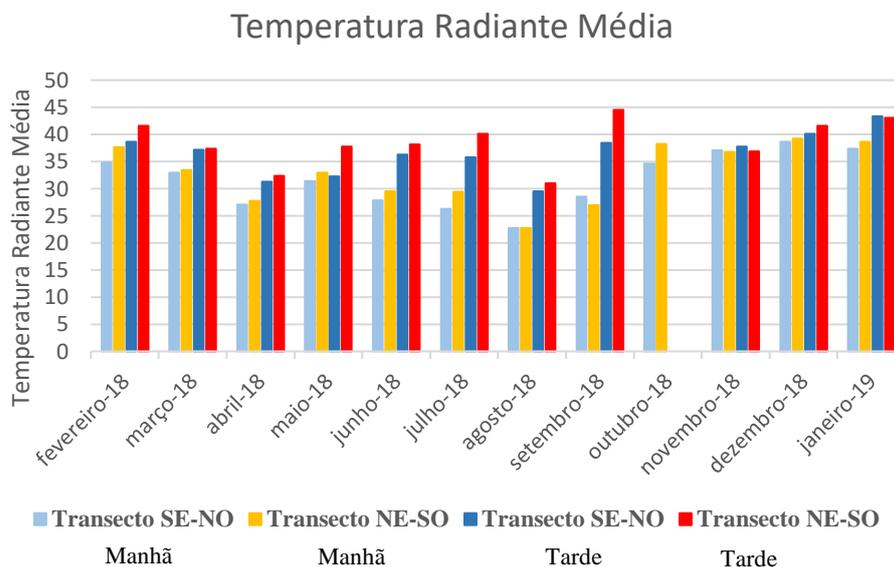


FIGURA 62 – Temperatura radiante média por mês, por horário da medição e por transecto (NE-SO e SE-NO).

A aplicação da estatística paramétrica, com a comparação das médias da temperatura radiante média das duas amostras pelo Teste t, apresentou diferença significativa entre as medições nos dois horários 12 h UTC e 18 h UTC, com p – valor menor de 5%.

O comportamento da temperatura radiante média, calculada a partir de medições da temperatura do ar e temperatura de globo feitas no período da pesquisa, mostrado na Figura 62, permite inferir de forma clara que há um período de temperaturas mais elevadas, coincidindo com a estação quente e úmida, observados nos meses de fevereiro de 2018, dezembro de 2018 e janeiro de 2019, com temperaturas radiantes médias, no período da tarde, acima de 40 °C.

Há também meses nos quais as temperaturas radiantes médias têm valores intermediários, no intervalo entre 35 e 40 °C, entre os períodos quente e úmido e quente e seco, nos meses de março a junho de 2018.

No que se refere a temperatura radiante média, ao se comparar os dois transectos, o que se observa é que os comportamentos são similares, quanto a sazonalidade, uma estação quente e seca, de temperaturas menores e uma estação quente e úmida, de temperaturas maiores e quanto ao horário de medição, nos dois transectos, foram registradas temperatura maiores no período da tarde (Figuras 65 e 66).

As maiores diferenças na temperatura radiante média, segundo o horário de medição, ocorreram no período seco, em especial nos meses de junho, julho e setembro de 2018. Na Figura 63 observa-se que em todos esses meses ocorre uma variação de temperatura radiante média, entre os dois horários de medição, valores maiores do que 8 °C, entre as razões que podem explicar este fenômeno, está o aumento da umidade relativa do ar no período noturno, esta umidade permite que, nas primeiras horas da manhã, a elevação da temperatura radiante média seja atenuada.

Outro aspecto atenuador a ser considerado é o tempo menor de exposição à radiação solar, no período da manhã, assim as temperaturas das edificações, pavimentações, veículos e outros componentes do metabolismo urbano, estão menos aquecidos emitindo ondas longas em menor intensidade, se comparado ao período da tarde.

No período da tarde, já com a redução da umidade relativa do ar e o aumento da emissão de ondas longas originadas pelo próprio funcionamento e forma da cidade, ocorre um aumento acentuado da temperatura. Nos transectos SE-NO e NE-SO, com exceção do período seco, o comportamento é parecido, no que se refere a amplitude da variação, o que reforça a hipótese de que o comportamento das diferenças se refira ao clima local, ultrapassando a explicação de questões ligadas apenas aos microclimas. No período seco, em especial nos meses de junho, julho e setembro de 2018, o tipo de uso do solo parece ter um maior impacto na constituição da temperatura radiante média. O transecto NE-SO tem um maior percentual de edificações e pavimentações e uma parcela menor de vegetação, rasteira e remanescente, neste período, nos meses

de julho e setembro de 2018 a amplitude da variação da temperatura radiante média teve seu valor acentuado (Figura 63). Em julho de 2018 passou de 10 °C no transecto NE-SO e de 8 °C no transecto SE-NO.

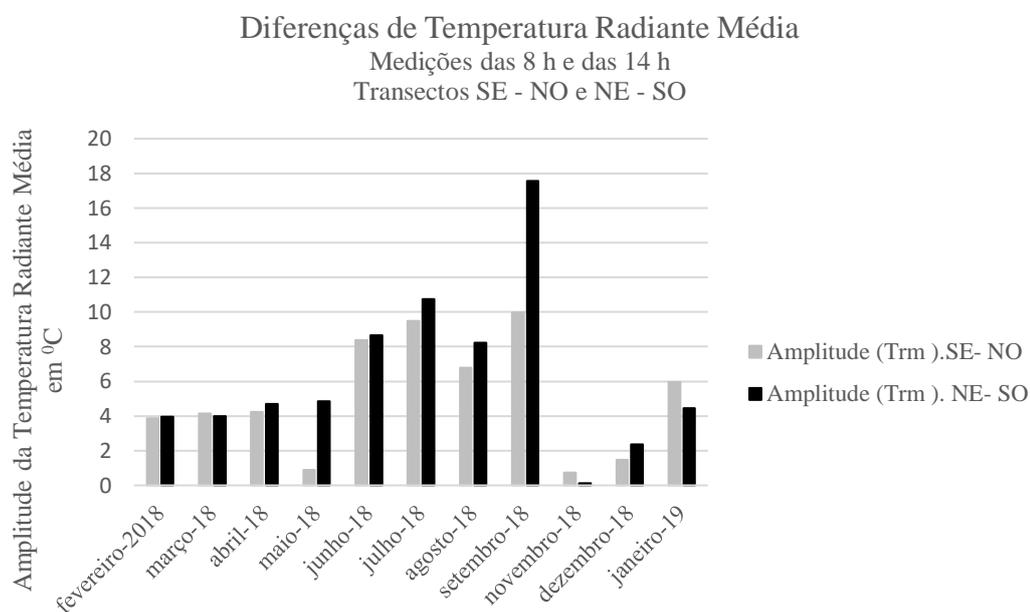


FIGURA 63 – Comparação da Variação Sazonal das diferenças de temperaturas radiantes médias, entre as medições, da manhã e da tarde, nos transectos NE-SO e SE-NO

Em setembro esta amplitude passa de 16 °C no transecto NE-SO e chega a 10 °C no transecto SE-NO. Nos dois transectos o ar mais seco maximiza a amplitude da variação da temperatura radiante térmica e o transecto SE-NO, com maior percentual de vegetação, tem uma amplitude 6 °C menor.

4.4. VARIÁVEIS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Ao se comparar os dois transectos, o que se observa é que os tipos de uso do solo, nos pontos estabelecidos como pontos de medição, num raio de 200 metros, são diferentes e variam com o tipo de uso do solo (Figura 64).

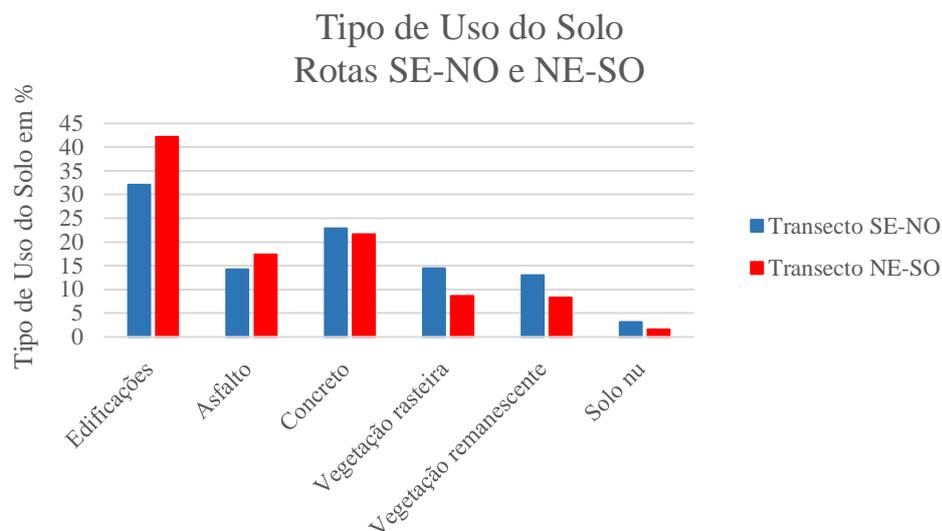


FIGURA 64 – Tipos de Uso do Solo nos transectos NE-SO e SE-NO.

Ao se considerar os itens que mais interferem na formação dos microclimas urbanos, nos transectos estabelecidos, conforme análise estatística em secção subsequente, há dois aspectos cruciais que distinguem os dois transectos. O transecto NE-SO tem 81 % de edificações, concretos e pavimentações e 17% de vegetação rasteira e remanescente, enquanto que o transecto SE-NO tem 69 % de edificações, concretos e pavimentações e 27 % de vegetação rasteira e remanescente.

No transecto SE-NO, a temperatura radiante térmica é menor quando comparada a do transecto NE-SO, a diferença foi de 8 °C a menor, no mês de setembro de 2018. O valor maior para temperatura radiante média ocorreu praticamente durante todo período da medição, exceção feita ao mês de novembro de 2018, mês onde as chuvas foram frequentes e podem ter alterado esta disposição e o mês de janeiro de 2019, onde os dois transectos tiveram valores muito parecidos.

Além dos aspectos ligados ao uso do solo está também a direção predominante do vento que tem maior coincidência com o transecto SE-NO.

4.4.1. Transecto SE-NO

O transecto SE-NO tem início no bairro Pedra 90, na região Sul do município de Cuiabá. A análise deste transecto denota a existência de pontos com forte

adensamento de edificações e pavimentações, dois fatores que implicam de forma acentuada na constituição dos microclimas, no sentido de apresentar temperaturas do ar acima da média, umidades relativas do ar menores que a média e temperatura radiante média acima da média, quando se considera a média de todos os pontos do transecto.

Na Figura 65, observa-se que a composição da ocupação do solo nos pontos P1, P7, P11, P12, P13 e P14 têm maiores adensamentos de edificações, concretos e pavimentações, com mais de 85 % de ocupação deste tipo de uso. Por outro lado, o transecto apresenta um conjunto de pontos com um bom percentual de ocupação com vegetação rasteira ou vegetação do bioma do cerrado. Os pontos P3, P4, P5, P6 e P15, apresentam mais de 40 % de área de vegetação rasteira ou remanescente. No ponto P15 chega a ter mais de 75% de ocupação com vegetação.

De forma predominante os pontos que estão em áreas de maior ocupação por edificações, concretos e pavimentações, experimentam uma maior temperatura do ar, uma menor umidade relativa do ar e uma maior temperatura radiante média. Em contraposição os pontos com maior percentual vegetativo apresentam condições mais amenas, temperaturas, do ar e radiante média, menores, umidades relativas do ar maiores, quando comparadas a média do transecto. A direção predominante do vento na direção SE-NO ameniza os microclimas urbanos deste transecto.

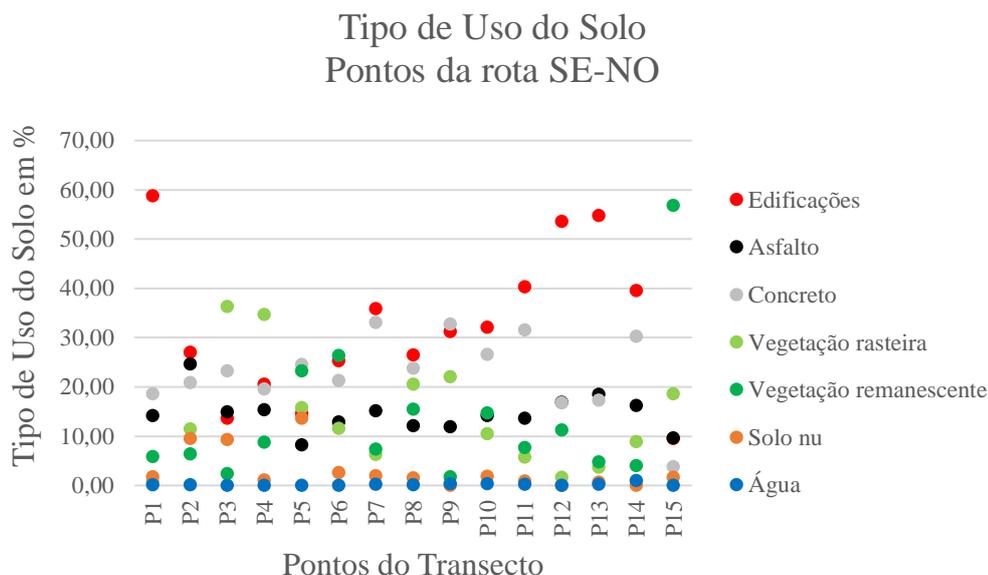


FIGURA 65– Tipos de Uso do Solo no transecto SE-NO.

4.4.2. Transecto NE-SO

O transecto NE-SO tem início no bairro Três Barras, na região Sul do município de Cuiabá. A análise deste transecto denota a existência de pontos com forte adensamento de edificações, pavimentações e concretos.

Na Figura 66, observa-se o tipo de ocupação do solo nos pontos NE2, NE10, NE11 e NE12, os quais têm os maiores adensamentos de edificações, concretos e pavimentações, com mais de 90 % de ocupação deste tipo de uso do solo. Nos pontos NE1, NE3, NE4, NE5, NE7, NE8, NE9 e NE13, este tipo de ocupação também é elevado, entre 70 e 90%. Nesse transecto o uso e ocupação do solo, nos pontos de medição, mostra-se mais intenso no que se refere as edificações, concretos e pavimentações. Apenas três pontos apresentam características que podem amenizar as características microclimáticas no sentido de amenizar as temperaturas altas e a baixa umidade relativa do ar, são eles, os pontos NE5, NE6 e NE14.

O ponto NE5 tem aproximadamente 24 % de área vegetada e recebe a influência do Vale do Córrego do Gunitá, fatores que podem amenizar os extremos microclimáticos. O ponto NE6 tem o maior percentual de área vegetada do transecto NE-SO, com 62 % de área vegetada além de estar nas proximidades do parque estadual

Massairo Okamura. O ponto NE 14 tem o segundo maior percentual de área vegetada e solo nu do transecto, 32%, além de estar próxima a uma zona de interesse ambiental, conhecida como Campo do Bode.

De forma predominante os pontos desse transecto estão em áreas de maior ocupação por edificações, concretos e pavimentações, e experimentam uma maior temperatura do ar, uma menor umidade relativa do ar e uma maior temperatura radiante média. Em contraposição os pontos com maior percentual de vegetação apresentam condições mais amenas, temperaturas, do ar e radiante média, menores, umidades relativas do ar maiores.

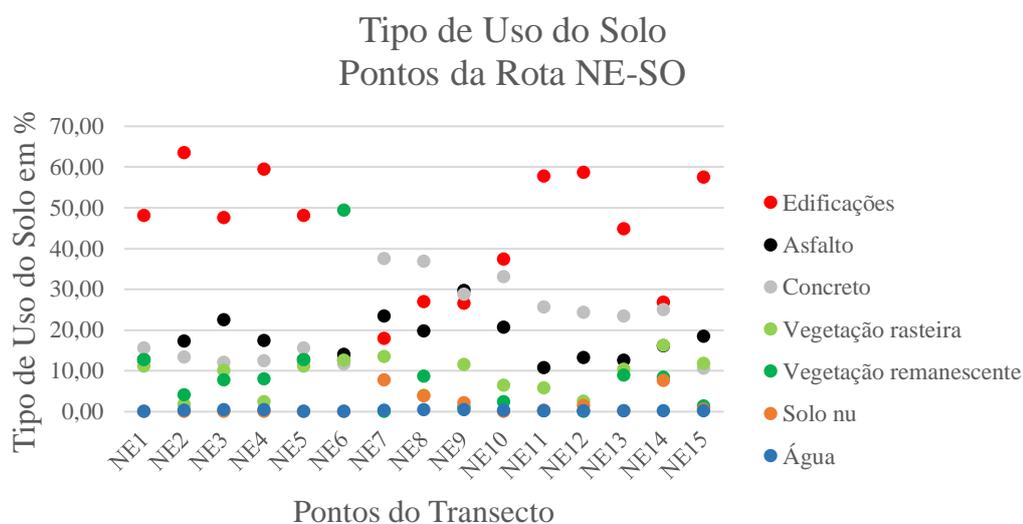


FIGURA 66 – Tipos de Uso do Solo no transecto NE-SO.

O transecto NE-SO é predominantemente perpendicular a direção predominante do vento e o efeito do cânion urbano tende a maximizar os efeitos das variações microclimáticas.

4.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na escolha do melhor desenho estatístico para expressar as possíveis correlações entre as várias variáveis desta pesquisa foi avaliado, após a definição dos grupos de variáveis presentes no trabalho, o caminho que melhor expressasse as possíveis correlações.

A aplicação de uma análise multivariada a partir de múltiplas regressões entre uma variável métrica dependente e várias variáveis métricas independentes seria um caminho viável desde que a própria interdependência das variáveis não gerasse multicolinearidades que inviabilizasse essa consistência. Nesse contexto a pesquisa estatística se estabeleceu a partir da avaliação da interdependência das variáveis de cada grupo com a determinação dos coeficientes de correlações de Spearman.

A aplicação do teste de correlação de Spearman, neste caso, serve apenas para identificar se há multicolinearidades. Tendo ocorrido essas interdependências foi aplicada a Análise de Correlação Canônica – ACC.

4.5.1. Análise das Variáveis Meteorológicas e das Variáveis da Poluição Atmosférica

4.5.1.1. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis Meteorológicas

As variáveis meteorológicas analisadas foram:

- a) Velocidade do vento – Vvento;
- b) Velocidade de rajada de vento – Vrajada;
- c) Radiação Solar – Rad;
- d) Temperatura do ar – Tar;
- e) Umidade relativa do ar – URar.

Com a aplicação da estatística não paramétrica, o teste de correlação de Spearman, são identificadas correlações estatisticamente significativas com p – valor igual a 1 %. Algumas inferências podem ser feitas, com relação aos dados utilizados na pesquisa, das quais se destacam (Tabela 04):

- a) Há uma correlação direta entre a velocidade do vento (V_{vento}) e a velocidade de rajada de vento (V_{rajada}), com ρ de Spearman igual a 89,4%;
- b) Há uma correlação direta entre a radiação solar (R_{ad}) e a temperatura do ar (T_{ar}), com ρ de Spearman igual a 56,5%;
- c) Há uma correlação inversa entre a umidade relativa do ar (U_{Rar}) e a temperatura do ar (T_{ar}), com ρ de Spearman igual a - 33 %;
- d) Há uma correlação direta entre a velocidade de rajada de vento (V_{rajada}) e a radiação solar (R_{ad}), com ρ de Spearman igual a 24,2%.

TABELA 04 – Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis meteorológicas

	V_{vento}	V_{rajada}	R_{ad}	T_{ar}	U_{Rar}
V_{vento}	1	,894**	,191**	,184**	-,172**
V_{rajada}	,894**	1	,242**	,215**	-,142**
R_{ad}	,191**	,242**	1	,565**	0,023
T_{ar}	,184**	,215**	,565**	1	-,330**
U_{Rar}	-,172**	-,142**	0,023	-,330**	1

** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Os resultados permitem inferir que há interdependência entre as variáveis meteorológicas e a aplicação de uma análise multivariada cuja base sejam regressões múltiplas, nas correlações com as variáveis de poluição atmosférica, pode levar a resultados distorcidos em relação às correlações que realmente estejam ocorrendo. Para minimizar esse efeito de multicolinearidade o desenho estatístico de correlações canônicas é o caminho adequado.

4.5.1.2. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis de Poluição Atmosférica

As variáveis de poluição atmosférica analisadas foram:

- a) Concentração Mínima de Monóxido de Carbono – $[CO]_{\text{min}}$;
- b) Concentração Máxima de Monóxido de Carbono – $[CO]_{\text{max}}$;

- c) Concentração Mínima de Material Particulado de diâmetro menor que 2,5 μm
 – $[\text{MP}_{2,5}]_{\text{min}}$;
- d) Concentração Máxima de Material Particulado de diâmetro menor que 2,5 μm
 – $[\text{MP}_{2,5}]_{\text{max}}$.

Foi aplicada a estatística não paramétrica por meio do teste de correlação de Spearman, sendo identificadas correlações estatisticamente significativas com p – valor de 1 %.

Algumas inferências podem ser feitas, com relação aos dados utilizados na pesquisa, das quais se destacam (Tabela 05):

- a) Há uma correlação direta entre a concentração mínima de monóxido de carbono, $[\text{CO}]_{\text{min}}$, e a concentração mínima de material particulado, $[\text{MP}_{2,5}]_{\text{min}}$, com ρ de Spearman igual a 73,7 %;
- b) Há uma correlação direta entre a concentração máxima de monóxido de carbono, $[\text{CO}]_{\text{max}}$, e a concentração máxima de material particulado, $[\text{MP}_{2,5}]_{\text{max}}$, com ρ de Spearman igual a 53,9 %;
- c) Há uma correlação inversa entre a concentração mínima de monóxido de carbono, $[\text{CO}]_{\text{min}}$, e a concentração máxima de material particulado, $[\text{MP}_{2,5}]_{\text{max}}$, com ρ de Spearman igual a - 15 %.

TABELA 05 – Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis de poluição atmosférica

	$[\text{CO}]_{\text{min}}$	$[\text{CO}]_{\text{max}}$	$[\text{MP}]_{\text{min}}$	$[\text{MP}]_{\text{max}}$
$[\text{CO}]_{\text{min}}$	1	,162**	,737**	-,150**
$[\text{CO}]_{\text{max}}$,162**	1	0,024 ^{SC}	,539**
$[\text{MP}]_{\text{min}}$,737**	0,024 ^{SC}	1	0,013 ^{SC}
$[\text{MP}]_{\text{max}}$	-,150**	,539**	0,013 ^{SC}	1

** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

SC --- Não há correlação estatisticamente significativa.

Os resultados permitem inferir que há interdependência entre as variáveis de poluição atmosférica. Nesta condição a aplicação de uma análise multivariada cuja

base sejam regressões múltiplas, nas correlações com as variáveis meteorológicas, pode levar a resultados distorcidos em relação às correlações que realmente estejam ocorrendo. Para minimizar esse efeito de multicolinearidade o desenho estatístico de correlações canônicas é o caminho adequado.

4.5.1.3. Distribuição dos dados referentes as variáveis meteorológicas e as variáveis de concentrações de poluentes atmosféricos

A aplicação do teste de correlação canônica tem como requisito a distribuição normal dos dados. Assim os dados foram analisados por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov com correção de Lilliefors e aderiram a distribuição normal (Tabelas 06 e 07).

TABELA 06 – Teste de Normalidade para os dados das variáveis de poluição atmosférica

	[CO]min	[CO]max	[MP]min	[MP]max
N	549	549	549	549
M	,180	,380	31,61	100,45
DP	,096	,161	35,74	45,38
Sig	,000*	,000*	,000*	,000*

A distribuição do teste é Normal.

Correção de Significância de Lilliefors*.

TABELA 07 – Teste de Normalidade para os dados das variáveis meteorológicas

	Tar	URar	Vvento	Vrajada	Radiação
N	549	549	549	549	549
Me	24,86	73,77	1,48	3,88	217,37
DP	3,15	14,04	,67	1,69	163,36
p-Valor	,000*	,000*	,000*	,000*	,000*

A distribuição do teste é Normal.

Correção de Significância de Lilliefors*.

A análise das tabelas 06 e 07 mostra o teste de normalidade do conjunto de dados referentes as variáveis de poluição atmosférica e as variáveis de poluição atmosférica, com:

- a) O número de observações (N);
- b) A média aritmética dos análise (Me);
- c) O desvio padrão (DP);
- d) O p – valor.

Observa-se que os dados apresentam distribuição normal com p – valor menor que 1%.

4.5.1.4. Correlação Canônica entre as variáveis meteorológicas e as concentrações de poluentes atmosféricos

A compreensão das possíveis correlações entre as variáveis meteorológicas e as variáveis de poluição atmosférica passa pela avaliação das interdependências das variáveis de cada grupo. Nesta análise o que se observa é que há correlações entre as variáveis do mesmo grupo, inviabilizando regressões múltiplas que ignorem esse contexto.

Desta forma foi aplicada a análise de correlação canônica que, por meio de combinações lineares, correlaciona múltiplas variáveis independentes com múltiplas variáveis dependentes.

A aplicação da ACC converte os conjuntos das variáveis, de poluição atmosférica e meteorológicas, em pares canônicos de variáveis e expressa as correlações estatisticamente significativas.

A tabela 08 expressa as correlações canônicas entre os dois grupos de variáveis:

- a) Poluição Atmosférica E_i ;
- b) Meteorológicas D_i .

TABELA 08 – Teste de Correlação Canônica entre os grupos de variáveis;
Variáveis Meteorológicas e de Poluição Atmosférica

Funções Canônicas	Correlação	Autovalor	Estatística de Wilks	p-valor
1	,610	,593	,502	,000
2	,366	,155	,800	,000
3	,275	,082	,924	,000
4	,025	,001	,999	,954

O teste mostra que há correlação estatisticamente significativa entre a variável canônica E_i e D_i , sendo possível a formação de três pares canônicos: (D_1, E_1) , (D_2, E_2) e (D_3, E_3) . Todos eles com significância estatística. A ACC gera pares de variáveis canônicas que maximizam as correlações entre os dois conjuntos, assim:

- a) É gerado o primeiro par canônico com os conjuntos de combinações lineares com maior correlação;
- b) O segundo par canônico que tem a maior correlação canônica entre os pares de combinações lineares que não sejam correlacionadas com o primeiro par e da mesma forma o terceiro par, não correlacionado aos dois pares anteriores.

Assim observa-se que há três conjuntos de combinações lineares capazes de expressar as possíveis correlações entre as variáveis preditoras, neste caso as variáveis meteorológicas, e as variáveis respostas que são as concentrações de poluentes.

4.5.1.4.1. Primeiro Par Canônico (D_1, E_1)

O par canônico (D_1, E_1) tem o maior coeficiente de correlação de 61 % e o maior autovalor (0,593). Estes aspectos fortalecem as inferências sobre as correlações e os pesos canônicos de cada variável dos respectivos grupos.

O coeficiente de correlação canônica igual a 61 % possibilita a inferência que a variável canônica E tem relação direta com a variável canônica D. A análise dos

pesos canônicos traz a possibilidade de identificação das variáveis originais mais importantes na constituição de cada variável canônica.

Na Figura 67, observam-se os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica E. Na composição da variável canônica E as variáveis originais mais importantes são a concentração mínima de monóxido de carbono ($[CO]_{\min}$) e a concentração máxima de material particulado ($[MP_{2,5}]_{\max}$). A primeira tem peso canônico inverso igual a $-0,87$ e a segunda tem peso canônico direto igual a $0,43$, com relação a variável canônica E.

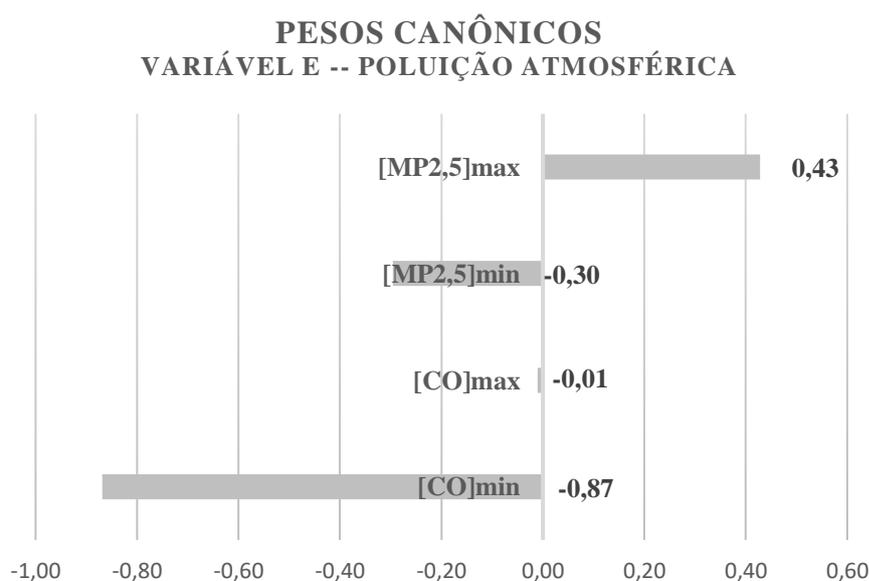


FIGURA 67 – Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_1 .

O conjunto de variáveis meteorológicas forma a variável canônica D. Na Figura 68 estão os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica D.

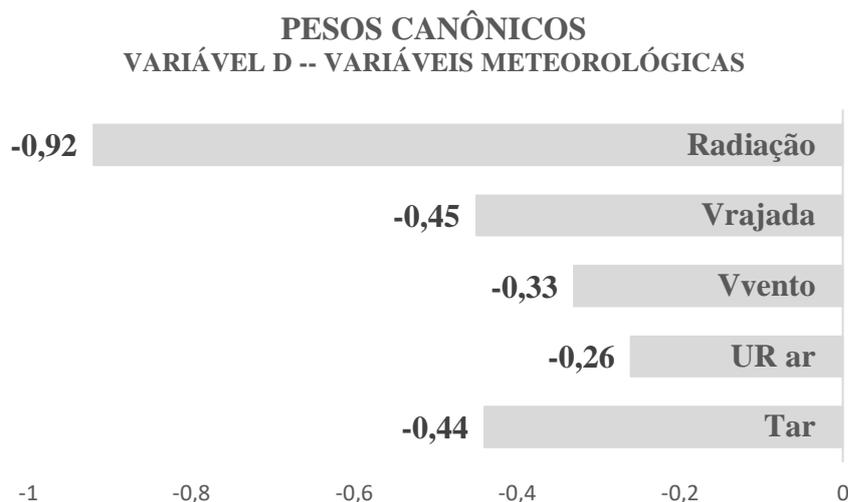


FIGURA 68 – Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_1 .

Na composição da variável canônica D, que expressa as variáveis meteorológicas, a variável original mais importante é a radiação solar, cujo peso canônico é inverso igual a $-0,92$. As demais variáveis têm pesos menores, porém importantes nas combinações lineares que serão realizadas na construção das correlações E x D. Os pesos canônicos da velocidade de rajada de vento (Vrajada), da temperatura do ar (Tar), da velocidade do vento (Vvento) e da umidade relativa do ar (UR ar), são respectivamente iguais a, $-0,45$, $-0,44$, $-0,33$ e $-0,26$.

A Figura 69 possibilita avaliar as interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais. As variáveis canônicas, E e D têm correlação direta, ou seja, o aumento de D implica no aumento de E, assim a primeira inferência que se pode fazer é que o aumento de uma variável canônica implica no aumento da outra e a diminuição da mesma forma. As variáveis meteorológicas acentuam ou atenuam a concentração de poluentes e modificam a qualidade do ar, assim há correlação entre as variáveis meteorológicas e as concentrações de poluentes atmosféricos.

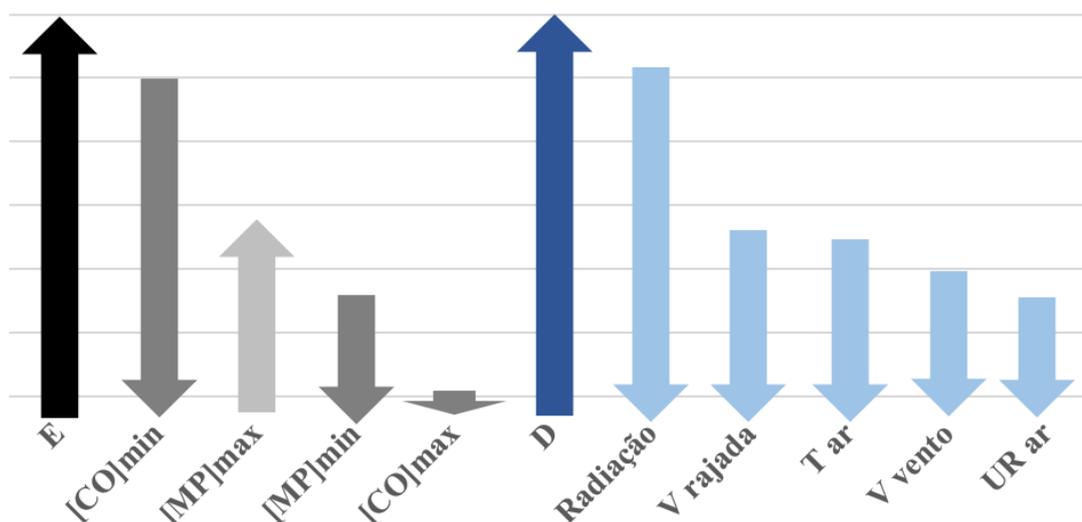


FIGURA 69– Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas E_1 e D_1

Na Figura 69, observam-se algumas dependências e interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais:

- a) Menores valores de radiação solar, é variável com maior peso canônico nas combinações lineares, interferem na constituição da variável D numa relação inversa, assim a diminuição da radiação solar implica na tendência de aumento da variável D, que por sua vez, correlaciona-se com E, no sentido de aumentar o seu valor. O aumento do valor de E está relacionado de forma direta com [MP]max, principal variável na degradação da qualidade do ar no local da pesquisa, no sentido de aumentar as concentrações de poluentes. Essa forma de correlação indica que no período de radiação solar menor, fazendo o pressuposto teórico e ideal da manutenção dos valores das demais variáveis, implica numa piora da qualidade do ar. As menores radiações ocorrem no período de abril a agosto de 2018 (Figura 27) e coincidem com o período de aumento da concentração de material particulado $MP_{2,5}$ (Figura 30). Esta análise segmentada não expressa uma correlação exclusiva da radiação solar com as demais variáveis, apenas indica que a radiação solar, é variável com maior peso canônico nas combinações lineares, dada sua interdependência com as demais variáveis meteorológicas de forma multicolinear;

- b) As demais variáveis meteorológicas têm o mesmo tipo de interferência da radiação solar, porém, com menores pesos canônicos. As concentrações de poluentes têm correlações inversas com a temperatura do ar e com a velocidade do vento, resultados também obtidos por Tai et al. (2010) e He et al. (2018);
- c) O pior cenário, no que se refere a qualidade do ar, seria um dia com redução nos valores da radiação solar, da temperatura do ar, da velocidade do vento, da velocidade de rajada e da umidade relativa, este conjunto de ocorrências está associado, no conjunto de combinações lineares, a alta concentração de $MP_{2,5}$;
- d) As concentrações mínimas de monóxido de carbono estão relacionadas às baixas concentrações de material particulado.

4.5.1.4.2. Primeiro Par Canônico (D_2, E_2)

O par canônico (D_2, E_2) tem coeficiente de correlação canônica igual a 37 % e autovalor igual a 0,155 e expressa, um conjunto de combinações lineares que estabelecem a correlação entre as variáveis D e E com significância estatística. Os valores pequenos do coeficiente de correlação canônica e do autovalor limitam a força das inferências estatísticas, que serão feitas nesse par canônico.

A análise dos pesos canônicos traz a possibilidade de identificação das variáveis originais mais importantes na constituição de cada variável canônica.

Na Figura 70, observa-se os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica E. Na composição da variável canônica E, as variáveis originais mais importantes são a concentração máxima de monóxido de carbono ($[CO]_{max}$) e a concentração máxima de material particulado ($[MP_{2,5}]_{max}$). A primeira tem peso canônico inverso igual a $-0,25$ e a segunda tem peso canônico inverso igual a $-0,27$, com relação a variável canônica E.

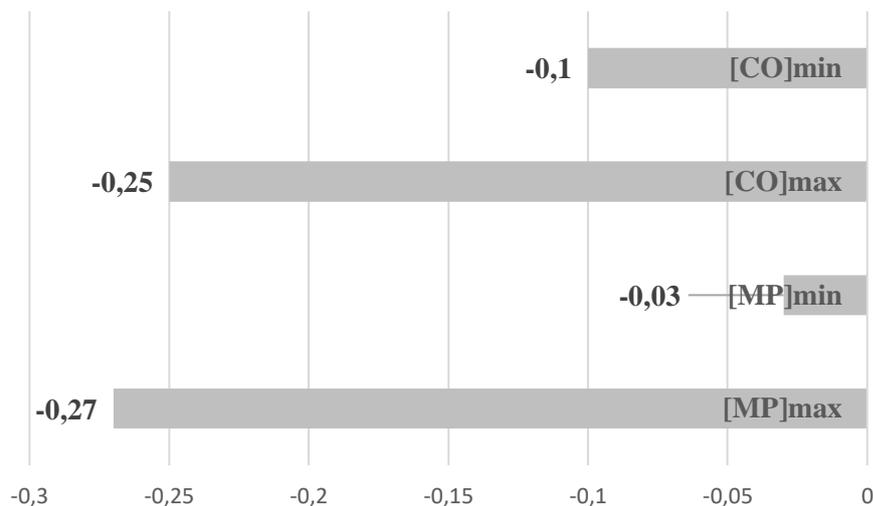


FIGURA 70 – Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_2 .

O conjunto de variáveis meteorológicas forma a variável canônica D_2 . Na Figura 71 estão os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica D_2 .

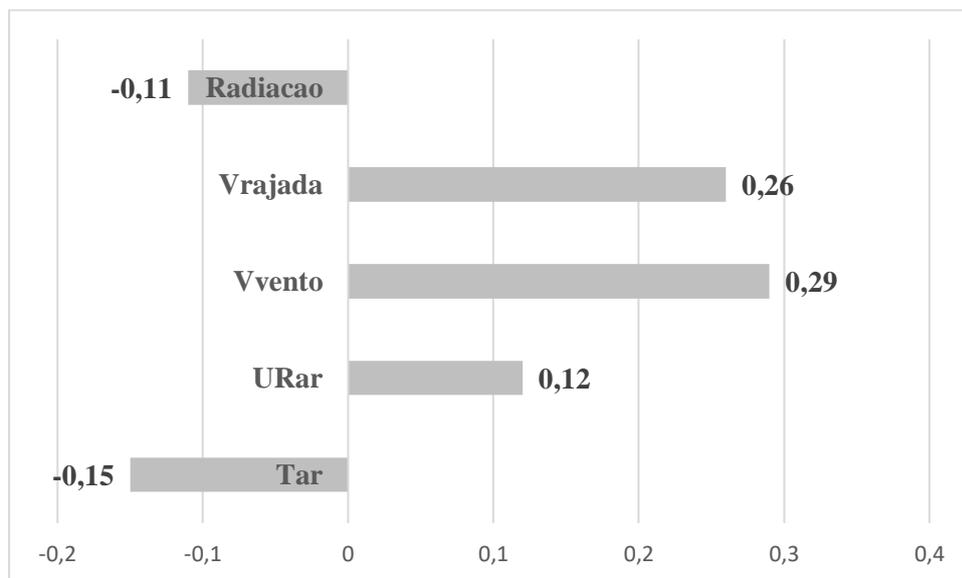


FIGURA 71 – Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_2 .

Na composição da variável canônica D_2 , que expressa as variáveis meteorológicas, a variável original mais importante é a velocidade do vento, cujo peso

canônico é direto igual a 0,29. As demais variáveis têm pesos menores, porém importantes nas combinações lineares que serão realizadas na construção das correlações E x D. Os pesos canônicos da velocidade de rajada de vento (Vraj), da temperatura do ar (T), da radiação solar (Rad) e da umidade relativa do ar (UR), são respectivamente iguais a: 0,26; - 0,15; - 0,11 e 0,12. A Figura 72 possibilita avaliar as interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais.

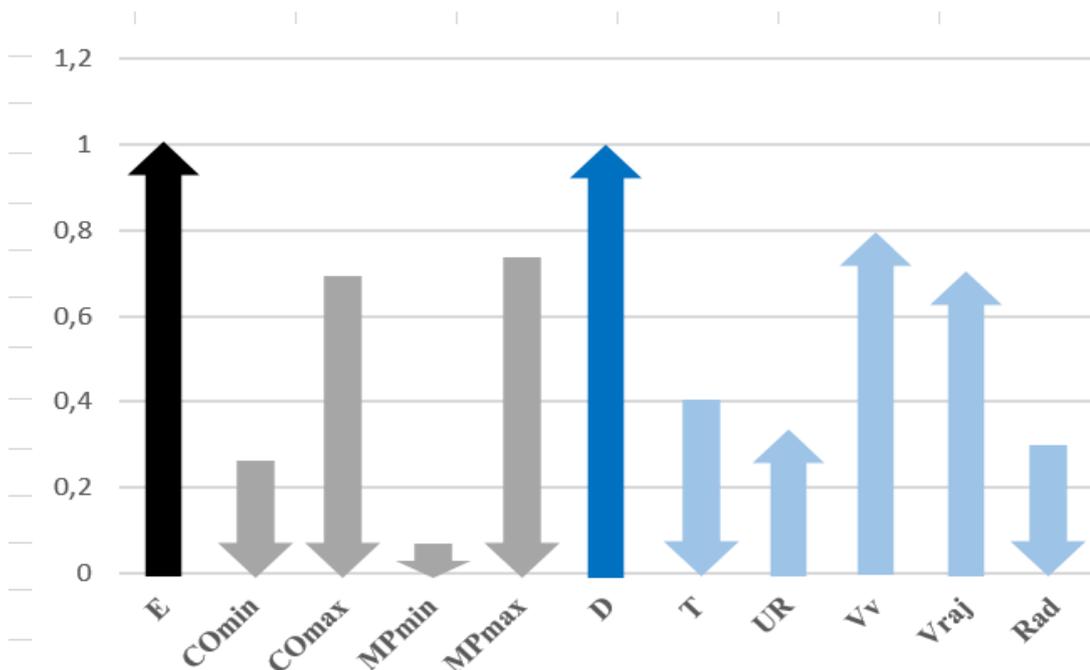


FIGURA 72– Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas.
Par Canônico (D₂, E₂)

As variáveis canônicas, E e D, têm correlação direta, ou seja, o aumento de D implica no aumento de E, assim a primeira inferência que se pode fazer é que o aumento de uma variável canônica implica no aumento da outra e a diminuição da mesma forma. As variáveis meteorológicas acentuam ou atenuam a concentração de poluentes atmosféricos e modificam a qualidade do ar.

Na Figura 72, observa-se que há algumas dependências e interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais:

- a) Maiores valores da velocidade vento interferem na constituição da variável D numa relação direta, assim o aumento na velocidade do vento implica na tendência de aumento da variável D, que por sua vez, correlaciona-se com E

no sentido de aumentar o seu valor. O aumento do valor de E está relacionado de forma inversa com $[MP]_{max}$, principal variável na degradação da qualidade do ar no local da pesquisa, no sentido de aumentar as concentrações de poluentes. Essa forma de correlação indica que o aumento da velocidade do vento reduz a poluição e melhora a qualidade do ar, resultado também obtido por Kuo et al. (2017);

- b) As demais variáveis meteorológicas têm interdependência com as concentrações de poluentes, porém, com menores pesos canônicos. As concentrações de poluentes têm correlações inversas com a temperatura do ar e com a velocidade do vento, resultados também obtidos por Tai et al. (2010) e He et al. (2018);
- c) As maiores concentrações máximas de monóxido de carbono estão relacionadas as altas concentrações máximas de material particulado, é provável que a poluição do ar esteja fortemente relacionada ao tráfego de veículo (MENDONÇA & CASTELHANO, 2016) e (ANDRADE et al., 2019), e as queimadas urbanas (MARQUES, 2011).

4.5.1.4.3. Primeiro Par Canônico (D_3 , E_3)

O par canônico (D_3 , E_3) tem coeficiente de correlação canônica igual a 26 % e o menor autovalor (0,072) e expressa um conjunto de combinações lineares que estabelecem a correlação entre as variáveis D e E com significância estatística. Os valores pequenos do coeficiente de correlação canônica e do autovalor limitam a força das inferências estatísticas, que serão feitas.

A análise dos pesos canônicos traz a possibilidade de identificação das variáveis originais mais importantes na constituição de cada variável canônica.

Na Figura 73, observam-se os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica E. Na composição da variável canônica E, as variáveis originais mais importantes são a concentração mínima de material particulado ($[MP_{2,5}]_{min}$), a concentração máxima de material particulado ($[MP_{2,5}]_{max}$) e a concentração mínima de monóxido de carbono ($[CO]_{min}$). Os pesos canônicos são respectivamente iguais a 0,948; 0,499 e 0,412.

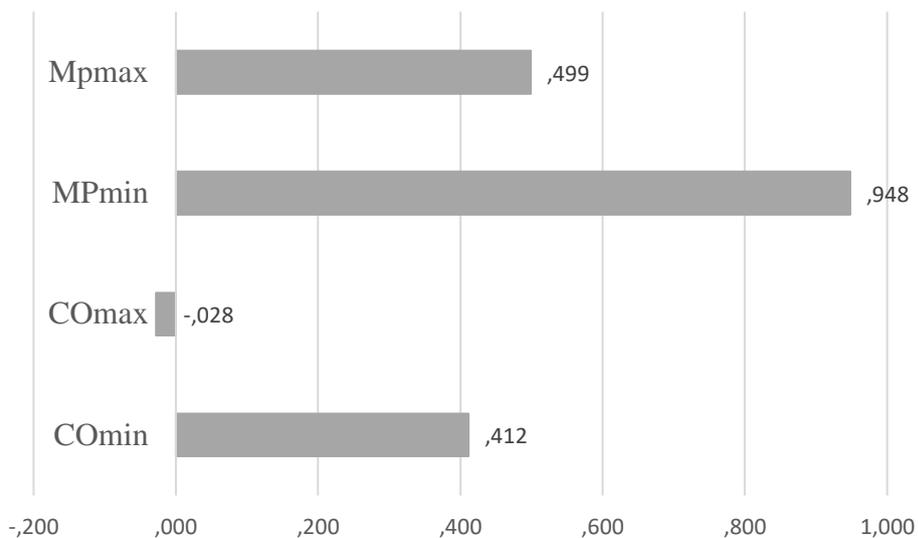


FIGURA 73 – Pesos canônicos das variáveis originais de poluição atmosférica na composição da variável canônica E_3 .

O conjunto de variáveis meteorológicas forma a variável canônica D_3 . Na Figura 74 estão os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica D_3 .

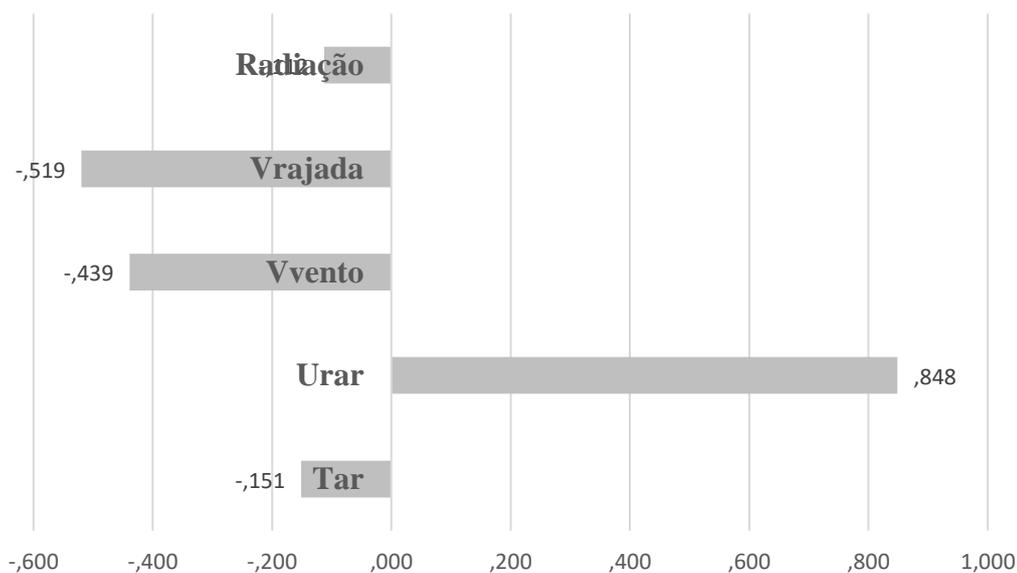


FIGURA 74 – Pesos canônicos das variáveis meteorológicas originais na composição da variável canônica D_3 .

Na composição da variável canônica D, que expressa as variáveis meteorológicas, a variável original mais importante é a umidade relativa do ar, cujo peso canônico é direto igual a 0,85. As demais variáveis têm pesos menores, porém importantes nas combinações lineares que serão realizadas na construção das correlações E x D. Os pesos canônicos da velocidade de rajada de vento (Vraj), da velocidade do vento (Vv) e da temperatura do ar (T) são respectivamente iguais a, $-0,52$, $-0,44$ e $-0,15$. A Figura 75 possibilita avaliar as interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais.

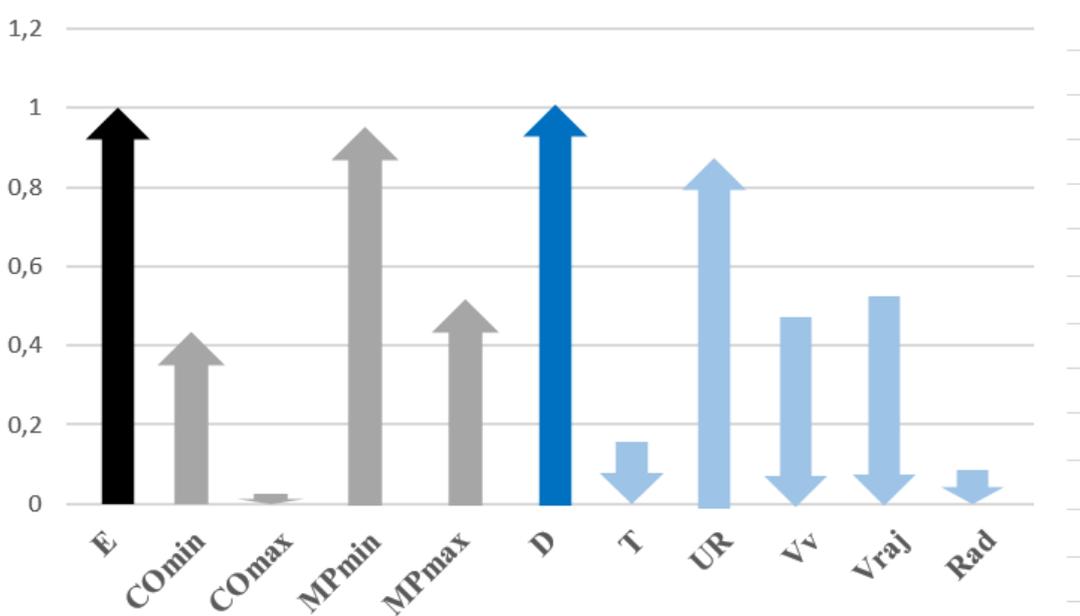


FIGURA 75– Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas. Par Canônico (D_3 , E_3)

As variáveis canônicas E e D têm correlação direta, ou seja, o aumento de D implica no aumento de E, assim a primeira inferência que se pode fazer é que o aumento de uma variável canônica implica no aumento da outra. As variáveis meteorológicas acentuam ou atenuam a concentração de poluentes atmosféricos e modificam a qualidade do ar, assim, há correlação entre as variáveis meteorológicas e as concentrações de poluentes atmosféricos.

Na Figura 75, observa-se que há algumas dependências e interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais:

- a) Maiores valores de umidade relativa do ar estão associados a constituição da variável D numa relação direta, assim o aumento na umidade relativa do ar implica na tendência de aumento da variável D, que por sua vez, se correlaciona com E, no sentido de aumentar o seu valor. O aumento do valor de E está relacionado de forma direta com [MP]min, principal variável na composição da variável canônica relacionada a poluição atmosférica, assim uma maior umidade relativa tem combinações lineares com a concentração mínima de material particulado o que permite inferir que há uma melhora na qualidade do ar no local da pesquisa, no sentido de diminuir as concentrações de poluentes. Esta forma de correlação indica que o aumento da umidade relativa do ar reduz a poluição por material particulado, resultado também obtido por Wang et al. (2018);
- b) As demais variáveis meteorológicas têm interdependência com as concentrações de poluentes, porém, com menores pesos canônicos. As concentrações de poluentes têm correlações inversas com a velocidade do vento e velocidade de rajada de vento, resultados também obtidos por Tai et al. (2010) e He et al. (2018).

4.5.2. Análise das Variáveis Microclimáticas e das Variáveis de Uso e Ocupação do Solo

4.5.2.1. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis Microclimáticas

As variáveis microclimáticas analisadas foram:

- a) Temperatura do Ar – Tar;
- b) Umidade Relativa do Ar – URar;
- c) Temperatura Radiante Média – Trm.

Com a aplicação da estatística não paramétrica, o teste de correlação de Spearman, são identificadas correlações com significância estatística de 1 %. Algumas inferências podem ser feitas, com relação aos dados medidos nos transectos (Tabela 09):

- a) Há uma correlação direta entre a temperatura do ar (Tar) e a temperatura radiante média (Trm), com ρ de Spearman igual a 90,1%;

- b) Há uma correlação inversa entre a umidade relativa do ar (URar) e a temperatura radiante média (Trm), com ρ de Spearman igual a $-61,5\%$;
- c) Há uma correlação inversa entre a umidade relativa do ar (URar) e a temperatura do ar (Tar), com ρ de Spearman igual a $-72,2\%$.

TABELA 09 – Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis microclimáticas

	Tar	URar	Trm
Tar	1,000	-,722**	,901**
URar	-,722**	1,000	-,615**
Trm	,901**	-,615**	1,000

** A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

Os resultados permitem inferir que há interdependência entre as variáveis microclimáticas e a aplicação de uma análise multivariada, cuja base sejam regressões múltiplas, nas correlações com as variáveis de uso e ocupação do solo, pode levar a resultados distorcidos em relação às correlações que realmente estejam ocorrendo. Para minimizar esse efeito de multicolinearidade, recomenda-se aplicar a ACC.

4.5.2.2. Coeficientes de Correlação de Spearman para as Variáveis de Uso e Ocupação do Solo

As variáveis de uso e ocupação do solo analisadas foram:

- a) Percentual de Edificações – Edificações;
- b) Percentual de Asfalto – Asfalto;
- c) Percentual de Concreto – Concreto;
- d) Percentual de Vegetação Rasteira – Vegrast;
- e) Percentual de Vegetação Remanescente – Vegarb;
- f) Percentual de Solo – Solo;
- g) Percentual de Água – Água.

Com a aplicação da estatística não paramétrica, o teste de correlação de Spearman, são identificadas correlações com significância de 1 % e 5%.

TABELA 10 – Coeficientes de correlações de Spearman entre as variáveis de uso e ocupação do solo

	Edificações	Asfalto	Concreto	Vegrast	Vegarb	Solo	Água
Edificações	1,00	0,21 *	-0,23 *	-0,80 *	-0,33*	-0,56 *	0,21*
Asfalto	0,21 *	1,00	0,08**	-0,34 *	-0,36*	-0,04 ^{NS}	0,52*
Concreto	-0,23 *	0,08**	1,00	0,01 ^{NS}	-0,37*	0,37*	0,52*
Vegrast	-0,80 *	-0,34 *	0,01 ^{NS}	1,00	0,20 ^{NS}	0,35*	-0,31*
Vegarb	-0,33*	-0,36*	-0,37*	0,20 ^{NS}	1,00	-0,02 ^{NS}	-0,44*
Solo	-0,56 *	-0,04 ^{NS}	0,37*	0,35*	-0,02 ^{NS}	1,00	-0,10*
Água	0,21*	0,52*	0,52*	-0,31*	-0,44*	-0,10*	1,00

*A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

**A correlação é significativa no nível 0,05 (bilateral).

^{NS} A correlação não tem significância estatística.

Algumas inferências podem ser feitas, com relação aos dados obtidos dos transectos (Tabela 10):

- Há uma correlação direta entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de asfalto (Asfalto), com ρ de Spearman igual a 21 %;
- Há uma correlação inversa entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de concreto (Concreto), com ρ de Spearman igual a - 23 %;
- Há uma correlação inversa entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de vegetação rasteira (Vegrast), com ρ de Spearman igual a - 80 %;
- Há uma correlação inversa entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de vegetação remanescente (Vegarb), com ρ de Spearman igual a - 33 %;
- Há uma correlação inversa entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de solo (Solo), com ρ de Spearman igual a - 56 %;
- Há uma correlação direta entre o percentual de edificações (Edificações) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a 21 %;

- g) Há uma correlação direta entre o percentual de asfalto (Asfalto) e o percentual de concreto (Concreto), com ρ de Spearman igual a 8 %;
- h) Há uma correlação inversa entre o percentual de asfalto (Asfalto) e o percentual de vegetação rasteira (Vegrast), com ρ de Spearman igual a - 34 %;
- i) Há uma correlação inversa entre o percentual de asfalto (Asfalto) e o percentual de vegetação remanescente (Vegarb), com ρ de Spearman igual a - 36 %;
- j) Há uma correlação direta entre o percentual de asfalto (Asfalto) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a 52 %;
- k) Há uma correlação inversa entre o percentual de concreto (Concreto) e o percentual de vegetação remanescente (Vegarb), com ρ de Spearman igual a - 37 %;
- l) Há uma correlação direta entre o percentual de concreto (Concreto) e o percentual de solo (Solo), com ρ de Spearman igual a 37 %;
- m) Há uma correlação direta entre o percentual de concreto (Concreto) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a 52 %;
- n) Há uma correlação direta entre o percentual de vegetação rasteira (Vegrast) e o percentual de solo (Solo), com ρ de Spearman igual a 35 %;
- o) Há uma correlação inversa entre o percentual de vegetação rasteira (Vegrast) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a - 31 %;
- p) Há uma correlação inversa entre o percentual de vegetação remanescente (Vegarb) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a - 44 %;
- q) Há uma correlação inversa entre o percentual de solo (Solo) e o percentual de água (Água), com ρ de Spearman igual a - 10 %.

Os resultados permitem inferir que há interdependência entre as variáveis de uso e ocupação de solo e a aplicação de uma análise, cuja base sejam regressões múltiplas, nas correlações com as variáveis microclimáticas, pode levar a resultados distorcidos em relação às correlações que realmente estejam ocorrendo. Para minimizar esse efeito de multicolinearidade, recomenda-se a aplicação da ACC.

4.5.2.3. Distribuição dos dados referentes as variáveis microclimáticas e as variáveis de uso e ocupação do solo

A aplicação do teste de correlação canônica tem como requisito a distribuição normal dos dados. Assim os dados foram analisados por meio da aplicação do teste de

Kolmogorov-Smirnov com correção de Lilliefors e aderiram a distribuição normal (Tabela 11).

TABELA 11 – Teste de Normalidade das variáveis microclimáticas e de uso e ocupação do solo

Variáveis	Número de conjunto de dados (N)	Média (Me)	Desvio Padrão (DP)	Significância (p-valor) em %
Tar	710	30,54	4,80	0,3
URar	710	57,73	15,50	0
Trm	710	34,39	5,85	0,7
Edificações	710	37,05	16,24	0
Concreto	710	22,33	8,31	0
Vrast	710	11,63	9,53	0
Vegarb	710	10,62	12,99	0
Asfalto	710	15,81	4,71	0
Solo	710	2,38	3,57	0
Água	710	,1778	,1987	0

A distribuição do teste é Normal.

Correção de Significância de Lilliefors.

A análise da tabela 11 mostra o teste de normalidade do conjunto de dados referentes as variáveis microclimáticas e as das variáveis de uso e ocupação do solo, com:

- e) O número de observações (N);
- f) A média aritmética dos análise (Me);
- g) O desvio padrão (DP);
- h) O p – valor.

Observa-se que os dados apresentam distribuição normal com p – valor menor que 1%.

4.5.2.4. Correlação Canônica entre as variáveis microclimáticas e as variáveis de uso e ocupação do solo

A compreensão das possíveis correlações entre as variáveis microclimáticas e as variáveis de uso e ocupação do solo passa pela avaliação das interdependências das variáveis de cada grupo. Nesta análise o que se observa é que há correlações entre as variáveis do mesmo grupo, inviabilizando regressões múltiplas que ignorem este contexto.

Desta forma, foi aplicada a ACC que possibilita, por meio de combinações lineares, correlacionar múltiplas variáveis independentes com múltiplas variáveis dependentes.

A aplicação da ACC converte os conjuntos das variáveis microclimáticas e de uso e ocupação do solo, em pares canônicos de variáveis, e expressa se há correlações estatisticamente significativas.

A tabela 12 expressa as correlações canônicas entre os dois grupos de variáveis:

- a) De Uso e Ocupação do Solo US_i ;
- b) Microclimáticas M_i .

TABELA 12 – Teste de Correlação Canônica entre os grupos de variáveis;
Variáveis Microclimáticas e de Uso e Ocupação do Solo

Funções Canônicas	Correlação	Autovalor	Estatística de Wilks	p-valor
1	,305	,103	,901	,000
2	,075	,006	,993	,964
3	,036	,001	,999	,971

O teste mostra que há correlação significativa entre a variável canônica US_i e M_i , sendo possível a formação de apenas um par canônico: (US_1, M_1) . Para os pares 2 e 3 não há correlação com significância estatística. O par canônico (US_1, M_1) tem coeficiente de correlação igual a 30,5 % e autovalor igual a 0,103. A partir da significância estatística na correlação é viável a análise das correlações e os respectivos pesos canônicos.

O coeficiente de correlação canônica igual a 30,5 %, portanto positivo, possibilita a inferência que a variável canônica US tem relação direta com a variável canônica M. A análise dos pesos canônicos traz a possibilidade de identificação das variáveis originais mais importantes na constituição de cada variável canônica.

Na Figura 76, observam-se os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica US.

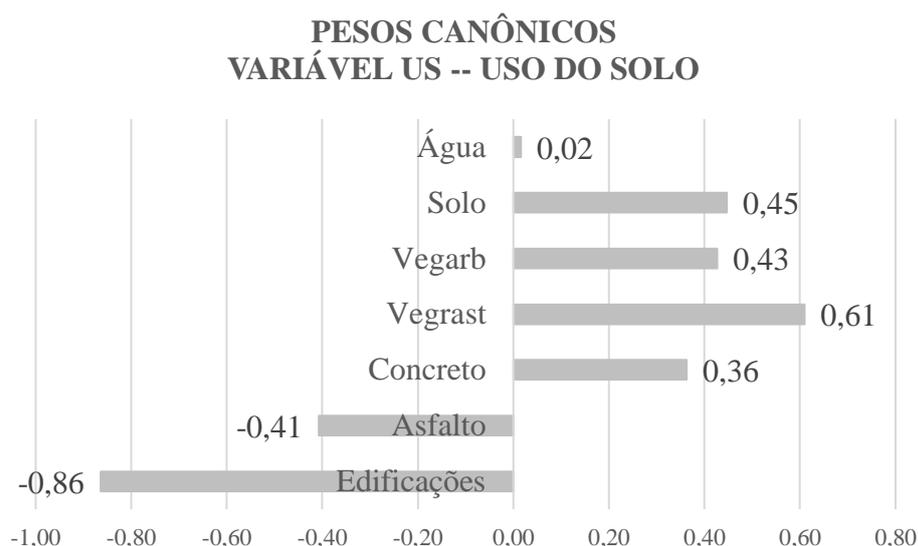


FIGURA 76 – Pesos canônicos das variáveis originais de uso e ocupação do solo na composição da variável canônica US.

Na composição da variável canônica US as variáveis originais mais importantes são:

- a) O percentual de edificações (Edificações) com peso canônico igual a $-0,86$;
- b) O percentual de vegetação rasteira (Vegrast) com peso canônico igual a $0,61$;
- c) O percentual de uso do solo (Solo) com peso canônico igual a $0,45$;
- d) O percentual de vegetação remanescente (Vegarb) com peso canônico igual a $0,43$;
- e) O percentual de asfalto (Asfalto) com peso canônico igual a $-0,41$;
- f) O percentual de concreto (Concreto) com peso canônico igual a $0,36$;

g) O percentual de água (Água) com peso canônico igual a 0,02.

As variáveis originais mais importantes na constituição da variável canônica US são as variáveis Edificações e Vegrast, contribuindo de forma inversa no estabelecimento da variável canônica US. As demais variáveis contribuem de forma intermediária conforme a Figura 76, exceção feita ao uso pela água, talvez pelo baixo percentual de ocupação, contribuindo de forma mínima na constituição da variável US.

O conjunto de variáveis microclimáticas formam a variável canônica M. Na Figura 77 estão os pesos canônicos das variáveis originais sobre a variável canônica M.

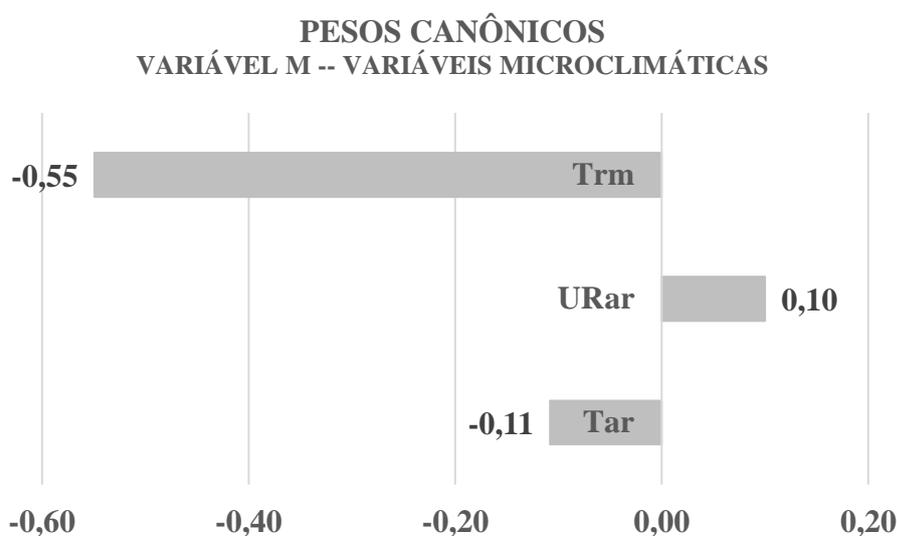


FIGURA 77 – Pesos canônicos das variáveis microclimáticas originais na composição da variável canônica M.

Na composição da variável canônica M, que expressa as variáveis microclimáticas, a variável original mais importante é a temperatura radiante média (Trm), cujo peso canônico é inverso igual a $-0,55$. As duas outras variáveis têm pesos menores, porém são importantes nas combinações lineares que serão realizadas na construção das correlações M x US. Os pesos canônicos das variáveis Temperatura do Ar (Tar) e Umidade Relativa do ar (URar), são respectivamente iguais a, $-0,11$ e $0,10$.

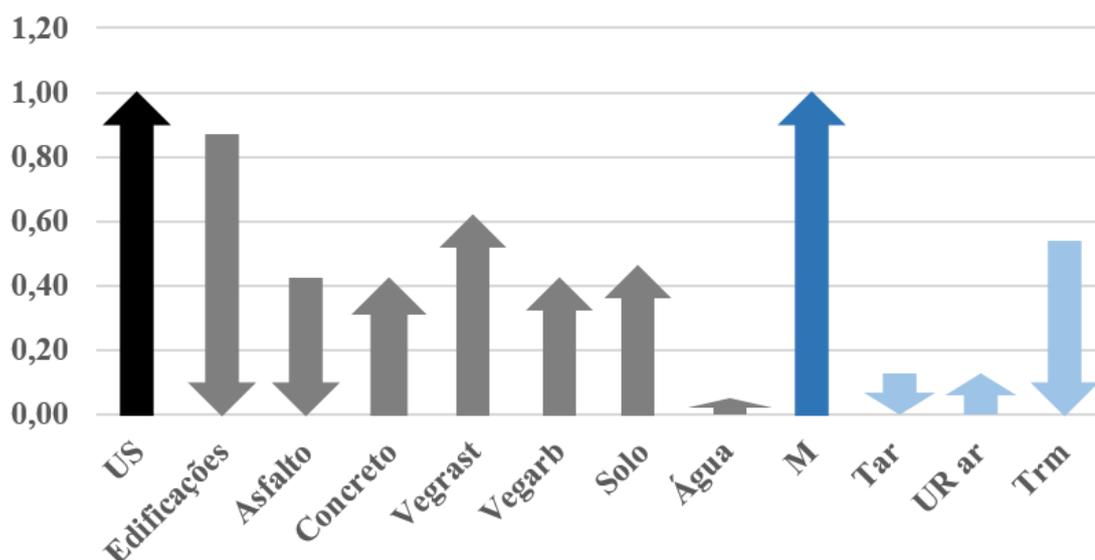


FIGURA 78 – Interdependências das variáveis originais e das variáveis canônicas, microclimáticas e de uso e ocupação do solo.

A Figura 78 possibilita avaliar as interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais.

As variáveis canônicas US e M têm correlação direta, ou seja, o aumento de US implica no aumento de M, assim a primeira inferência que se pode fazer é que o aumento de uma variável canônica implica no aumento da outra e a diminuição da mesma forma. As variáveis de uso e ocupação do solo acentuam ou atenuam os microclimas urbanos, assim há correlação entre as variáveis de uso e ocupação do solo e as variáveis microclimáticas.

Na Figura 78, observam-se algumas dependências e interdependências entre as variáveis canônicas e as variáveis originais:

- a) Menores valores do percentual de edificações interferem na constituição da variável US numa relação inversa, assim a diminuição do percentual de uso do solo com edificações implica na tendência de aumento da variável US, que por sua vez, correlaciona-se com M no sentido de aumentar o seu valor. O aumento do valor de M está relacionado de forma inversa com Trm, assim, a redução percentual de áreas ocupadas com edificações, com relação aos outros tipos de uso, ameniza os extremos microclimáticos, como elevadas temperaturas do ar e baixa umidade relativa do ar. A mesma correlação se dá quando se considera

o percentual de áreas ocupadas por asfalto, maiores usos deste tipo também acentuam os extremos microclimáticos, ainda que o peso canônico seja menor comparado ao das edificações. Enquanto o peso canônico do uso por asfalto é $-0,41$ o do uso por edificações é $-0,86$;

- b) Maiores valores do percentual de vegetação rasteira interferem na constituição da variável US numa relação direta, assim o aumento do percentual de uso do solo com vegetação rasteira implica na tendência de aumento da variável US, que por sua vez, correlaciona-se com M, no sentido de aumentar o seu valor. O aumento do valor de M está relacionado de forma inversa com Trm, assim, o aumento no percentual de áreas ocupadas com vegetação rasteira, com relação aos outros tipos de uso, ameniza os extremos microclimáticos, como elevadas temperaturas do ar e baixa umidade relativa do ar. A mesma correlação se dá quando se considera os percentuais de áreas ocupadas por vegetação remanescente, solo nu, concreto e água. Maiores usos de solo destes tipos também amenizam os extremos microclimáticos, ainda que os pesos canônicos sejam menores do que o do percentual ocupado por vegetação rasteira. Enquanto o peso canônico do uso da vegetação rasteira é $0,61$, os pesos canônicos do solo nu, da vegetação remanescente, do concreto e da água têm valores respectivamente iguais a: $0,45$, $0,43$, $0,30$ e $0,02$;
- c) As piores condições microclimáticas ocorrem nos pontos que têm os maiores percentuais de edificações e asfalto combinados a baixos percentuais de áreas vegetadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que o clima urbano tem alterações com relação ao referencial da região, definidos por aspectos meteorológicos, por aspectos da qualidade do ar e por aspectos microclimáticos. A qualidade do ar depende dos poluentes atmosféricos emitidos, mas também depende, das variáveis meteorológicas e sendo reduzida à escala de microclima, das variáveis microclimáticas. Essas últimas variáveis dependem de aspectos pontuais ligados a forma urbana e a função urbana.

O estudo demonstra que há correlações estatisticamente significativas entre as concentrações de material particulado ($[MP_{2,5}]$) e de monóxido de carbono ($[CO]$) e as variáveis meteorológicas: temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (URar), velocidade do vento (Vvento), velocidade de rajada de vento (Vrajada) e radiação (rad). A análise de correlação canônica obteve três pares canônicos, estatisticamente significativos, com coeficientes de correlação respectivamente iguais a 61%, 37% e 28%.

No primeiro par canônico, o qual define as combinações lineares com maiores correlações, é possível observar que no período de maior radiação, que corresponde a estação quente e úmida, há uma redução na concentração de poluentes atmosféricos. Outro aspecto que se observa é que o aumento da velocidade do vento (Vvento e Vrajada), o aumento de temperatura e o aumento da umidade relativa do ar reduzem as concentrações de $MP_{2,5}$ e se acentuam as combinações lineares com concentração mínima de CO, na prática, sob o ponto de vista destes dois poluentes, há uma melhora na qualidade do ar.

O segundo par canônico é estabelecido com coeficiente de correlação inferior ao do primeiro par e igual a 37 %. Nesse par canônico o aumento de temperatura do ar, associado a uma baixa umidade relativa do ar e a redução na velocidade do vento, agravam o problema da poluição, aumentando as concentrações de $MP_{2,5}$ e CO. Este cenário se vislumbra em meses secos e de atmosfera estável, por exemplo, ocorreu em setembro de 2018 e setembro de 2019. Nesses meses a qualidade do ar foi inadequada, ultrapassando os limites recomendados pela OMS, formou-se em Cuiabá-MT e entorno uma cúpula atmosférica de calor e poluentes atmosféricos.

O terceiro par canônico é estabelecido com coeficiente de correlação inferior ao do primeiro e segundo pares e igual a 28%. Nesse par canônico o aumento de umidade relativa está relacionado, com maior peso canônico, às concentrações mínimas de material particulado e as concentrações mínimas de monóxido de carbono, reforçando a importância da umidade relativa do ar na minimização da concentração de material particulado e de monóxido de carbono. Nesse par canônico novamente a velocidade do vento tem correlação inversa com a concentração máxima de material particulado e de monóxido de carbono.

Outra parte desta pesquisa investigou a escala microclimática com a utilização de dois transectos móveis, os quais possibilitaram a análise da umidade relativa do ar, temperatura do ar e da temperatura radiante média, segundo a variação do uso e ocupação do solo urbano. Se a temperatura do ar e a umidade relativa do ar têm correlações com as concentrações de poluentes e dependem da forma urbana, é possível inferir que a forma e função urbana podem atenuar ou agravar a dispersão e concentração de poluentes atmosféricos.

Por meio da análise de correlação canônica, observa-se que o tipo de uso do solo e a função urbana têm correlação, estatisticamente significativa, com as variáveis microclimáticas. O par canônico entre o uso e ocupação do solo e as variáveis microclimáticas tem coeficiente de correlação igual a 30,5 %. Por meio do par canônico e dos pesos canônicos é possível inferir que áreas com alto percentual de edificações e pavimentações aumentam as temperaturas do ar e a radiante média e diminuem a umidade relativa do ar. E as áreas vegetadas têm comportamento oposto.

Assim a qualidade do ar é definida por um intrincado sistema de interdependências, das quais, esta pesquisa demonstrou que as variáveis meteorológicas interferem nas concentrações de poluentes atmosféricos e na qualidade do ar. E também que há uma correlação entre o uso e ocupação do solo e as variáveis microclimáticas, assim a forma e a função da cidade interferem na concentração e dispersão de poluentes atmosféricos e conseqüentemente na qualidade do ar.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Medir a poluição atmosférica nas principais vias de Cuiabá e avaliar o comportamento estatístico da poluição e das variáveis meteorológicas e microclimáticas e suas correlações.

Ampliar o período de coleta dos dados de poluição atmosférica e variáveis meteorológicas e fazer a análise estatística num software de livre acesso.

Estudar a poluição atmosférica comparando a concentração de poluentes segundo o tipo de uso do solo urbano, comparando uma área com predominância vegetal e outra com edificações e pavimentações.

6. BIBLIOGRAFIAS

6.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ADAMS, M. D.; KANAROGLOU, P. S. Mapping real-time air pollution health risk for environmental management: Combining mobile and stationary air pollution monitoring with neural network models. *Journal of Environmental Management*, nº 168, p. 133 – 141, 2016.

AGUIAR, L. F. M. C.; SILVA, M. V. C.; GANDU, A. W.; ROCHA, C.A.; CAVALCANTE, R.M. Caracterização de Cânions Urbanos e seus Efeitos Climáticos em Área com Intenso Processo de Verticalização na Cidade de Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, nº 04, p. 1046-1058, 2017.

ALMEIDA, J. S. CENÁRIO ATUAL DO MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA CAPITAL DO ESTADO DE MATO GROSSO – CUIABÁ. Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz. Disponível em:

http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_13_ALMEIDA_Jorge_Soares.pdf

Acesso em: 03/12/2019

AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C.F.L. Poluição ambiental e óbitos devido a acidente vasculoencefálico em uma cidade com baixos níveis de poluentes: estudo ecológico de séries temporais. São Paulo. **Medical Journal**, v.132, n.6, 2014.

ANDRADE, L. P. ; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANTOS, F. M. M.; NOGUEIRA, J. S.; MUSIS, C. R.; NOVAIS, J. W. Z. Atmospheric Pollution and Meteorological Parameters in the City of Cuiabá-MT. **Modern Environmental Science and Engineering (ISSN 2333-2581)** , Volume 5, No. 6, pp. 474-481 Doi: 10.15341/mese(2333-2581)/06.05.2019/003, 2019.

ANDRADE, M. F.; MIRANDA, R. M.; FORNARO, A.; KERR, A.; OYAMA, B.; ANDRE, P. A.; SALDIVA, P. Vehicle emissions and PM_{2.5} mass concentrations in six Brazilian cities. **Air Quality Atmosphere & Health**, nº 5, p. 79 – 88, 2012.

ARNFIELD, A. J. How to do Urban Climatology: a Personal View of the Legacy of Professor Tim Oke. Disponível em: <http://blogs.ubc.ca/toke/files/2015/12/Arnfield-2006.pdf>. Acesso em 31/12/2019.

BINAKU, K.; SCHMELING, M. Multivariate statistical analyses of air pollutants and meteorology in Chicago during summers 2010-2012. **Journal Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 10, p. 1227-1236, 2017.

BINAKU, K.; O'Brien, T.; Schmeling, M. Statistical analysis of aerosol species, trace gasses, and meteorology in Chicago. *Journal Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, Issue 9, p. 7295–7308, 2013.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE MATO GROSSO. Dados em arquivo eletrônico. Número de Ocorrências, 2019.

CETESB (São Paulo) Qualidade do ar no estado de São Paulo 2018 [recurso eletrônico] / CETESB; Equipe técnica Clarice Aico Muramoto ... [et al.] ; Mapas Thiago De Russi Colella. - - São Paulo: CETESB, 2019. 1 arquivo de texto (210 p.) : il. color., PDF ; 25 MB. - - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)

CHRISTEN, A. Atmospheric Measurement Techniques to Quantify Greenhouse Gas Emissions From Cities. The 8th International Conference on Urban Climate and 10th Symposium on the Urban Environmental, V. 10, part 2, p. 241 – 260, 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2019. Resolução 491, de 19/11/2018. Acesso em 31/12/2019.

Disponível em : <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>.

COUTINHO, L. M. Aspectos do Cerrado (Clima). Disponível em:

http://ecologia.ib.usp.br/cerrado/aspectos_clima.htm. Acesso em 07/01/2020.

CPTEC-INPE, 2019. Acesso em 29/12/2019.

Disponível em:http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo_cattbrams.php

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá / Perfil Socioeconômico de Cuiabá – Volume V. Cuiabá – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano – SMDU. Cuiabá: Setembro, 2012.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n° 86, São Paulo, Janeiro/Abril, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>

DELGADO-RAMOS, G. C. Complejidad e interdisciplina en las nuevas perspectivas socioecológicas: la ecología política del metabolismo urbano. *Letras Verdes*. **REVISTA LATINOAMERICANA DE ESTÚDIOS SOCIOAMBIENTALES**. N° 17, p. 108-130, 2015.

DETRAN-MT. Departamento de Trânsito de Mato Grosso. Disponível em:

detran.mt.gov.br/documents/9895421/10094498/Frota+por+tipo+DEZ+2018/aa6c9252-8a66-144f-e723-57b34863d78a Acesso em 23/12/2019

FREITAS, S.R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; CHATFIELD, R.; DIAS, P. S.;

ARTAXO, P.; ANDRAE, M. O.; GRELL, G.; RODRIGUES L. F.; FAZENDA, A.;

PANETTA, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, n° 8, p. 2843-2861, 2009.

GALINDO, N., VAREA, M., GIL-MOLTÓ, J., YUBERO, E., NICOLÁS, J. The Influence of Meteorology on Particulate Matter Concentrations at an Urban Mediterranean Location. **Journal Water Air Soil Pollution**, n° 215, p. 365-372, 2010.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, C.F.L. Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.9, n° 3, 2014.

GOTELLI, NICHOLAS J.; ELLISON, AARON M. (2011) Princípios de estatística em ecologia em estatística. Porto Alegre: Artmed., 2011, 527 p.

HAIR, J. F. Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Análise Multivariada de Dados*, Bookman, Porto Alegre, 6ª Edição, 2009, 688 p.

HÄRDLE, W.; SIMAR, L. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007, 479 p.

HE, J.; GONG, S.; YU, Y.; YU, L.; WU, L.; MAO, H.; SONG, C.; ZHAO, S.; LIU, H.; LI, X.; LI, R. Air pollution characteristics and their relation to meteorological conditions during 2014 – 2015 in major Chinese cities. **Environmental Pollution**, n° 223, p. 484 – 496, 2017.

HINOJOSA-BALIÑO, I.; INFANTE-VÁZQUEZ, O.; VALLEJO, M. Distribution of PM_{2.5} Air Pollution in Mexico City: Spatial Analysis with Land-Use Regression Model. **Applied Sciences**, n° 9, p. 2936, 16 páginas, 2019.

JHONSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied Multivariate Statistical Analysis, Pearson Education, New Jersey, 6ª Edição, 1998, 773 p.

KUO, Yi-Ming; ZHAO, E.; LI, Min-Jing; YU, H.; QIN, J. Ambient Precursor Gaseous Pollutants and Meteorological Conditions Controlling Variations of Particulate Matter Concentrations. **Clean Soil Air Water**, v. 45 , n° 8, p. 1-9, 2017

LO, C. P.; QUATTROCHI, D. A. Land-Use and Land-Cover Change, Urban Heat Island Phenomenon, and Health Implications. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, n° 9, p. 1053-1063, 2003.

LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; ANDREAE, M. O.; SETZER, A.; PRINS, E.; ARTAXO, P. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, p. 5785-5795, 2010.

LUVSAN, M-E., SHIE, R-H., PUREVDORJ, T., BADARCH, L., BALDORJ, B., CHAN, C-C. The Influence of Emission Sources and Meteorological Conditions on SO₂ Pollution in Mongolia. **Atmospheric Environment**, v. 61, p. 542-549, 2012.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P.; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36 n. 3, set-dez. 2014, p. 459 – 469, 2014.

MACKENZIE, A. R.; WHYATT, J. D. ; BARNES, M. J.; DAVIES, G.; HEWITT, C.N. Urban form strongly mediates the allometric scaling of airshed pollution concentrations. **Environmental Research Letters**, 14, 124078, p.1-11, 2019.

MARQUES, R. AVALIAÇÃO TEMPORAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DE CHUVA E DO MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL: estudo aplicado à Cuiabá-MT. São Paulo, 2011. 110f. Tese (Doutorado em Ciências). Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

MEDONÇA, F. A., CASTELHANO, F. J. O Clima e a Poluição por PTS em Curitiba - PR. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. Publicado em 24/10/2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE Disponível em <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes>. Acesso em 15/12/2019.

NAÇÕES UNIDAS DO BRASIL Disponível em <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial>. Acesso em 01/12/2019.

NARDOCCI, A. C.; FREITAS, C. U.; LEON, A. C. M. P.; JUNGER, W. L.; GOUVEIA, N. C. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.29, n.9, p.1867-76, 2013.

NOVAIS, J. W. Z. N.; DANELICHEN, V. H. M.; PIERANGELI, M. A. P.; ANDRADE, L. P.; SANCHES, L.; SALLO, F. S.; PEREIRA, O. A. Variation of Leaf Area Index by Remote Sensing and Surface Measurements for a Tropical Savanna. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.13, n°8, p.29-39, 2019.

NUÑEZ-ALONSO, D.; PÉREZ-ARRIBAS, L. V.; MANZOR, S.; CÁCERES, J. O. Statistical Tools for Air Pollution Assessment: Multivariate and Spatial Analysis Studies in the Madrid Region. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, Article ID 9753927, 9 pages, 2019.

OKE, T. R. Methods in urban climatology. In: W. KIRCHHOFER, A. OHMURA and H. WANNER (Editors), *Applied Climatology* (Zürcher Geog. Schriften, 14). Eidgenössische Technische Hochschule Geographische Institut, Zurich, p. 19-29, 1984.

OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. In: *Air Pollution Modeling and its Application XVII*. Borrego, C. and A. L. Norman (eds), Springer, 2004.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. *Urban Climate*. University of British Columbia. Cambridge: Cambridge University Press, 2017, 542p.

PIMENTEL, C. F.; PESSI, D. D.; BARBOSA, D. S.; SILVA, N. M.; OLINDA, R. A. Análise dos fatores que influenciaram na concentração de material particulado na área urbana de Rondonópolis (MT). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais/Ibero-American Journal of Environmental Sciences**, v. 9, n° 8, p. 343-358, 2018.

RODRIGUES, S. S. Efeitos da Poluição Atmosférica na Saúde da População do Estado de Mato Grosso (Amazônia Legal Brasileira), 2017. 105 f. Tese (Doutorado), Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2017.

SANTIAGO, A.; PRADO, R. J.; FILHO, P. M.; ALONSO, R. V. Caracterização do material particulado suspenso no ar de Cuiabá-MT no período de queimadas. **Revista Matéria**, v. 20, n° 01, artigo 11595, p.273-283, 2015

SHARMA, A.; MANDAL, T. K.; SHARMA, S.K.; SHUKLA, D.K.; SINGH, S. Relationships of surface ozone with its precursors, particulate matter and meteorology over Delhi. **Journal Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 74, p. 451-474, 2016.

SOUSA, R. R.; NASCIMENTO, J. A.; TOPANOTTI, D. Q. CONSEQUÊNCIAS DOS INCÊNDIOS ACONTECIDOS NA CIDADE DE CUIABÁ, MT. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG**, n° 10, 2008.

STEENEVELD, Gert-Jan; KLOMPMAKER, J. O.; GROEN, R. J. A.; HOLTSLAG, A. A. M. An urban climate assessment and management tool for combined heat and air quality judgements at neighbourhood scales. **Resources, Conservation and Recycling**, n° 132, p. 204-217, 2018.

TAI, A. P. K. ; MICKLEY, L. J.; JACOB, D. J. Correlations between fine particulate matter (PM_{2,5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2,5} to climate change. **Atmospheric Environment**, v. 44, issue 32, p. 3976 – 3984, 2010.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology**, nº 27, p. 1983-1993, 2007.

UEDA, A. C.; EDSON, T. Inventário de Emissão de Fontes Veiculares da Região Metropolitana de Campinas, São Paulo. Campinas – SP. **Revista Química Nova.**, v. 34, nº 9, doi.org/10.1590/S0100-40422011000900003, 2011.

VALIN Jr, M. O. Análise de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis, 2019. 118f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2019.

VIALI, L. Série Multivariada, Anotações. Acesso em 20/12/2019.

<http://www.pucrs.br/ciencias/viali/especializa/realizadas/ceea/multivariada/textos/Introducao.pdf>

WANG, L.; LEI, S.; MA, S. Correlation Analysis between Air Quality and Meteorological Indicators in Qingdao. **Climate Change Research Letters**, Published Online, v. 7(6), p. 454-462, 2018.

WHO (World Health Organization). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, summary of risk assessment. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 20 pages, 2006.

WHO. World Health Organization. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: WHO, 2016.

WOLMAN, Abel The Metabolism of Cities. **Scientific American**. nº 3, v. 213, p. 179 – 190, 1965.

XUE, D.; LI, C.; LIU, Q. Visibility characteristics and the impacts of air pollutants and meteorological conditions over Shanghai, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187:363, p. 1-10, 2015.

YANAGI, Y.; ASSUNÇÃO, V. J.; BARROZO, V.L. Influência do material particulado atmosférico na incidência e mortalidade por câncer no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.28, n.9, p.1737-48, 2012.

YANG, J.; WEIL, Q.; LIU, L.; TIAN, Z.; ZHU, J.; FENG, H. Air Quality and Meteorological Conditions Coupling Analysis of the Jingjinji District. **International Conference on Advances in Materials, Machinery, Electrical Engineering (AMMEE 2017)**, v. 114, 2017.

ZHANG, Y. Urban Metabolism: a review of research methodologies. **Environmental Pollution**. v. 178, p. 463-473 2013.

6.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

NOVAIS, J. W. Z.; OLIVEIRA, E. V.; JOAQUIM, T. D.; LEAL, L. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANCHES, L. Comparação de desempenho térmico de painéis em EPS como alternativa a tijolos cerâmicos no conforto térmico de residências em Cuiabá-MT. **UNOPAR Científica Exatas e Tecnológicas**, v13, n1, p. 39-43, 2014.

SILVA, R. S. Estatística para Meteorologia, Departamento de Métodos Estatísticos Instituto de Matemática Universidade Federal do Rio de Janeiro, Anotações de Aula
Disponível em: www.im.ufrj.br/ralph/meteorologia.html. Acesso em 13/12/2019.

WILKS, D. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Academic Press, Cornell University, USA, 3ª edição, 2011, 704 p.