

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

**ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR
PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-
GROSSENSE**

ANNA CAROLINNA ALBINO SANTOS

**PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, Março de 2018.

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

**ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR
PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-
GROSSENSE**

ANNA CAROLINNA ALBINO SANTOS

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

PROF.DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA
ORIENTADOR

Cuiabá, MT, Março de 2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A336a Albino Santos, Anna Carolinna.
ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR PARTÍCULAS
DE AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE / Anna
Carolinna Albino Santos. -- 2018
107 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: José de Souza Nogueira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Atmosfera. 2. Black carbon. 3. Brown carbon. 4. Mudanças
climáticas. 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
DOUTORADO ACADÊMICO

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR POR PARTÍCULAS DE
AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

AUTOR: ANNA CAROLINNA ALBINO SANTOS

Tese defendida e aprovada em 01 de março de 2018, pela comissão julgadora:

Dr. José de Souza Nogueira
Orientador
(Instituto de Física - UFMT)

Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Examinador Interno
(Instituto de Física - UFMT)

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

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

Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
(Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pelos momentos difíceis que me deu força e coragem para enfrentá-los.

Aos meus pais Arcelino e Maria de Fátima, a minha mãe em especial que não mediu esforços durante toda minha trajetória de estudos e de vida.

AGRADECIMENTOS

- A Deus pelo dom da vida, por sempre me guiar em toda a trajetória e pela proteção concedida;
- À minha mãe Fátima por estar sempre ao meu lado me apoiando e guiando em toda minha vida, te amo!!!
- A minha comadre e irmã Daniela Santos pelo presente mais lindo que poderia ter me dado, o nosso príncipe: João Pedro, amo vocês!!!
- A minha afilhada Letícia Camargo por sempre estar comigo nas horas alegres e tristes!!! Amo você!!!
- Ao meu namorado Leandro Luetkmeyer por toda a paciência, carinho e atenção para comigo nos momentos bons e difíceis.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida e à FAPEMAT por meio do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (PRONEX) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa processo n. 823971/2009;
- Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental – PGFA e, em especial, ao Coordenador e orientador Professor Doutor José de Souza Nogueira (Paraná), pela oportunidade, pelo incentivo e apoio ao longo desses seis anos, sendo mais do que um orientador, me ensinando e me guiando como um pai nos momentos que precisei de um puxão de orelha e incentivo em todo o crescimento nessa caminhada;
- À FAPESP pelo projeto AEROCLIMA 08/58100-2;
- Ao Professor Doutor Paulo Artaxo, seus colaboradores e equipe Física Atmosférica – USP,
- Ao Seu Alcides, Fernando e Fabinho por toda a montagem do experimento e todas as explicações dadas dos equipamentos;
- Ao Joel por todas as explicações com os equipamentos;
- A professora Luciana Rizzo pela ajuda e paciência a todas as vezes que solicitei com minhas inúmeras dúvidas na época de Mestrado, uma orientadora e uma pessoa especial que tive a honra de conhecer e que me deu

coragem para continuar com a mesma área de pesquisa no Doutorado, minha sincera admiração pela sua pessoa e seu profissional;

- A técnica Ana Lúcia pelas análises realizadas dos filtros e todas as dúvidas em relação às técnicas utilizadas nas análises;
- A três ex-alunas e que se tornaram amigas: Camilla Carvalho, Giovanna Camolezi, Vitória Nelma pelo incentivo e apoio nas horas que mais precisei nesses últimos anos;
- A minha madrinha Carmen Reis que sempre me auxilia e me ajuda com seus conselhos e toda a paciência do mundo nas horas de pânico. Obrigada por tornar meus medos mais fáceis de enfrentar.
- A amiga do Grupo de Pesquisa em Aerossóis pela ajuda em campo, análise dos dados, nos meus estágios docências tanto no Mestrado e Doutorado: Amanda Finger;
- A dona Doca e seu Adolfo por todo o auxílio nas hospedagens na base, ajuda com os filtros e com toda a atenção;
- A Professora Iramaia Jorge Cabral de Paulo pela confiança e pelo convite em fazer o Mestrado na área da Física Ambiental e, por conseguinte me engajei no Doutorado, meu muito OBRIGADA a senhora que me engajou no campo da docência e pesquisa;
- Aos colegas da turma, Hozana, Marcos, Fahim, Luiz de Annuniação, Jesumar, Rúbia e Thiago Franco;
- Ao amigo Rafael Palácios por toda a paciência, ajuda e ensinamentos no meu último ano do doutorado;
- A Heloísa por sempre me ajudar com a programação e todo o carinho nos dias bons e ruins;
- A todos os Professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - PGFA pela oportunidade de aprendizagem e convivência;
- A professora Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira por todos os mimos e carinhos no dia da nossa apresentação e todos os ensinamentos concedidos nesses seis anos de convivência.

- Ao Cesário, Jô e Soilce (mãe Física) pela ajuda e colaboração sempre que solicitei;
- Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram para minha formação acadêmica e na minha formação pessoal, deixo aqui:

MUITO OBRIGADA!!!

EPIGRAFE

“O amor é a forma mais sutil do mundo”.

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada,
não existirão resultados”.*

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIACOES.....	vi
LISTA DE ILUSTRAOES.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. PROBLEMÁTICA.....	14
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1. O BALANÇO RADIATIVO TERRESTRE.....	18
2.2. O AEROSSOL ATMOSFÉRICO.....	21
2.2.1 Distribuição do tamanho do Aerossol.....	22
2.2.2 Ciclo de vida dos aerossóis.....	23
2.2.3 A componente orgânica do aerossol.....	25
2.2.4 Impactos do aerossol no clima.....	27
2.2.5 O Black carbon e absorção de radiação.....	29
2.3. O PANTANAL MATO-GROSSENSE.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
3.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	38
3.2.1 – Instrumentação utilizada para amostragem de aerossóis.....	38
3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	41
3.3.1 Análise Gravimétrica.....	41
3.2.2 Análise de <i>black carbon</i> por reflectância.....	43
3.2.3 Determinação de EC e OC.....	45
3.2.4 Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (Fluorescence X Ray Energy Dispersive) para composição elementar.....	46

3.2.5	MAAP – Medidas de absorção em tempo real.....	50
3.2.6	Aetalômetro: medida da absorção espectral de aerossóis	51
3.2.7	Validação para as medidas realizadas in-situ	54
3.2.8	Medidas de atenuação do aerossol	54
3.3	OBTENÇÃO DAS FRAÇÕES DE ABSORÇÃO POR BLACK CARBON E BROWN CARBON COM MEDIDAS DO AETALÔMETRO.....	57
3.4	MODELO DE TRAJETÓRIAS HYSPLIT	58
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1.	PRECIPITAÇÃO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE.....	61
4.2.	FONTES DO MATERIAL PARTICULADO.....	62
4.3.	CONTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NA MODA FINA PARA A ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE	63
4.4.	MAAP E ANÁLISE DE FILTRO RELACIONADO COM O BLACK CARBON E COMPARATIVOS COM OUTROS BIOMAS.....	72
4.5.	CARBONO ORGÂNICO/CARBONO ELEMENTAR E COMPARAÇÃO COM OUTROS BIOMAS.....	76
4.6.	TRANSPORTE A LONGA DISTÂNCIA.....	82
5.	CONCLUSÃO.....	86
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
6.1.	CITADAS	88
6.2.	CONSULTADAS	106

LISTA DE ABREVIÇÕES

- AFG:** Amostrador de Particulado Fino e Grosso
- AEE:** Expoente Angstrom de Absorção
- BAAP:** Base Avançada de Pesquisa no Pantanal
- DEA:** Diâmetro de equivalência aerodinâmica
- BC:** Black Carbon (Carbono Grafítico)
- BrC:** Brown Carbon
- BCr:** Black carbon refratário
- CH₄:** Gás metano
- CO₂:** Gás carbônico
- COV's:** Carbono orgânico voláteis
- DEA:** Diâmetro de equivalência aerodinâmica
- EC:** Carbono Elementar (do *Elemental Carbon*)
- H₂O:** Água
- IFUSP:** Instituto de Física da Universidade de São Paulo
- IV:** Infravermelho
- LFA:** Laboratório Física Atmosférica
- LPM:** Litros por minuto
- MAC:** Coeficiente de absorção em concentração de massa
- MAAP:** Multi-Angle Absorption Photometry
- MPF:** Material Particulado Fino
- MPG:** Material Particulado Grosso
- Mm⁻¹:** Megametro
- N₂:** Gás Nitrogênio
- N₂O:** Óxido nitroso
- NCN:** Núcleos de Condensação de Nuvens
- O₂:** Gás oxigênio
- O₃:** Ozônio
- OC:** Carbono Orgânico (do inglês *Organic Carbon*)

PC: Gerado piroliticamente

PI: Partículas Inaláveis

PPGFA: Programa de Pós-graduação em Física Ambiental

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PVC: Policloreto de polivinila ou policloreto de vinil

RPPN: Reserva Particular do Patrimônio Natural

SESC: Serviço Social do Comércio

UV: Ultravioleta

V: Vanádio

V. divergens: *Vochysia divergens*

TC: Carbono Total (do inglês *Total Carbon*)

XRF: X - Ray Fluorescence (Fluorescência de Raios – X)

µm: Micrometros

ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Balanço de energia terrestre médio global. Os valores em W/m^2 indicam a magnitude dos fluxos de energia juntamente com sua faixa de incerteza, representando as condições climáticas atuais. O fluxo de radiação de onda longa é representado em laranja e o de radiação solar é representado em amarelo.....	18
Figura 2. Média global da forçante radiativa devido a atividades antrópicas e naturais desde 1750.....	20
Figura 3. Distribuição de tamanho das partículas de aerossol e processos associados à produção e transformação de partículas.....	22
Figura 4. Ciclo de vida de aerossóis e nuvens.....	24
Figura 5. Esquema das fontes primárias de emissão de <i>black carbon</i>	30
Figura 6. Localização da área de estudo, no detalhe o Pantanal brasileiro e a limitação da área de onde foram coletados os aerossóis.....	35
Figura 7. Centro Avançado de Pesquisas do Pantanal - Reserva Particular do Patrimônio Natural do Serviço Social do Comércio (SESC) – Baía das Pedras – Pantanal.....	36
Figura 8. Base de coleta de dados na estação Pantanal.....	37
Figura 9. (Esquerda) Foto mostrando todos os estágios do amostrador de particulado fino e grosso e (direita) Amostrador de particulado fino e grosso (AFG) que está montado.....	40
Figura 10. Esquema do amostrador de Particulado fino e grosso (AFG) utilizado na campanha de coleta do material particulado.....	41
Figura 11. Balança com precisão nominal de $1 \mu g$ (à esquerda) e o aparelho usado para remover a eletricidade estática dos filtros (à direita).....	42
Figura 12. Refletômetro usado para a quantificação do BC.....	44
Figura 13. Aparelho utilizado para quantificação elementar das amostras utilizando indução por Raios-X.....	49
Figura 14. Desenho esquemático do princípio de funcionamento do MAAP e mostra o processo simultâneo da medida de absorção em um filtro de fibra de vidro e assim	

o espalhamento ótico é determinado e descontado através de um algoritmo desenvolvido para o instrumento.....	50
Figura 15. Representação esquemática do funcionamento dos processos de radiação a ser considerado no sistema de duas camadas constituindo o aerossol considerando uma camada carregada de filtro com material particulado e a matriz de filtro livre de partículas.....	51
Figura 16. Aetalômetro usado para medir a concentração de <i>black carbon</i>	52
Figura 17. Princípios de funcionamento do Aetalômetro AE30, com dois feixes de referência de medidas para cálculos de correção para efeito de filter loading.....	53
Figura 18. O expoente de absorção de Ångström (AAE) para <i>black carbon</i> (BC) estimado usando os cálculos de Mie em função de tamanho e para uma série dos estados de revestimento.....	58
Figura 19. Precipitação mensal acumulada de abril a de 2012 a agosto de 2013 no Pantanal.....	61
Figura 20. Variação da precipitação durante o período de amostragem em 2012 e 2013 e precipitação registrada pelo INMET entre os anos de 1983 - 1994 na região Porto Cercado.....	62
Figura 21. . Coeficiente de absorção (medidos na fita do equipamento) e atenuação (valores corrigidos para os comprimentos de onda de 470 nm e 880 nm de acordo com Wang et al., 2016) do material particulado PM _{2.5} medidos pelo Aetalômetro na estação Pantanal Mato-grossense nos meses de abril a junho de 2013.....	64
Figura 22. Absorção de <i>Brown Carbon</i> e <i>Black Carbon</i> nos meses de março a junho de 2013.....	68
Figura 23. Absorção de <i>Brown Carbon</i> e <i>Black Carbon</i> nos dias agrupados dos meses de março a junho de 2013.....	69
Figura 24. Série temporal para os comprimentos de onda de 470 e 880 nm com média de 30 min para os meses de março a junho de 2013 no site do Pantanal Mato-grossense.....	71

Figura 25. Concentração de <i>black carbon</i> , medidas instantâneas a cada 30 minutos nos meses de maio a setembro de 2012 na moda fina no site Pantanal. Período de transição do chuvoso para o seco.....	72
Figura 26. Regressão linear da relação de <i>black carbon</i> e material particulado fino (MPF).....	73
Figura 27. Regressão linear da relação de <i>black carbon</i> e material particulado grosso (MPG).....	74
Figura 28. Concentração de <i>black carbon</i> na moda fina e grossa.....	75
Figura 29. Série temporal das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC), em unidade de $\mu\text{g.m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.....	77
Figura 30. Relação das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC), em unidade de $\mu\text{g.m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.....	78
Figura 31. Relação das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono total (TC), em unidade de $\mu\text{g.m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.....	79
Figura 32. Trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense para o dia 04 e 12 de setembro de 2012 integrações para o cálculo de cada trajetória foi de 24 horas.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limite de Detecção dos elementos.....	47
Tabela 2. Concentrações médias e desvios-padrão para OC, EC e suas frações. Além disso, mostram os valores das relações OC: EC e EC: TC. As concentrações são relatadas em $\mu\text{g.m}^{-3}$. N significa o número de amostras coletadas do site Pantanal (49 amostras).....	80

RESUMO

SANTOS, A.C.A.; 2018. **Absorção da Radiação Solar por partículas de aerossóis no Pantanal Mato-grossense**, 107 p. (Tese em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

Neste estudo foi realizada uma caracterização das propriedades ópticas de partículas de aerossóis biogênicos, de poluição e de queimadas. O objetivo desse trabalho foi estudar a absorção da radiação solar por partículas de aerossóis no Pantanal Mato-Grossense. As amostras de aerossóis atmosféricos foram coletadas de abril de 2012 a agosto de 2013 na Base Avançada de Pesquisas, localizada no Pantanal Mato-grossense, Brasil. O dispositivo de amostragem consistiu em amostradores de particulado fino e grosso (AFG), que separam a fração fina do aerossol ($d_p < 2,5 \mu\text{m}$) e a fração grossa ($2,5 - 10 \mu\text{m}$). Foram utilizadas abordagens diferentes, incluindo medidas *in situ* tanto do equipamento Aetalômetro e MAAP. Com relação aos cálculos realizados para o expoente de Angstrom de absorção em relação aos coeficientes de absorção foram corrigidos para os efeitos de espalhamento múltiplo e os dados trabalhados para o Aetalômetro foram utilizados os comprimentos de onda de 470 e 880 nm em que apresentou mínimo de 15 Mm^{-1} e máximo de 30 Mm^{-1} nos dias mais afetados por emissões de queimadas no período seco. Com relação às maiores concentrações de *black carbon* fino e grosso foram de $1,7$ e $0,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ durante o período seco e chuvoso para as amostras medidas pelos filtros. Para o equipamento MAAP, apresenta uma maior concentração de *black carbon* na moda fina no período das queimadas nos dias de 04 e 09 de setembro de 2012 e pode-se avaliar a origem das trajetórias calculadas com o programa Hysplit nos dias de pico intenso do material particulado, em que o vento vindo do Sul com umidade menor aumentará a emissão de aerossóis, pico intenso para a relação entre carbono orgânico/carbono elementar. Com relação à concentração média de carbono orgânico (OC) medido foi $1,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ no período seco e de $1,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ no período chuvoso.

Palavras-chave: atmosfera, *black carbon*, *brown carbon*, mudanças climáticas.

ABSTRACT

SANTOS, A.C.A.; 2018. **Absorption of solar radiation by aerosol particles in the Mato Grosso Pantanal**, 107 f. Thesis (PhD in Environmental Physics) – Physics Institute, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

In this study a characterization of the optical properties of particles of biogenic aerosols, of pollution and of fires was carried out. The objective of this work was to study the absorption of solar radiation by aerosol particles in the Mato Grosso Pantanal. Atmospheric aerosol samples were collected from april 2012 to august 2013 at the Advanced Research Base, located in the Mato Grosso Pantanal, Brazil. The sampling device consisted of fine and coarse particulate (AFG) samplers, separating the fine fraction of the aerosol ($dp < 2.5 \mu\text{m}$) and the coarse fraction ($2.5 - 10 \mu\text{m}$). Different approaches were used, including in situ measurements of both the Aethalometer and MAAP equipment. With respect to the calculations performed for the absorption Angstrom exponent in relation to the absorption coefficients were corrected for the effects of multiple scattering and the data worked for the Aetalômetro were used the wavelengths of 470 and 880 nm in which presented minimum of 15 Mm^{-1} and maximum of 30 Mm^{-1} in the days most affected by emissions of burnings in the dry period. In relation to the highest concentrations of fine and coarse black carbon were 1.7 and $0.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ during the dry and rainy period for the samples measured by the filters. For the MAAP equipment, it presents a higher concentration of black carbon in the fine fashion in the period of the fires on the days of 04 and 09 of September of 2012 and the origin of the trajectories calculated with the program Hysplit can be evaluated in the days of intense peak of the material particulate matter, in which wind from the South with lower humidity will increase the emission of aerosols, an intense peak for the relation between organic carbon / elemental carbon. The mean organic carbon (OC) concentration measured was $1.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the dry period and $1.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ in the rainy season.

Keywords: atmosphere, *black carbon*, *brown carbon*, climate change.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A atmosfera terrestre é composta pelos gases oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2), que somam cerca de 99%, e por gases traços, entre eles o gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), ozônio (O_3), o óxido nitroso (N_2O) e vapor de água (H_2O), e o restante da composição, os 1% é o ar que respiramos. Aproximadamente toda radiação solar recebida pela Terra é necessário ser reemitida de volta para o espaço para certificar o equilíbrio radiativo, pois toda a energia que chega a Terra provém do Sol.

Os gases traços, por serem constituídos por pelo menos três átomos, como por exemplo, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozônio (O_3), presentes na atmosfera liberam raios infravermelhos sobre a Terra onde 65 % deles ficam retidos e 35 % dessa radiação volta para o espaço é conhecida como efeito estufa. Entretanto a atmosfera vem sofrendo diversas alterações originadas pelas ações antrópicas, desde a Revolução Industrial e, vem contribuindo com valor relevante para o aumento da concentração de aerossóis e gases do efeito estufa como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

Gases poluentes, óleo diesel, gasolina também contribuem para que o efeito estufa aumente pelo fato de isolarem a temperatura deixando a parte baixa da Terra mais quente em determinadas regiões trazendo sérios problemas.

A emissão de gases e partículas tem causado uma perturbação no fluxo radiativo na atmosfera terrestre, como por exemplo, o desflorestamento e queima de florestas em que o aumento da temperatura média global é observado nos últimos anos, pois as árvores regulam a temperatura, o vento e até mesmo os níveis de chuva de cada região. O crescente aumento da população provoca modificações na composição atmosférica e assim impacta o balanço radiativo terrestre.

A expansão das atividades antrópicas sobre o ecossistema pantaneiro nos últimos anos influencia fortemente na natureza e vegetação local. Esse aumento se dá principalmente por desmatamentos mediante a utilização do fogo para eliminar os restos de matéria orgânica resultante do corte e derrubada da mata local. Assim, ocasionando perda de biomassa e elevadas concentrações de dióxido de carbono no

ar. Desta forma esse bioma está sendo modificado pelo cultivo agrícola e pastagens para suprir as necessidades humanas o que provoca alteração na concentração dos aerossóis atmosféricos.

A gravidade dos danos à saúde está fortemente relacionada com o tamanho e a composição das partículas que penetram no trato respiratório. Os aerossóis podem depositar-se no trato respiratório humano, podendo causar morte prematura, agravamento de asma, aumento de internações hospitalares e aumento de problemas respiratórios em crianças.

Os aerossóis são suspensões de pequenas partículas em gases. Sua estrutura física e química depende da fonte de emissão, podendo ser de origem natural ou antrópica. As fontes naturais podem ser poeiras, pólenes, vulcões e aquelas evaporadas do mar sob a forma de spray. As fontes antrópicas têm-se como exemplo, fumaça do cigarro, queimadas, motores de veículos, caldeiras industriais, entre outras.

As partículas de aerossol possuem tamanhos que variam de nanômetros (nm) a dezenas de micrômetros (μm) de diâmetro. Dessa maneira divide-se em duas modalidades definidas por intervalos de tamanho que se tem a maior concentração de partículas: a moda das partículas finas, menores que $2,5 \mu\text{m}$ de diâmetro aerodinâmico e a moda de partículas grossas, maiores que $2,5 \mu\text{m}$.

As partículas maiores que $10 \mu\text{m}$ são efetivamente filtradas pelo nariz e pela nasofaringe, onde ficam depositadas e podem ser vistas em expectorações e/ou saliva. Partículas da moda grossa (material particulado inalável - PM_{10}) ficam retidas nas vias aéreas superiores e podem ser depositadas na árvore traqueobrônquica, agravando problemas como a asma em pessoas com deficiência respiratória. Por outro lado, as partículas da moda fina (material particulado fino - $\text{PM}_{2,5}$) depositam-se nos brônquios terminais e nos alvéolos, agravando problemas respiratórios e podendo causar mortes prematuras.

O material particulado influencia no ciclo de água regional pela indução de mudanças nas propriedades microfísicas das nuvens. O efeito dos aerossóis no saldo de radiação terrestre é bastante significativo, em relação à absorção ou espalhamento da radiação.

1.2. JUSTIFICATIVA

O Pantanal Mato-grossense é um bioma de grande interesse tanto ecológico quanto socioeconômico, em que se realça pela sua vasta biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar. Apresenta dois regimes sazonais distintos, com períodos secos (de abril a setembro) e, a partir de outubro, épocas inundadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações. A água presente em períodos de inundação influencia nas trocas de energia entre a atmosfera e a biosfera dessa região.

Os aerossóis desempenham um papel fundamental no ciclo hidrológico do Pantanal Mato-grossense, pois dependendo do tamanho e das propriedades higroscópicas do material particulado eles podem atuar como núcleo de condensação de gotas de nuvens.

Durante o período seco, o elevado número de núcleos de condensação altera a microfísica e as propriedades óticas das nuvens influenciando os processos de convecção e precipitação. No período chuvoso apresenta baixo número de material particulado que atuam como núcleo de condensação e são formados principalmente por aerossóis biogênicos.

As alterações nos fluxos de radiação provocadas pelos aerossóis podem interferir na temperatura de superfície. Essas alterações podem modificar o perfil vertical de temperatura, as taxas de formação de nuvem, precipitação.

A agitação provocada pelos materiais particulados no balanço radiativo se difere do efeito dos gases sobre vários aspectos, entre eles pode-se destacar que, ao contrário da maioria dos gases de efeito estufa, o aerossol tem em geral um tempo de vida média curta na atmosfera, variando de horas até semanas. Assim, a distribuição espacial da concentração de aerossóis possui uma grande heterogeneidade, pois depende fortemente das fontes e dos mecanismos de transporte. Estes fatos dificultam a análise dos efeitos globais dos aerossóis sobre o clima.

É de importância para esse bioma, novos estudos, e avaliações das mudanças climáticas provocadas por emissões provenientes de queimadas e outras intervenções antropogênicas. Uma destas avaliações pode ser realizada por meio do monitoramento da variação sazonal da concentração de aerossóis na atmosfera. As

particularidades do Pantanal, regimes de inundação, tornam esta região uma importante fonte de investigação sobre as dinâmicas de armazenamento de energia.

O estudo da absorção da radiação solar por partículas de aerossóis no Pantanal Mato-grossense com a inserção dos dados de caracterização química elementar conduzirá a um melhor entendimento da dinâmica de poluentes na região. Além disso, fornecerá dados para futuros programas e projetos de controle, visto que a região não se tem um monitoramento de poluição atmosférica e, assim investigar soluções para o mesmo.

Destarte podem-se identificar os períodos nos quais está apresentando as maiores concentrações de material particulado, qual a origem, se está ocorrendo contaminação ou não da atmosfera local, se há transferências de possíveis fontes das regiões vizinhas, observar as características da atmosfera durante a ocorrência de episódios críticos do ponto de vista da qualidade do ar com períodos secos e baixa umidade relativa do ar.

Desse modo, o objetivo geral é estudar a absorção da radiação solar por partículas de aerossóis no Pantanal Mato-grossense.

Assim, tem-se como objetivos específicos:

- Calcular mediante os coeficientes de absorção o expoente de Angstrom de absorção;
- Relacionar a concentração de *black carbon* obtida pela análise de filtros com os valores devidamente corrigidos do Aetalômetro;
- Relacionar o carbono orgânico/carbono elementar pela análise dos filtros com as fontes encontradas no Pantanal mato-grossense;
- Comparar o bioma Pantanal com outros biomas e discutir a concentração de material particulado entre eles.
- Avaliar a origem das trajetórias calculadas com o programa Hysplit para o Pantanal mato-grossense nos dias de pico intenso do material particulado;

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O BALANÇO RADIATIVO TERRESTRE

A radiação solar é a principal fonte de energia que rege o clima terrestre. A quantidade de energia solar média incidente sobre o planeta Terra por segundo é de aproximadamente 340 W/m^2 por unidade de área, com uma incerteza de 1 W/m^2 de acordo com a Figura 1.

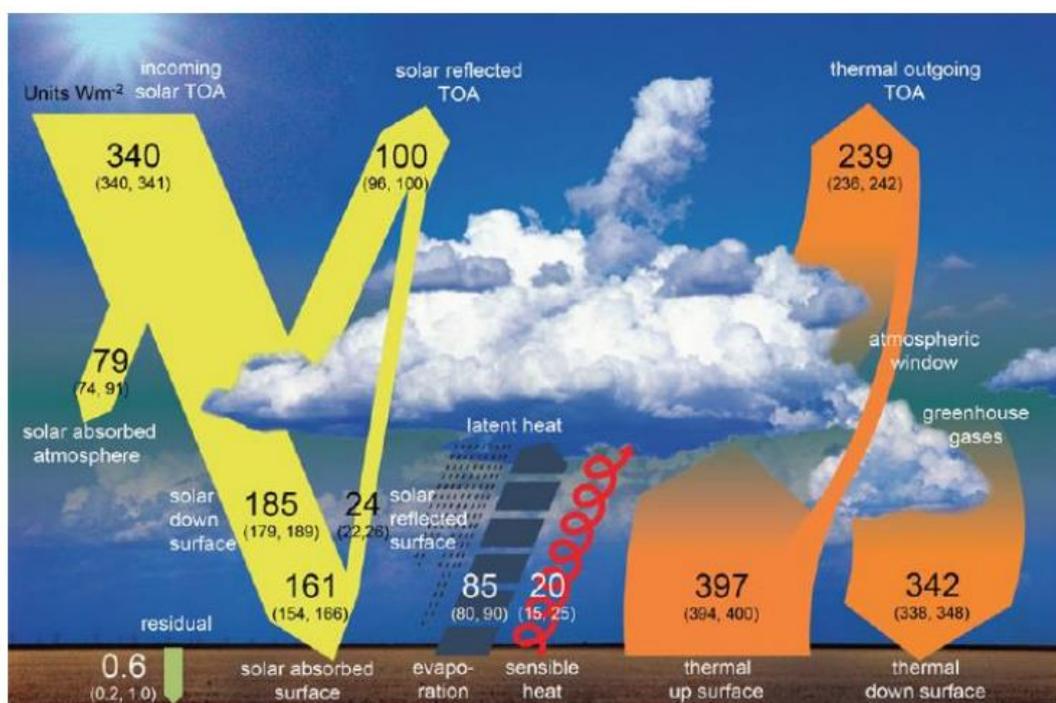


Figura 1. Balanço de energia terrestre médio global. Os valores em W/m^2 indicam a magnitude dos fluxos de energia juntamente com sua faixa de incerteza, representando as condições climáticas atuais. O fluxo de radiação de onda longa é representado em laranja e o de radiação solar é representado em amarelo. (Adaptada de WILD et al., 2013).

A radiação solar incidente no topo da atmosfera é refletida cerca de 30% por moléculas de gases, nuvens e partículas (76 W/m^2) e pela superfície terrestre (24 W/m^2), e uma fração menor de cerca de 20% (79 W/m^2) é absorvida diretamente na

atmosfera. Metade da radiação solar é absorvida pela superfície terrestre (161 W/m^2). A superfície terrestre, por sua vez, transfere a maior parte desta radiação para a atmosfera na forma de emissão de radiação de ondas longas, em forma de calor latente e calor sensível. As nuvens, partículas e gases atmosféricos reirradiam a energia de ondas longas para o espaço e para a superfície terrestre. Aproximadamente a mesma quantidade de energia solar absorvida pela Terra é reirradiada de volta para o espaço, mantendo o equilíbrio do balanço radiativo terrestre (TRENBERTH et al., 2009).

O balanço radiativo terrestre pode ser perturbado por meio de diversos fatores que podem ser antrópicos ou naturais.

Os fatores naturais que causam alterações na quantidade de radiação solar que chega até a Terra são as mudanças na órbita terrestre, atividade solar (manchas solares) e erupções vulcânicas. Além disto, mudanças na cobertura de nuvens e na concentração de aerossóis que podem alterar a quantidade de radiação solar que chega à superfície. Esses fatores podem alterar o clima tanto direta como indiretamente por meio de diversos mecanismos de retroalimentação (*feedbacks*) (BOUCHER et al., 2013).

Os fatores antrópicos resultam no aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, que é responsável pela diminuição na quantidade de radiação térmica que é reemitida de volta para o espaço para o fator antrópico (FORSTER et al., 2007).

As elevadas concentrações de aerossóis também possuem impacto fundamental no balanço radiativo terrestre. Pode ser avaliada em termos de uma grandeza que é medida em relação ao balanço radiativo do sistema Terra-atmosfera em que é influenciado por perturbações externas denominada de forçante radiativa (FORSTER et al., 2007).

Segundo o relatório do IPCC é definido o conceito de forçante radiativa como a diferença na irradiância líquida no topo da atmosfera entre um estado perturbado e de referência, em que o estado de referência pode ser o impacto em uma dada época ou situação como exemplo, a Revolução Industrial em 1750 que foi o adotado pelo IPCC ou ausência de agente climático (MYHRE et al., 2013).

As forçantes radiativas negativas indicam efeitos de resfriamento climático e as forçantes radiativas positivas indicam um efeito líquido do aquecimento Terra-atmosfera.

De acordo com a Figura 2 a seguir é apresentado às estimativas das forçantes radiativas para 2011 em relação a 1750 para os principais agentes causadores das mudanças climáticas de acordo com o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC AR5) (IPCC, 2013).

Observa-se que as forçantes radiativas dos aerossóis (exceto o *black carbon*) é de importância ressaltar que os efeitos locais dessas partículas podem ser muito maiores chegando a centenas de W/m^2 principalmente em regiões próximas das fontes de emissão de partículas e a mudança de albedo de superfície contribuem para um resfriamento do sistema enquanto os gases de efeito estufa, em geral, causam o aquecimento (GARCÍA et al., 2012). E conseqüentemente os aerossóis têm papel fundamental no balanço de radiação global e regional (ANDREAE et al., 2008).

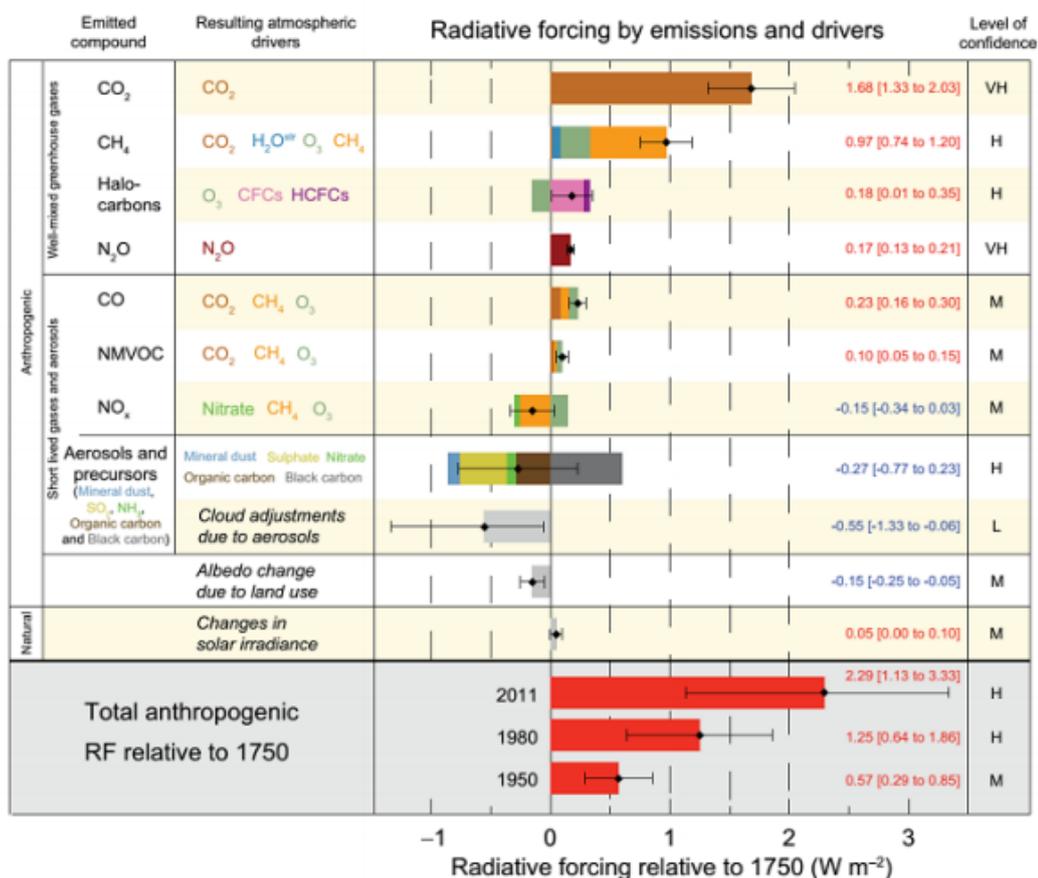


Figura 2. Média global da forçante radiativa devido a atividades antrópicas e naturais desde 1750 (IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2013), o material particulado no geral resfria o sistema climático e, assim sendo, se contrariam ao aquecimento dos gases do efeito estufa (+ 1,68 W/m²). Os que são de origem antrópica (principalmente o *black carbon*, carbono orgânico, poeira mineral, nitratos, sulfatos), por exemplo, geram em conjunto um efeito de resfriamento, com uma forçante radiativa direta a nível global de - 0,27 (- 0,77 a 0,23) W/m². E podem causar ao mesmo tempo um efeito indireto que se associa a mudança do albedo de nuvem de - 0,55 (- 1,33 a - 0,06) W/m². Os efeitos locais, no entanto, podem chegar a centenas de W/m² em regiões próximas das fontes de emissão (GARCÍA et al., 2012). Esses valores indicam claramente que as incertezas na quantificação da importância dos aerossóis no balanço radiativo são bem significativas e dominam as incertezas globais. Logo, é necessário o acompanhamento em longo prazo dos diferentes tipos de aerossóis para o melhor entendimento dos parâmetros climáticos, da forçante radiativa e na representação de modelos climáticos (ARTAXO et al., 2009; WILD et al., 2013)

2.2. O AEROSOL ATMOSFÉRICO

Aerossol atmosférico são partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera e podem estar em diferentes composições químicas, formas, tamanhos e propriedades físicas (SEINFELD e PANDIS, 2006) tendo origem tanto por fontes antrópicas quanto naturais. As fontes antrópicas encontram-se na agricultura, queima tanto de combustíveis fósseis quanto de biomassa os quais são os principais contribuintes (ANDREAE e MERLET, 2001). As fontes naturais são as emissões biogênicas, ressuspensão da poeira do solo, erupções vulcânicas e incêndios naturais (SEINFELD e PANDIS, 2006).

As partículas podem ser chamadas de aerossóis primários, na condição de que sejam introduzidas na atmosfera diretamente a partir de uma fonte emissora, ou aerossóis secundários, caso sejam formados na atmosfera a partir de transformações químicas e físicas de gases precursores e podem ser removidas por processos de deposição úmida ou deposição seca (difusão e sedimentação) (CHARLSON et al., 1992). Os exemplos de material particulado biogênico primário são as bactérias, pólenes, fragmentos de plantas e animais e fungos. Os de material secundário são

moléculas de baixa volatilidade resultantes das reações de ozônio e radical hidroxila com compostos orgânicos voláteis biogênicos (BVOCS), como o terpeno e isopreno (SURRETT et al., 2010; ALLAN et al., 2014; HOLANDA, 2015).

2.2.1 Distribuição do tamanho do Aerossol

O tamanho do material particulado varia de poucos nanômetros até centenas de micrometros de diâmetro e são classificados de acordo com seu diâmetro (D_p) de acordo com a Figura 3.

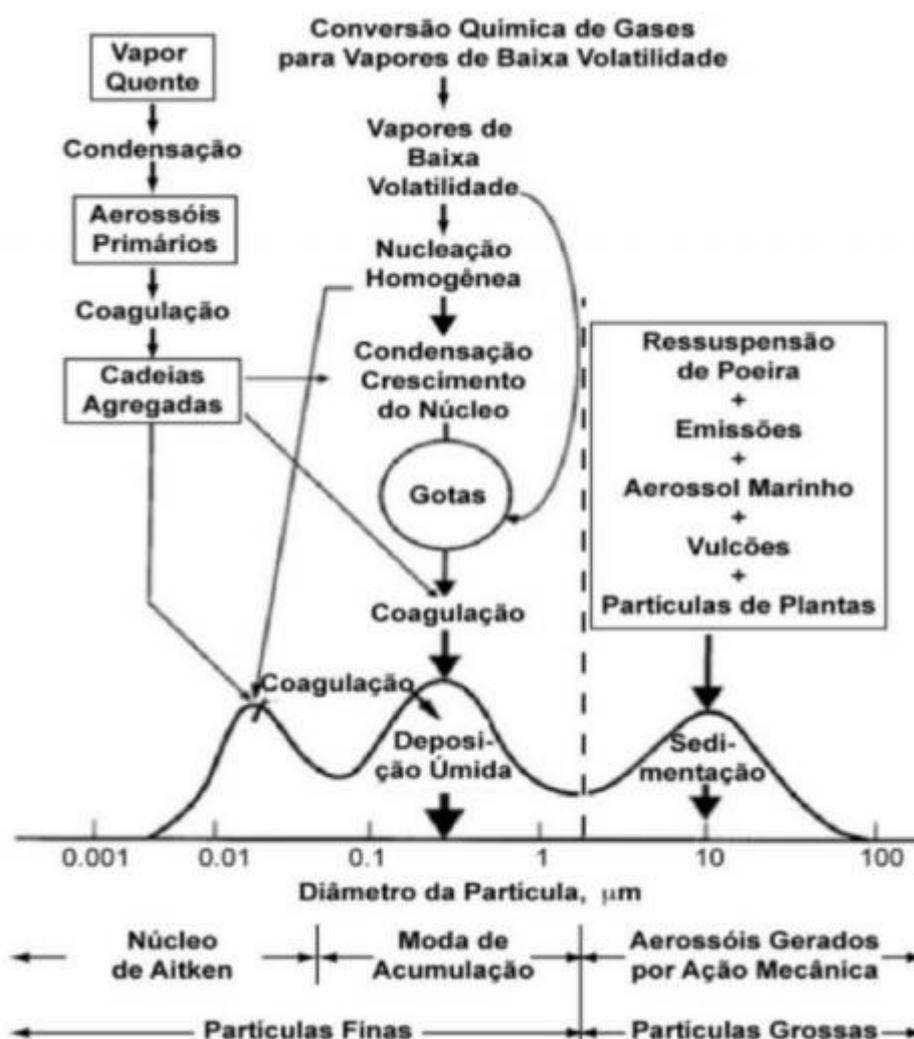


Figura 3. Distribuição de tamanho das partículas de aerossol e processos associados à produção e transformação de partículas (SEINFELDS e PANDIS, 2006).

Segundo Seinfeld e Pandis (2006), as partículas de aerossóis podem ser classificadas em duas modas: as partículas da moda fina (MPF), que possuem diâmetros menores que 2,5 μm e podem ser subdivididas em outras classes de tamanho: moda de nucleação ($D_p < 30 \text{ nm}$); moda de Aitken ($30 < D_p < \sim 120 \text{ nm}$) e moda de acumulação ($\sim 80 < D_p < 2500 \text{ nm}$). Aquelas com diâmetros maiores que 2,5 μm são classificadas como partículas da moda grossa (MPG) e tem como exemplo os aerossóis marinhos, poeira de solo, partículas de origem biogênica e emissões vulcânicas.

2.2.2 Ciclo de vida dos aerossóis

Os aerossóis podem ser removidos da atmosfera por processos de deposição seca ou úmida. A deposição úmida pode ocorrer no interior das nuvens pelo processo de nucleação de partículas (*washout*) ou abaixo das nuvens através da interceptação das partículas durante eventos de precipitação que é eficiente para as modas grossa e acumulação (*rainout*). A deposição seca pode ocorrer por difusão ou sedimentação, que ocorre tanto pela agitação térmica das partículas quanto por processos turbulentos na atmosfera que são eficientes para a moda nucleação e por impactação que são processos eficientes para partículas de moda grossa (GALLAGHER et al., 2002; LAAKSO et al., 2003).

Ao serem lançados na atmosfera, os aerossóis interagem com o ambiente que as circunda e entre si por meio de uma série de processos físico-químicos, como: ativação, coagulação, condensação, deposição, oxidação e nucleação. Esses processos são importantes porque afetam a nucleação de nuvens de aerossol e as propriedades óticas. O ciclo de vida das nuvens, por sua vez, está relacionado ao balanço radiativo e à precipitação, além de ser influenciado pelas propriedades de superfície e termodinâmicas da atmosfera como um todo (HOLANDA, 2015).

De acordo com Kulmala (2013), em algumas regiões do globo, os processos de formação de novas partículas por agrupamento de moléculas desempenham um papel de importância na manutenção do número de aerossóis. Os aerossóis recém-formados têm aproximadamente alguns nanômetros de tamanho e crescem

rapidamente mesmo ao longo de um dia até que alcance os tamanhos nos quais podem servir como núcleos de condensação de nuvens (NCN) e interagir com a radiação solar (HEALD et al., 2010).

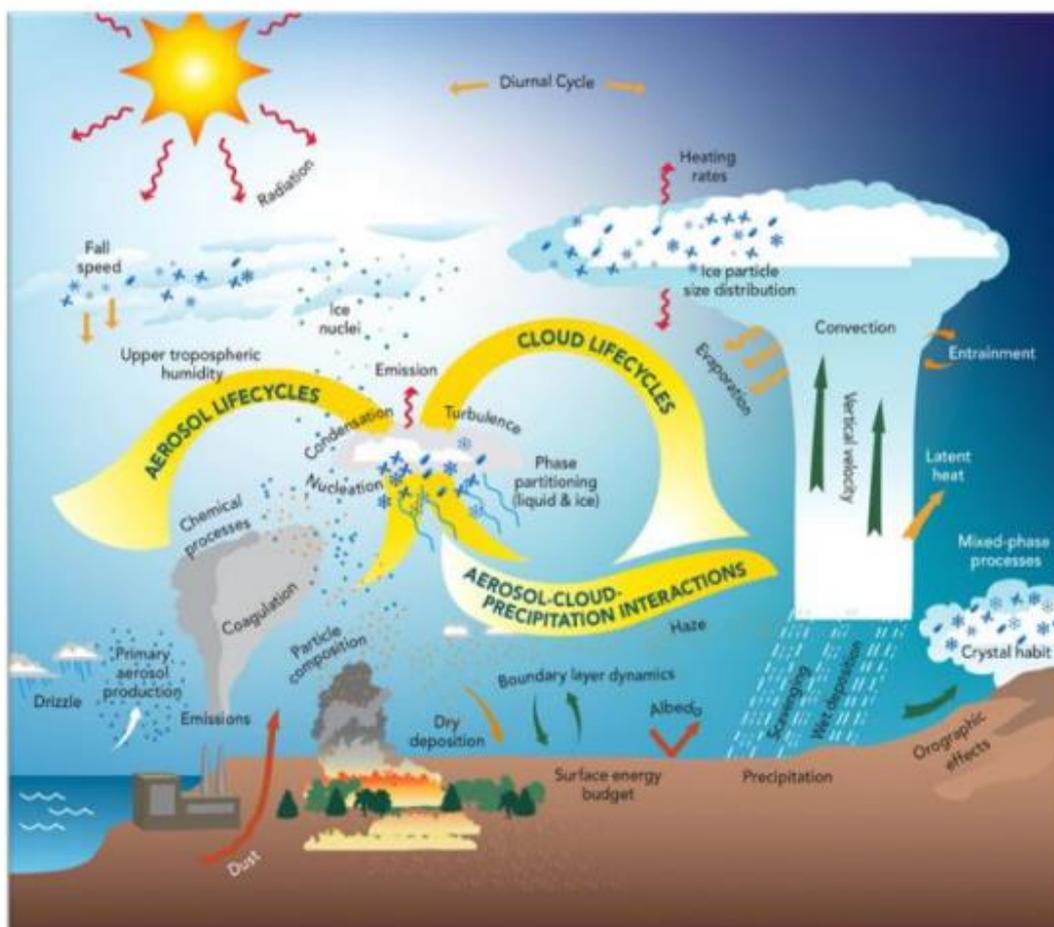


Figura 4. Ciclo de vida de aerossóis e nuvens (BOUCHER et al., 2013).

O aerossol secundário é formado pelo processo de condensação de vapores o qual provoca um aumento no diâmetro médio das distribuições de tamanho (SEINFELD e PANDIS, 2006). O processo de coagulação provoca o aumento do diâmetro dos aerossóis em que consiste na reunião de duas ou mais partículas para a formação de uma maior. Assim, esse processo vai gerando um contínuo decréscimo na concentração numérica de partículas que está associado a um aumento no diâmetro médio das distribuições. O tempo característico para a coagulação decorrente do movimento browniano é superior à uma hora (WEXLER et al., 1994).

As partículas com diâmetro menor que 10 nm têm tempo de residência de um dia ou menos, sendo removidas por processos de coagulação e difusão. As partículas com diâmetros menores que 20 μm têm tempo de residência de um dia ou menos, no entanto, são removidas por deposição úmida ou seca, por processos de impactação e sedimentação. As partículas com diâmetros entre 0,1 e 2,5 μm tem tempos de residência relativamente maiores e atingem centenas de dias estratosfera ou na alta troposfera. Embora os processos de remoção nessa faixa de tamanho sejam menos eficientes, a remoção por processos de impactação e por precipitação reduz o tempo de residência a algumas dezenas de dias nas camadas mais baixas da troposfera e é por isto que a moda de acumulação está nesse intervalo de tamanho (WALLACE e HOBBS, 2006).

Tanto a coagulação quanto a condensação ocorrem comumente na atmosfera e durante o processo de aerossóis no interior das nuvens. A nucleação de partículas ocorre pela transferência de massa de compostos gasosos de baixa pressão de vapor para a fase de partícula e se a concentração de uma determinada espécie é menor do que a respectiva saturação, a substância permanece na fase gasosa e quando a saturação for superada a espécie é condensada na superfície do material particulado disponível até que haja o equilíbrio entre as fases de aerossol e gás seja restaurado (PANDIS et al., 1992).

2.2.3 A componente orgânica do aerossol

Segundo Boucher et al. (2013), os aerossóis dependendo da origem são constituídos de muitos compostos diferentes. De acordo com o último relatório do IPCC, os principais constituintes são *black carbon* (material carbonáceo absorvedor de luz), espécies orgânicas (espécies carbonáceas em geral, exceto o BC), espécies inorgânicas (sal marinho, sulfatos, nitratos) e espécies minerais (emissões vulcânicas e poeira do solo).

Arana (2014) define o carbono como um elemento majoritário e uma componente de significativa importância para os aerossóis. O ciclo do carbono é um dos ciclos biogeoquímicos mais importantes estando presente na forma de substâncias inorgânicas e orgânicas e devido a sua ocorrência nas modas fina e

grossa do aerossol atmosférico e por possuírem propriedades de espalhamento e absorção da radiação.

O carbono orgânico (OC, do inglês, Organic Carbon) é o componente do aerossol carbonáceo em que as moléculas de carbono estão quimicamente combinadas a outros elementos, como oxigênio e hidrogênio. Pode ser um produto da combustão incompleta, emitindo por fontes naturais ou formadas a partir de condensação de produtos da foto-oxidação de carbonos orgânicos voláteis (COV's). O OC é tratado como um aerossol puramente espalhador, entretanto, estudos recentes mostram que existe uma fração absorvedora que se denomina *Brown Carbon* (BrC) que absorve radiação principalmente na região do ultravioleta e é produzida a partir da queima da biomassa ou queima de combustíveis fósseis contudo pode ser produzida a partir de fontes secundárias na atmosfera (WANG et al., 2016).

Um novo termo, "*brown carbon*" surgiu no campo científico para descrever o tipo de aerossol caracterizado por um espectro de absorção que aumenta suavemente do visível para o UV e, que além do efeito direto sobre a radiação visível, tanto o BC quanto o BrC absorvem a luz e facilitam a evaporação da água e a dispersão das nuvens e o efeito indireto que neutraliza o efeito de resfriamento da nucleação de gotículas da nuvem por aerossóis (RIZZO et al., 2011).

Pesquisas estimam que o BrC possa contribuir cerca de 20 a 40 % da absorção total do aerossol carbonáceo e seu efeito radiativo direto varia entre + 0,1 e + 0,6 W/m² (WANG et al., 2016). No geral, o OC representa entre 10 a 40 % das emissões do aerossol orgânico primário e depende da fonte, entretanto tem-se uma dificuldade na quantificação da contribuição de várias fontes devido à mistura complexa de compostos orgânicos (SEINFELD e PANDIS, 2006).

Necessita-se de algumas definições sobre a análise de carbono para o estudo em questão:

✓ *Brown Carbon* (BrC): Material carbonáceo absorvedor de luz mas que não é BC, portanto é a parte do carbono orgânico. Absorve luz de maneira não uniforme no espectro visível, tendo aparência marrom. É medido por técnicas ópticas.

✓ *Black Carbon* (BC): é uma denominação qualitativa para descrever as substâncias carbonáceas absorvedoras de luz no aerossol atmosférico. É resultado da

combustão incompleta de material carbonáceo. Diz respeito às propriedades ópticas, tendo coloração preta ou escura sendo quantificada por atenuação de luz.

✓ Carbono Elementar (EC, do *Elemental Carbon*): É material carbonáceo termicamente estável que só é oxidado em temperaturas acima de 340°C. Pode ser considerado equivalente ao BC, mas é medido por técnica termal ou termal-óptico. Esse termo indica a pureza química como no grafite ou fuligem.

✓ Carbono Orgânico (OC, do inglês *Organic Carbon*): É o carbono contido nas substâncias orgânicas e nos compostos poliméricos e sua contribuição para a massa do aerossol é definida como matéria orgânica (OM, do inglês *Organic Matter*). Pode ser medido por técnicas termal e termal-óptico, devido a pouca resistência à temperatura, distinguindo-se do BC ou EC.

✓ Carbono Total (TC, do inglês *Total Carbon*): é definido como a soma do OC e EC, sendo medido por técnicas termal ou termal-óptico. Esse termo descreve a massa de todo material carbonáceo presente em partículas atmosféricas.

2.2.4 Impactos do aerossol no clima

De acordo com Santanna (2008), em particular, os aerossóis de queimadas modificam o balanço radiativo na superfície, absorvendo e espalhando a radiação solar. Os aerossóis desempenham papéis importantes na atmosfera, com efeitos sobre o balanço radiativo, clima, química da atmosfera, formação de nuvens e ciclagem de nutrientes. Os estudos da química da atmosfera demonstram um cenário complexo dentro das mudanças climáticas, nos quais os materiais particulados têm impacto potencialmente importante no clima (IPCC, 2013), embora o conhecimento que se tem atualmente sobre as partículas de aerossol atmosférico (sulfatos, orgânicos, poeira, aerossol marinho, fuligem) não são totalmente satisfatórios para entender como eles influenciam o clima.

O aumento de material particulado na atmosfera possui mecanismos envolvidos como exemplo as atividades antropogênicas, a agropecuária (pastagens), urbanização (queima de combustível fóssil veicular), desflorestamento para a prática agrícola (monocultura). Para o manuseio do uso da terra, a prática mais barata é a queima da biomassa nativa que pode ser responsável pela mudança do albedo local.

Os aerossóis são de especial interesse no estudo climático porque podem influenciar tanto diretamente quanto indiretamente, ou seja, pelo espalhamento e absorção da radiação solar quanto como núcleos de condensação de nuvens (ANDREAE et al., 2002; ANDREAE et al., 2004; CHARLSON et al., 1992; KIEHL et al., 1997; KAUFMAN et al., 2005).

Os efeitos diretos ocorrem pela ausência de nuvens, retorno da luz solar para o espaço aumentando o albedo, conseqüentemente o esfriamento da atmosfera; absorção da luz solar que tem como efeito principal a redução dos movimentos convectivos, evaporação dos oceanos, índices pluviométricos e a velocidade dos ventos durante as chuvas que tem como o principal causador desse fenômeno o *black carbon* o qual possui um importante papel como uma das forçantes climáticas (LIU e SMITH, 1995).

Tanto no espalhamento (lançando a radiação solar de volta para o espaço) e absorção da radiação solar quanto núcleos condensadores de nuvem (NCN) afeta o balanço energético com alterações desses fenômenos propicia a mudança climática tanto em escala regional e quanto para a escala global no qual pode chegar a níveis irreversíveis para o Planeta Terra (LIU e SMITH, 1995).

A interação da radiação com os aerossóis depende significativamente do tamanho da partícula e será maior o efeito quanto o tamanho de a partícula possuir a mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda da radiação incidente. Já a magnitude da forçante radiativa que é medida em W/m^2 em um determinado local e tempo vai depender da quantidade de radiação emitida de volta para o espaço em que depende da abundância, tamanho e das propriedades óticas do aerossol. As partículas da moda de acumulação são as que mais interagem com maior eficiência em relação à radiação solar (HOLANDA, 2015).

Grande parte da radiação solar incidente muda de direção e é enviada de volta para o espaço resultando no resfriamento do sistema através do efeito do espalhamento de aerossóis e logo uma forçante negativa. Em contrapartida, quando a radiação é absorvida pelas partículas a energia é convertida em calor o que ocasiona o aquecimento da região onde se encontra e resulta numa forçante positiva. Salvo se o material particulado consiste de uma mistura de material puramente espalhador como o sulfato de amônia e parcialmente absorvedor como a fuligem, o efeito do

resfriamento ou aquecimento depende da maneira em que as duas substâncias estão misturadas em uma população de partículas (HANSEN, 2004)

2.2.5 O Black carbon e absorção de radiação

É um dos principais componentes do material particulado e que possui enorme influência sobre a qualidade do ar e as mudanças climáticas e, não existe acordo sobre uma terminologia que considera as definições, propriedades específicas, métodos de medição e incertezas associadas. Petzold (2013) preconiza que o termo *black carbon* equivalente (EBC, do inglês, *Equivalent Black carbon*) deve ser utilizado em vez de BC para medidas de absorção obtidas a partir de métodos de absorção óptica, em conjunto com o coeficiente mássico de absorção apropriado para a conversão do coeficiente de absorção em concentração de massa (MAC).

No que se diz sobre o carbono elementar (EC, *Elemental Carbon*) deve ser utilizado em vez de BC para os dados obtidos a partir de métodos termo-ópticos e é sugerido ainda que o termo *black carbon refratário* (rBC, *Refractory Black Carbon*) deve ser usado em vez de BC para medidas obtidas a partir de métodos baseados em incandescência. (PETZOLD, 2013).

O *black carbon* apresenta as seguintes propriedades distintas de acordo com Petzold (2013):

i) é refratário, com uma temperatura de volatilização perto de 4000 K; ii) absorve radiação na região visível com um valor de MAC acima de 5 m²/g a um comprimento de onda $\lambda = 550$ nm para partículas recém produzidas; iii) consiste de agregados de pequenas esférulas de carbono de < 10 nm a cerca de 50 nm de diâmetro; iv) é insolúvel em água, em solventes orgânicos, incluindo metanol e acetona e, nos outros componentes do aerossol atmosférico; v) contém uma grande fração de átomos de carbono (sp²) do tipo grafite.

É formado pela combustão incompleta de biocombustíveis, biomassa e combustíveis fósseis e é emitido com outros gases e partículas como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e OC. O BC presente na atmosfera tem reatividade baixa, é transportado em escala continental e regional e, pode ser removido por

processos de deposição seca e úmida resultando em um tempo aproximadamente médio de uma semana (FURTADO, 2016). É possível observar as principais fontes de emissão de BC e seus impactos no meio ambiente a seguir na Figura 5.

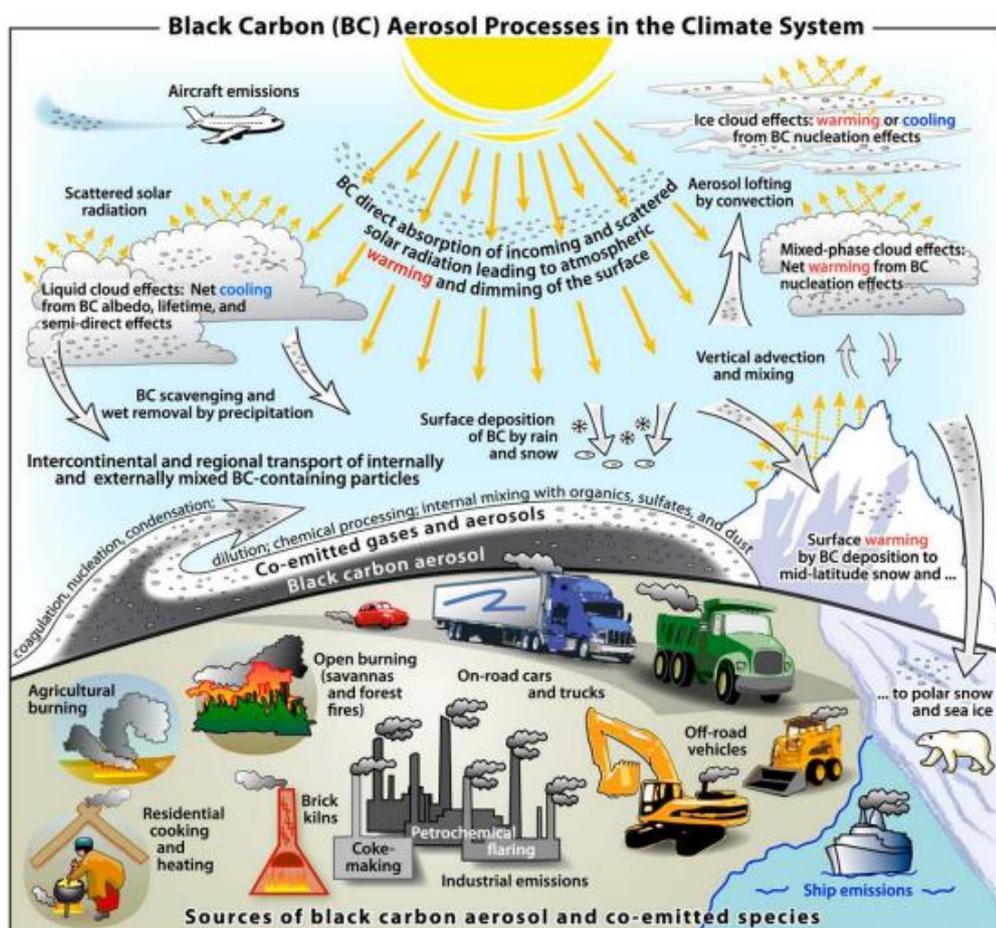


Figura 5. Esquema das fontes primárias de emissão de *black carbon* (BOND et al., 2013).

A extinção da radiação solar se dá pelas partículas de aerossóis em que é causada principalmente por poeiras minerais e partículas carbonáceas (EC e OC). Entretanto, as propriedades de absorção são estreitamente dependentes do estado em que se encontram as misturas das partículas (BOND e BERGSTROM, 2006; SCHNAITER et al., 2005). Os trabalhos de Rizzo (2011) e Schafer et al. (2008) observaram absorção por aerossóis biogênicos naturais e devido às formas e composição intrínseca podem absorver quantidades significativas de radiação visível (ANDREAE e GELENCSE, 2006; DESPRE, 2012).

Conforme o quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), a forçante radiativa direta do *black carbon* na atmosfera é de + 0,6 W/m² no qual implica sendo o maior responsável pelo aquecimento global depois do gás carbônico (CO₂) (IPCC, 2013) reforçando o conceito do BC como uma estratégia para estudo do aquecimento. O AR5 se baseou nos trabalhos de Myhre et al. (2013) com a avaliação do AeroCom II e Bond et al. (2013) que estimaram a forçante do BC em + 1,1(0,17 – 2,10 W/m²) em que esses valores indicam incertezas significativas e corroboram para estudar as propriedades radiativas para quantificar os efeitos no balanço radiativo.

A forçante radiativa direta total do conjunto de aerossóis é menos incerta do que a forçante radiativa direta do *black carbon*. Acontece porque o efeito pode ser confundido com outras espécies absorvedoras de radiação como a poeira mineral e os orgânicos. Ora as fontes de poeira mineral possam ser isoladas geograficamente das fontes de BC ora os aerossóis orgânicos são co-emitidos com BC. O estudo da absorção de radiação do aerossol pelas diferentes espécies químicas é importante tanto para controlar as emissões políticas públicas quanto limitar as grandes incertezas na estimativa da forçante radiativa do *black carbon* (FORSTER et al., 2007).

2.3. O PANTANAL MATO-GROSSENSE

O Pantanal é uma das maiores planícies sedimentares (160.000 km²) do globo, é considerado patrimônio da humanidade e importante área úmida mundial que consiste em uma extensa planície sedimentar com cotas altimétricas entre 80 e 150 metros acima do nível do mar (JUNK et al., 2005). Localizada na fronteira entre Bolívia, Brasil e Paraguai, grande parte de sua extensão (138.183 km²) localiza-se em território nacional, distribuída nos Estados do Mato Grosso (MT) e do Mato Grosso do Sul (MS), com 35 % e 65 %, respectivamente, além de também englobar o norte do Paraguai e o leste da Bolívia (charco boliviano). Seus limites territoriais são: chapadas, serras, cerrado do Brasil central (a leste), florestas semidecíduas (a nordeste) relacionadas com a floresta amazônica, floresta chaquenha seca (sul), originária da Bolívia e do Paraguai, e os contrafortes da Cordilheira dos Andes (CASTELNOU et al., 2003).

O Pantanal sofre influência direta de três importantes biomas brasileiros: Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Além disso, sofre influência do bioma Chaco (nome dado ao Pantanal localizado no norte do Paraguai e leste da Bolívia).

Segundo Apoená (2008), o Pantanal é um bioma diferenciado no qual possui a maior concentração de fauna das Américas com características de outros biomas como: o Cerrado, o Chaco (ou Bosque Chiquitano), a Amazônia e a Mata Atlântica e se liga a duas bacias hidrográficas de importância trans-fronteira, a Amazônia e a do Prata que contribui para a ampliação das várias espécies da fauna e flora.

As planícies de inundação tornaram-se prioritárias para a conservação biológica por manterem grande biodiversidade vegetal e animal, sendo o encontro do Cerrado, Floresta Amazônica e Planícies do Chaco (JUNK et al., 2006).

Possuem várias funções como: armazenamento e fixação do carbono, nitrogênio, fósforo, entre outros, o fluxo hidrológico, regulação do armazenamento de água e controle climático regional, decomposição da matéria orgânica e liberação ou mineralização de nitrogênio, carbono, entre outros nutrientes e produtividade biológica por meio da produção primária e secundária (RICHARDSON et al., 2001), contribuindo para o balanço global de metano, dióxido de carbono e enxofre na atmosfera (KIRK, 2004).

Caracteriza-se por ser uma planície sazonalmente inundada, sendo essas oscilações anuais do nível de água responsáveis pela regulação dos processos ecológicos ali existentes (DAMASCENO-JUNIOR et al., 2005). É um bom exemplo da complexidade hidrológica das zonas alagadas (FANTIN-CRUZ et al., 2011, PAZ et al., 2011).

De acordo com Junk et al. (1999), o Pantanal é composto por um mosaico de formas de relevo que diferem em dinâmicas de inundação e aglomerações vegetativas estando sujeito a inundações sazonais que é decorrente do acúmulo de águas pluviais oriundas do planalto adjacente que provoca transbordamento dos rios e, assim inunda a planície além de um conjunto de características geomorfológicas responsáveis pelo pulso de inundação.

Por outro lado, a inundação das várzeas desempenha um papel fundamental em processos ecológicos e vários fenômenos e, por conseguinte o regime de fluxo dos rios e corixos (córregos intermitentes) e os padrões de inundação das várzeas do local

regulam fortemente a integridade, a conservação do ecossistema, o funcionamento tornando vulnerável a alterações provocadas pela ação antrópica (JUNK et al., 2014). Assim, muitas atividades como a pecuária, agricultura, construção de barragens e outras modificações nas condições hidrológicas estão ameaçando o equilíbrio ecológico (JUNK et al., 2014).

O pulso de inundação - a flutuação anual do nível da água - regula os processos ecológicos ali ocorrentes porque é considerado o fenômeno ecológico mais importante caracterizando o Pantanal como macro ecossistema peculiar (JUNK e DA SILVA, 1999; NUNES DA CUNHA e JUNK, 2004), gerando uma periodicidade nas condições ambientais dos habitats. A flora e a fauna da planície pantaneira são oriundas dos biomas adjacentes (Cerrado, Chaco, Mata Atlântica e Amazônia) e apresentam baixas taxas de endemismos (JUNK & DA SILVA, 1999, DA SILVA et al., 2001).

O clima é tropical, quente e úmido, do tipo Aw segundo a classificação Köppen com precipitação média anual variando entre 800 e 1200 mm (ALVARES et al., 2013). Apresenta dois regimes sazonais bem definidos: chuvosa (outubro a março, “verão”), quando ocorre cerca de 80% do total anual das chuvas e seca (abril a setembro, “inverno”), sendo esses períodos mais definidos no norte do que na parte central e sul (GARCIA e CASTRO, 1986; RAO et al., 1996; MORAES et al., 2000).

O trimestre mais chuvoso compreende os meses de dezembro a fevereiro, sendo o mês de janeiro o de maior índice pluviométrico e, o mês de julho, o mais seco. A umidade relativa média anual é de 82 % e oscila de 75 % a 86 %, com valores acima de 80 % de dezembro a julho e, nos meses restantes, girando em torno de 75 % (MORAES, 2000; SCHWENK e DA SILVA, 2001). A temperatura média anual do ar é de 25,5 °C, com média das mínimas de 20 °C, nos meses de inverno e média das máximas de 32 °C, no verão. Porém nos meses mais frios são frequentes temperaturas abaixo de 10 °C, ainda que por poucos dias. Sua localização em plena faixa tropical, a cerca de 1500 km a oeste da faixa atlântica, propicia a ocorrência de das maiores amplitudes de temperaturas anuais do território brasileiro (GARCIA e CASTRO, 1986; RAO et al., 1996; MORAES, 2000; SCHWENK e DA SILVA, 2001).

O Pantanal desempenha um papel fundamental na manutenção do ciclo hidrológico e do clima de grande parte da América do Sul, e verifica-se que as queimadas são práticas bastante comuns principalmente na segunda metade da estação seca (agosto – setembro).

No entanto Souza (2011), muito pouco se conhece sobre a taxa de deposição local das partículas oriundas da emissão de queimadas e por consequência a queima da biomassa pode alterar a composição regional e local e assim tem-se a importância da preservação desse ecossistema tão diferenciado que em 1996 foi criada a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) – Pantanal e em 2003 a RPPN SESC Pantanal passou a ser o primeiro sítio Ramsar brasileiro em área privada que é um tratado de cooperação internacional para proteção das áreas úmidas (FERREIRA, 2013).

Apesar de sua beleza natural o bioma vem sendo muito impactado pela ação humana, principalmente pela atividade agropecuária, especialmente nas áreas de planalto adjacentes do bioma. De acordo com o Programa de Monitoramento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS, realizado com imagens de satélite de 2009, o bioma Pantanal mantém 83,07% de sua cobertura vegetal nativa. Apenas 4,6% do Pantanal encontram-se protegidos por unidades de conservação, dos quais 2,9% correspondem a UCs de proteção integral e 1,7% a UCs de uso sustentável (BRASIL, 2015).

A influência do material particulado pode ser tanto direta quanto indireta, uma pela absorção e espalhamento da radiação solar e outra pela mudança nas propriedades microfísicas de nuvens, respectivamente. O conhecimento das propriedades de espalhamento e absorção é de importância para se quantificar os efeitos do aerossol no balanço radiativo (SENA et al., 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local deste estudo é conhecido como Baía das Pedras (Base Avançada de Pesquisas do Pantanal), unidade que pertence à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, no município de Poconé, Mato Grosso, a cerca de 160 km de Cuiabá (Figura 6, 7 e 8) (DALMAGRO, 2012).

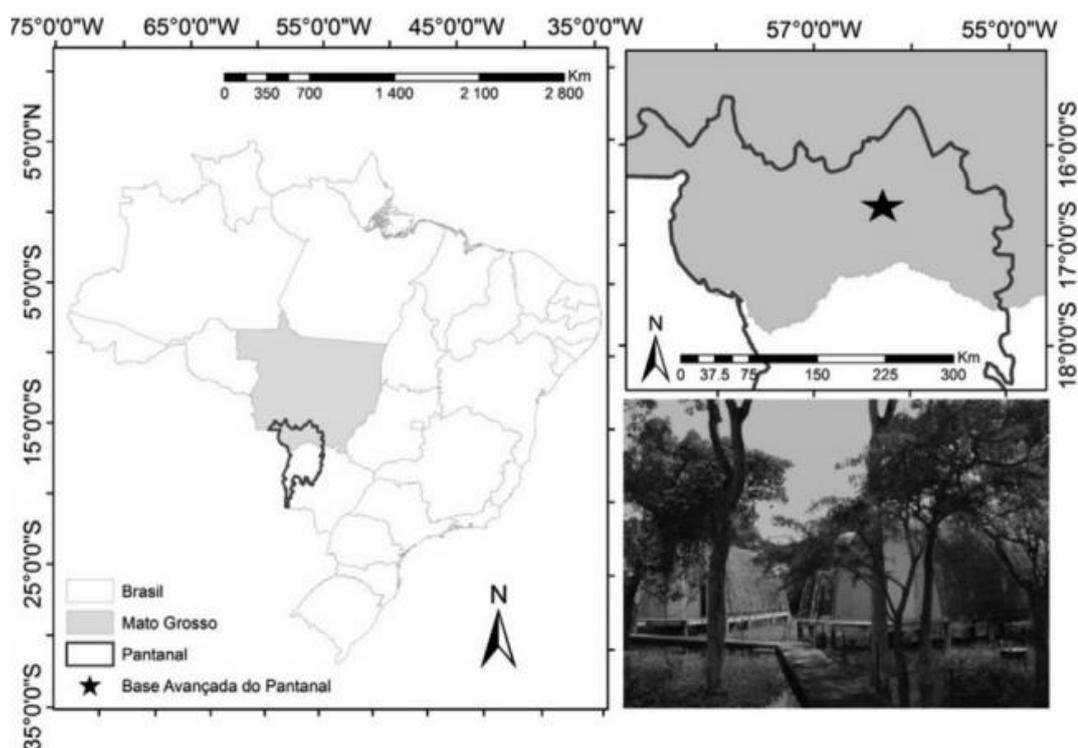


Figura 6. Localização da área de estudo, no detalhe o Pantanal brasileiro e a limitação da área de onde foram coletados os aerossóis.

A pesquisa foi conduzida em uma reserva natural protegida, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC)-Pantanal, a uma altitude de 111 m (16°39' S, 56°47' W), o clima é classificado como Aw-tropical úmido, segundo Köppen, quente e úmido com precipitação pluvial no

verão. Na RPPN SESC Pantanal, a precipitação pluvial anual varia entre 1.000 e 1.500 mm, com máxima em janeiro e mínima em agosto. As temperaturas variam entre 23 °C com amplitude térmica de 5 °C, com temperaturas médias de 27-28 °C em janeiro e de 22-23 °C em julho (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).

O solo da região é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, ou seja, os solos dessa classe apresentam mudança de textura abrupta com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, permeabilidade lenta ou muito lenta, profundidade de 150 cm e textura arenosa (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).



Figura 7. Centro Avançado de Pesquisas do Pantanal - Reserva Particular do Patrimônio Natural do Serviço Social do Comércio (SESC) – Baía das Pedras – Pantanal.

Este local tem como característica uma área de transição de vegetação mista entre floresta monodominante e pastagem natural que está sofrendo um processo de invasão por *Vochysia Divergens Phol* (*V. divergens*) (VOURLITIS, 2011). A topografia da várzea é predominantemente plana, causando grandes inundações durante a estação chuvosa (DA CUNHA E JUNK, 2000), que normalmente ocorre

entre dezembro e maio, com níveis de água variando entre 1-2 m de profundidade (DA CUNHA E JUNK, 2004). Durante o período seco pode não haver precipitação mensurável e os recuos do nível de água ficam abaixo da superfície do solo.



Figura 8. Base de coleta de dados na estação Pantanal (SANTOS, 2014).

Com 4.200 hectares e seis quilômetros de frente para o rio Cuiabá, o Parque SESC Baía das Pedras é uma unidade da Estância Ecológica SESC Pantanal. Concentra parte da estrutura de lazer e projetos experimentais do Projeto SESC Pantanal (Site: <http://www.sescpantanal.com.br>, acesso em 27 de junho de 2017).

A unidade possui cavalariações, áreas para convivência e trilhas para caminhadas. O SESC Pantanal vem desenvolvendo um trabalho de recuperação do solo e de aparelhamento do parque para que ele seja um espaço integrado de lazer e pesquisa. Desenvolve um importante trabalho de compostagem do lixo orgânico (Site <http://www.sescpantanal.com.br>).

Nas redondezas do sítio experimental está uma pequena cidade do Pantanal Mato-Grossense, Poconé que consiste sua atividade econômica na pecuária extensiva e no garimpo. Possui a existência de enormes, profundas e extensas crateras nas

imediações de Poconé, de onde mineradores retiram cascalho em suas frentes de garimpagem é inegável e tanto pode ser vista do alto quanto do solo. Essa ação, ainda que respaldada em licenciamento ambiental, precisa ser disciplinada antes que a relação do homem com o meio ambiente torne-se totalmente insustentável. Além das crateras abertas a constante movimentação de caminhões transportadores de cascalho compromete a qualidade do ar, podendo causar problemas respiratórios e criando um clima de insegurança para pedestres.

Os preponderantes mecanismos envolvidos no aumento de componentes químicos na atmosfera do Pantanal são as atividades antropogênicas como o desflorestamento para a prática agrícola no qual está envolvido o aumento da concentração de CO₂, na agropecuária (pastagens), na urbanização (queima de combustível fóssil veicular e emissões industriais) e as queimadas causam alterações ciclo do carbono e de nutrientes (ECK et al., 2004).

3.2 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM

3.2.1 – Instrumentação utilizada para amostragem de aerossóis

As coletas de material particulado atmosférico foram realizadas, inicialmente em abril de 2012 e terminou-se em agosto de 2013 na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense e foram analisadas pelo Laboratório de Física Atmosférica (LFA) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Foram coletadas 49 amostras de particulado no período de 16/abril a 23/outubro de 2012 e 10/fevereiro a 10/agosto de 2013, sendo 40 no período seco e 9 no período úmido. Entre novembro/2012 e janeiro/2013, uma série de problemas técnicos inviabilizou a coleta de amostras neste período sendo: um deles foi devido à demora na construção da base, não se conseguiu um número bom de filtros no período chuvoso necessário para análise estatística, outro problema foi à queda da rede de energia na BAPP-UFMT, os animais que destruíam os fios elétricos ou faziam ninho nos amostradores, contudo.

O equipamento utilizado para a coleta do material particulado é o Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG) para particulado inalável (< 10 µm diâmetro de

equivalência aerodinâmica, DEA). Este diâmetro de equivalência do material particulado é caracterizado em fração fina ($< 2,5 \mu\text{m}$, DEA) e grossa ($> 2,5 \mu\text{m}$ e $< 10,0 \mu\text{m}$, DEA), para explicar o material coletado outras técnicas com equipamentos diferentes (ED-XRF e Gravimetria) foram realizados para integrarem as informações para que o nível de confiabilidade dos resultados das amostras seja satisfatório.

A coleta utilizando filtros é um método simples e muito comum para amostragem de partículas de aerossóis. Os filtros permitem realizar análise elementar e iônica por uma série de técnicas analíticas. Os mecanismos pelos quais as partículas depositam-se nos filtros são a impactação, interceptação e difusão, que são função do fluxo de ar no filtro, do diâmetro dos poros e do tamanho das partículas (HINDS, 1999).

O AFG é constituído de dois filtros empilhados com diâmetro de cortes diferentes, o primeiro impacto dos aerossóis acontece no filtro de fração grossa e o segundo impacto no filtro de fração fina. Todos os filtros coletores de particulados finos e grosso são submetidos à pesagem e comparados com a pesagem dos filtros que não são levados a campo para amostragem (branco) para verificar a massa total do material particulado coletado. A concentração massa/massa é conhecida pela razão da massa elementar com a massa total do material particulado encontrado nos filtros e a concentração massa/volume que é conhecida pela razão massa elementar com volume de ar coletado, com a concentração elementar. Análises estatísticas permitem identificar a fontes dos elementos da região que serão discutidos.

O centro de coleta de material particulado foi montado e fixado em lugar de fácil acesso para troca de filtros (MAENHAUT et al., 2002), instalado em um "inlet" apropriadamente projetado, colocado a uma altura de 2,8 m do solo com proteção contra chuva e uma rede de nylon na entrada do inlet para prevenir a entrada de insetos (BARBOSA, 2007).

O AFG coleta em dois intervalos de tamanho as partículas de aerossóis, conforme esquema da Figura 9. O material particulado é coletado por impactação inercial, em dois filtros de policarbonato da Nuclepore dispostos em série. O primeiro estágio do empacotamento retém as partículas da fração grossa com a utilização de um filtro grosso com porosidade de $8 \mu\text{m}$ de diâmetro. As partículas da fração fina são retidas no segundo estágio de empacotamento, por meio de um filtro

com poros de 0,4 μm de diâmetro. Ambos os filtros possuem 47 mm de diâmetro (ARTAXO, 2002). O fluxo típico durante a amostragem foi de 14 litros por minuto (LPM). O tempo de integração de cada conjunto de filtros foi de aproximadamente 48 h na estação seca e 72 h na estação chuvosa. O fluxo mínimo 1,8 LPM e máximo 16,7 litros por minuto (LPM). Para cada fração tanto fina quanto grossa possui eficiência de 50% (PARKER et al., 1977).

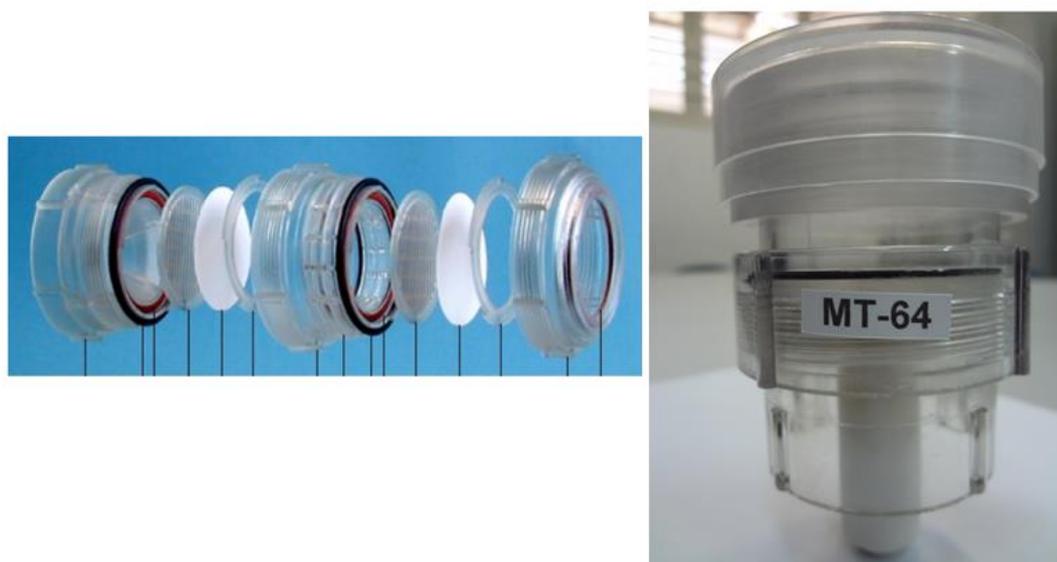


Figura 9. (Esquerda) Foto mostrando todos os estágios do amostrador de particulado fino e grosso e (direita) Amostrador de particulado fino e grosso (AFG) que está montado. (Esquerda – Fonte: web site NILU: <http://www.nilu.no>, acesso em 20 de julho de 2017); (Direita – SANTOS, 2014 adaptada de PARKER et al., 1997; JOHN et al., 1983).

O AFG é conectado por uma tubulação de PVC a uma bomba de vácuo. A tubulação passa por um medidor de fluxo (Mass flowmeter), que mede o fluxo de ar em tempo real e volume total de ar amostrado. Cada circuito elétrico possui um horímetro que fornece o tempo de amostragem, integrado em horas de acordo com a Figura 10. Os dois filtros coletados pelo amostrador AFG foram analisados por gravimetria para determinação da massa da moda grossa e moda fina. Também foram realizadas análises de composição elementar e refletância. As técnicas analíticas utilizadas serão descritas a seguir.

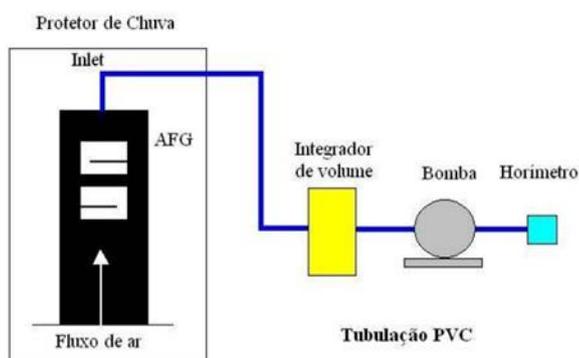


Figura 10. Esquema do amostrador de Particulado fino e grosso (AFG) utilizado na campanha de coleta do material particulado (SANTOS, 2014).

Algumas amostras foram descartadas tanto da análise gravimétrica quanto de *black carbon* e de fluorescência de Raios-X, devido há alguns problemas como: a entrada de água no inlet, a mangueira estava solta do filtro quando se ia fazer a leitura base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense, ou até mesmo medidas muito altas ou baixas de acordo com os períodos em que se estava fazendo o estudo. Houve casos de entupimento na mangueira quando o fluxo caíria à zero, aconteceram casos que a bomba parou de funcionar podendo interferir no fluxo.

3.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

As técnicas de análise utilizadas sobre os filtros para determinação da concentração de material particulado, concentração de *black carbon*, e composição elementar são descritas na subseções seguintes (RIZZO, 2006).

3.3.1 Análise Gravimétrica

A massa dos aerossóis coletados nos filtros do AFG foi determinada pela análise gravimétrica, cujo princípio resume-se a medir a massa do filtro antes e após a amostragem, em balança analítica de alta precisão, sensibilidade, com temperatura

e umidade controlada. A diferença entre as massas é devida ao material depositado nos filtros. Conhecendo-se o volume de ar amostrado, pode-se determinar a concentração do particulado coletado nas frações fina e grossa correspondente a cada filtro (BEGUM et al., 2010).

A determinação gravimétrica foi realizada em uma balança com precisão nominal de 1 μg (balança eletrônica micro analítica de precisão nominal 1 μg , marca Mettler – Toledo, modelo MX5), ilustrada na Figura 11. Neste procedimento, antes da pesagem, os filtros são descarregados eletrostaticamente com um sistema de deseletrização da METTLER.

A análise gravimétrica tem um princípio bem simples, mas possui uma série de procedimentos para assegurar a qualidade da medida. A primeira etapa se baseia na definição de um lote de filtros de polycarbonato que atenda à necessidade do período de amostragem, para evitar alterações entre lotes de fabricação. Antes e após cada pesagem as películas de polycarbonato ficaram expostas a fontes radioativas de ^{210}Po , para neutralização das cargas elétricas presentes em sua superfície, podendo alterar os resultados da pesagem (ARANA, 2009).

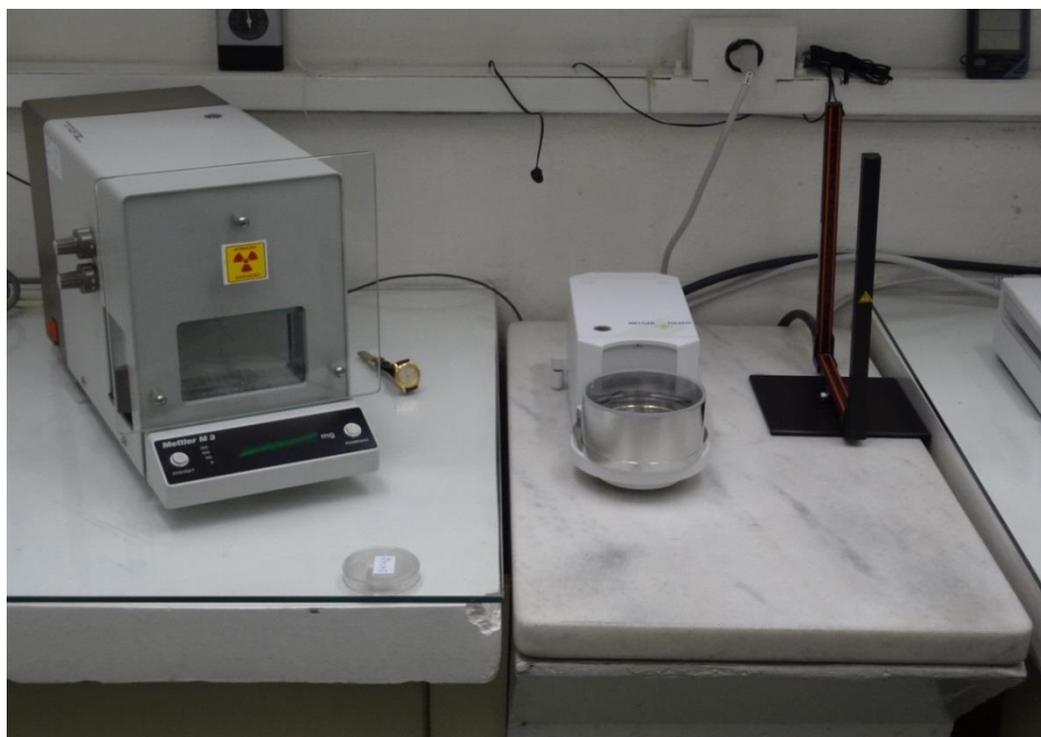


Figura 11. Balança com precisão nominal de 1 μg (à esquerda) e o aparelho usado para remover a eletricidade estática dos filtros (à direita) (SANTOS, 2014).

Na segunda etapa, os filtros foram montados nos suportes do AFG e embalados em papel alumínio para serem levados a campo, onde se realizou as coletas. Estes procedimentos foram realizados dentro de um laboratório adequado e limpo, possuindo um ambiente controlado com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 50 %. O manuseio dos filtros foi realizado exclusivamente com pinças dentro de uma capela limpa (ARANA, 2009).

Para quantificar a concentração elementar do material depositado nos filtros, é necessário um procedimento para subtrair a contaminação elementar presente nos filtros Nuclepore, já que estes possuem valores baixos de concentração de contaminantes (geralmente Br, S, Cl, Fe, Zn e outros elementos traços). Assim, realizou-se a análise de um conjunto de outros filtros que não sofreram amostragem, os chamados “filtros brancos”. Esses filtros pertencem ao mesmo lote de fabricação e são submetidos aos mesmos processos de análise que os filtros amostrados (montagem nos AFG, análise quantitativa, entre outros), à exceção da amostragem propriamente dita, sendo inclusive levados aos locais de amostragem.

Depois de serem levados a campo na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense e amostrados, os suportes AFGs foram embalados novamente com papel alumínio, colocados em embalagens hermeticamente fechadas e levados para o laboratório em São Paulo. Da mesma forma que antes, também sofreram uma climatização de 24 h e foram expostos a fontes radioativas para neutralização de cargas elétricas. Finalmente, a massa final foi medida duas vezes para cada filtro, para diminuir as incertezas (ARANA, 2009).

A diferença de massa dos filtros antes e depois da amostragem fornece a massa de material particulado depositado durante a coleta nos filtros. Do resultado é ainda subtraída a média dos ganhos de massa adquiridos nos filtros brancos (ARANA, 2009).

3.2.2 Análise de *black carbon* por reflectância

A determinação das concentrações de *black carbon* (BC) foi feita pela técnica de refletância ótica antes e depois da coleta das partículas de aerossóis nos filtros. O processo se baseia na incidência de luz de uma lâmpada de tungstênio (W)

na amostra, a qual reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de *black carbon* presente. Como as partículas de *black carbon* absorvem luz com alta eficiência, tanto maior a quantidade presente, menor será a intensidade de luz refletida e detectada pelo foto sensor. Sendo que o aparelho foi ajustado com os filtros brancos para 100 % de reflexão (RIZZO, 2002).

Segundo Loureiro et al. (1994), a curva de calibração da luz refletida pela quantidade de *black carbon* foi obtida empiricamente de acordo com a Equação 1, a qual indica que a partir da refletância medida, pode-se obter a massa de *black carbon* presente na amostra para o processo de calibração do equipamento.

$$BC \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] = \left[(30,90 \pm 0,15) - (14,454 \pm 0,007) * \log(R) * \frac{A}{V} \right] \quad (1)$$

Sendo que:

R = Refletância (%);

A = Área do filtro (14,4 cm²);

V = Volume amostrado (m³).

O equipamento utilizado foi um refletômetro, marca “Diffusion Sistem Ltda” modelo “Smoke Stain Reflectometer – Model 43” (Figura 12).



Figura 12. Refletômetro usado para a quantificação do BC (SANTOS, 2014).

3.2.3 Determinação de EC e OC

De acordo com Schmid et al. (2001), o método termal para a determinação de EC e OC foi introduzido em meados da década de 70, nesse método o material carbonáceo depositado no filtro é aquecido por meio de um protocolo com estágios de aquecimento programados em uma atmosfera controlada. O carbono é desprendido na fase gasosa e convertido a dióxido de carbono (CO_2), o qual pode ser detectado diretamente ou convertido a metano para detecção mais sensível. Uma vez que o EC é muito mais refratário do que OC, somente é liberado por oxidação e assim separado do OC e forma-se o EC1, EC2, EC3 e EC4 por diferença de temperaturas.

Segundo Chow et al. (1993), para o método termal simples, a separação entre EC e OC é alcançada por meio da diferença na temperatura e/ou pela mudança da atmosfera de análise. No entanto, é conhecido que alguns compostos orgânicos pirolisam, ou seja, é formado EC do tipo fuligem durante a análise termal. Senão for contabilizado pode conduzir a superestimação da concentração de EC e subestimação de OC no método termal, porque o EC gerado piroliticamente (PC) é contabilizado como EC.

Uma estratégia para lidar com esse problema foi implementada no método óptico-termal, que tem sido proposto como o método que melhor discrimina OC e EC e esse método obtém um ponto de separação mais apropriado (*split point*) (SCHMID et al. 2001).

Para Turpin et al. (1990), o método termal-óptico foi desenvolvido por volta de 1980 e as correções para pirólise são feitas pelo monitoramento contínuo da refletância e transmitância de um feixe de laser incidente no filtro, com comprimento de onda 670 nm. A refletância e a transmitância, as quais são influenciadas pela absorção de luz pelo EC, diminui com a pirólise e aumenta com a produção de PC e EC, que são queimados durante a última parte da análise.

O ponto em que a refletância/transmitância de luz no filtro alcança o mesmo valor que no início da análise é definido como o ponto de separação (*split point*) entre OC e EC. Todo o carbono que evolui antes desse ponto é considerado como OC e o carbono que evolui depois do *split point* é denominado EC.

Para Turpin et al. (1990) e Yang e Yu (2002) indicaram que essa correção óptica para a carbonização de OC é baseada nas seguintes suposições:

1) PC e o EC original têm o mesmo coeficiente de extinção específico (capacidade que uma substância tem de absorver luz em um determinado comprimento de onda);

2) O EC gerado piroliticamente é removido antes do EC original. Essas suposições não são completamente verdadeiras e por esse motivo há um viés na separação OC/EC.

Contudo, vários estudos têm indicado que as correções pirolíticas na Refletância Óptica-Termal (TOR) e Transmitância Óptica-Termal (TOT) não são as mesmas, devido à carbonização de vapores orgânicos adsorvidos no filtro de fibra de quartzo (CHOW et al., 2004).

De acordo com Gelencsér (2004), admite-se a hipótese de que o método de correção da refletância seja menos sensível à carbonização do material carbonáceo na amostra, resultando em valores superestimados de EC. Consequentemente, os valores encontrados por meio do método TOT são considerados mais corretos.

3.2.4 Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (Fluorescence X Ray Energy Dispersive) para composição elementar

A análise multielementar instrumental por fluorescência de raios-X (ED-XRF) pode detectar os seguintes elementos: Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb e Ag que se baseia na medida das intensidades dos raios-X que são emitidos pelos componentes dos elementos químicos da amostra quando ela é devidamente excitada, os quais, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características dos elementos e das quais as intensidades estão relacionadas com a concentração de cada elemento e, assim quantificar a concentração de elementos químicos presentes nas amostras contendo aerossóis atmosféricos (VAN GRIEKEN e MARKOWICZ, 2002; VAN MEEL, et al., 2009).

A espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia é um método alternativo para outras técnicas analíticas, tais como ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ou PIXE (Particle Induced X Ray Emission),

para análises multielementares de aerossóis depositados nos filtros (VAN MEEL, et al., 2009). A EDXRF tem como vantagens o custo moderado, a possibilidade de determinar simultaneamente um intervalo amplo de elementos, assim como, a automação das medidas e a não dissolução das amostras. São um método não destrutivo, sendo possível irradiar a amostra várias vezes (ARANA, 2014).

O equipamento que está no Laboratório de Física Atmosférica – USP é um Epsilon Modelo Espectrômetro da PANalytical, ilustrado na Figura 13 com instrumentação menos dispendiosa e emprego mais prático. Pode-se dividir a fluorescência de raios-X em três fases, sendo a excitação dos elementos que constituem a amostra; dispersão dos raios-X característicos emitidos pela amostra; e detecção desses raios.

Os elementos identificados nesse trabalho foram: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sb e Pb e os limites de detecção para cada elemento segundo a Tabela 1.

Tabela 1. Limite de Detecção dos elementos.

Limite de Detecção (ng cm ⁻²)	
Na	38
Mg	47
Al	15
Si	7
P	4
S	4
Cl	2
K	2
Ca	2
Ti	5
V	3
Cr	2
Mn	3
Fe	4
Ni	2
Cu	2
Zn	2
As	4
Se	9
Br	5
Rb	4
Sr	12

Cd	28
Sb	20
Pb	9

Quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a expulsar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, e como consequência disto, os elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância (nível atômico ou subnível a ser preenchido). Cada transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raios-X, de energia característica e bem definida para cada elemento. Assim, a análise por fluorescência de raios X consiste de três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios X (PERRING e ANDREY, 2003; PEREIRA et al., 2006; ARANA, 2014).

A técnica ED-XRF vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação da concentração de vários elementos, sem a necessidade de destruir a amostra, ou seja, de modo instrumental, sem nenhum pré-tratamento químico. Para amostras líquidas pode-se recorrer a uma pré-concentração, empregando-se troca iônica, precipitação, quelação, entre outras (PERRING e ANDREY, 2003; PEREIRA et al., 2006; ARANA, 2014).



Figura 13. Aparelho utilizado para quantificação elementar das amostras utilizando indução por Raios-X (SANTOS, 2014).

A técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por dispersão de energia apresenta uma alta velocidade analítica para análise semi-quantitativa de amostras de interesse agroindustrial, geológico e ambiental quando se utiliza tubos de raios X na excitação. Tem-se também utilizado fontes radioativas emissoras de raios X e/ou gama de baixa energia (^{55}Fe , ^{57}Co , ^{109}Cd , ^{238}Pu , ^{241}Am) substituindo os tubos de raios X na excitação, tornando a análise ainda mais simples, barata e de maior facilidade de operação, mas com a desvantagem de perda de sensibilidade analítica. Mesmo assim, a ED-XRF com excitação por fontes radioativas tem encontrado inúmeras aplicações, principalmente na área industrial, geológica e de prospecção mineral, onde não há necessidade de uma alta sensibilidade analítica (VAN MEEL, et al., 2009).

Essa técnica tem sido muito usada nos últimos anos, tanto para análise qualitativa quanto para quantitativa, podendo atingir limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm para amostras sólidas (sem tratamento químico) e da ordem de 1 a 20

ppb para amostras líquidas (com tratamento de pré-concentração) (PERRING e ANDREY, 2003; PEREIRA et al., 2006; SANTOS, 2014).

3.2.5 MAAP – Medidas de absorção em tempo real

Foi realizada de acordo com Petzold et al. (2005) medidas de absorção utilizando o fotômetro MAAP (MultiAngle Absorption Photometry – Thermo Inc., Model 5012) de acordo com a Figura 14 que mostra o desenho esquemático.

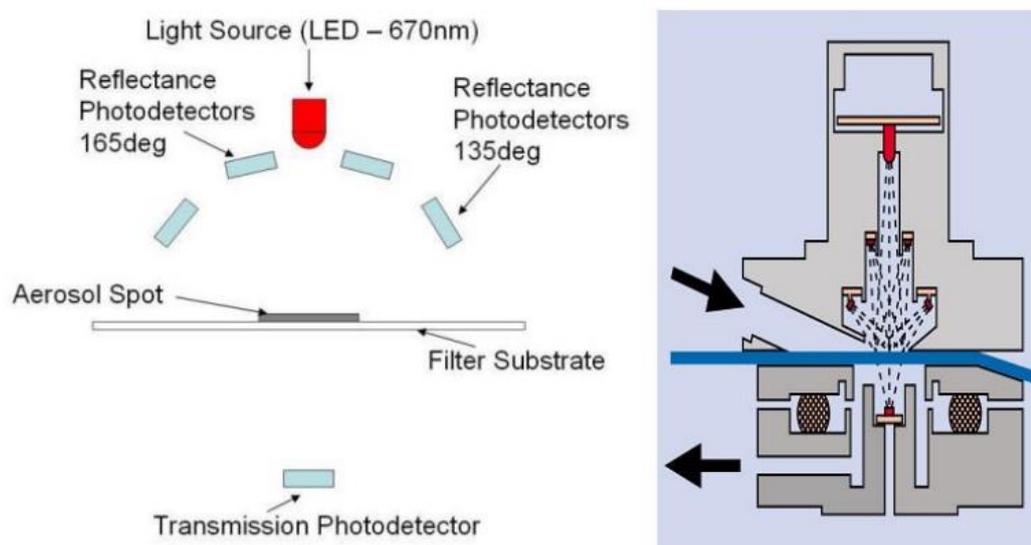


Figura 14. Desenho esquemático do princípio de funcionamento do MAAP e mostra o processo simultâneo da medida de absorção em um filtro de fibra de vidro e assim o espalhamento óptico é determinado e descontado por um algoritmo desenvolvido para o instrumento (HOLANDA, 2015; PETZOLD, 2005).

É um instrumento que reporta em tempo real a concentração de *black carbon* em 637 nm que é convertida para coeficientes de absorção assumindo um coeficiente mássico de absorção $MAC = 6,6 \text{ m}^2/\text{g}$ e mede simultaneamente a atenuação óptica e a reflexão de luz por partículas depositadas em um filtro para vários ângulos de detecção e assim fazer a medida exclusiva da absorção. O instrumento realiza o cálculo de transferência radiativa através do filtro contendo aerossóis e desconta o espalhamento óptico de acordo com a Figura 15, ilustração do funcionamento.

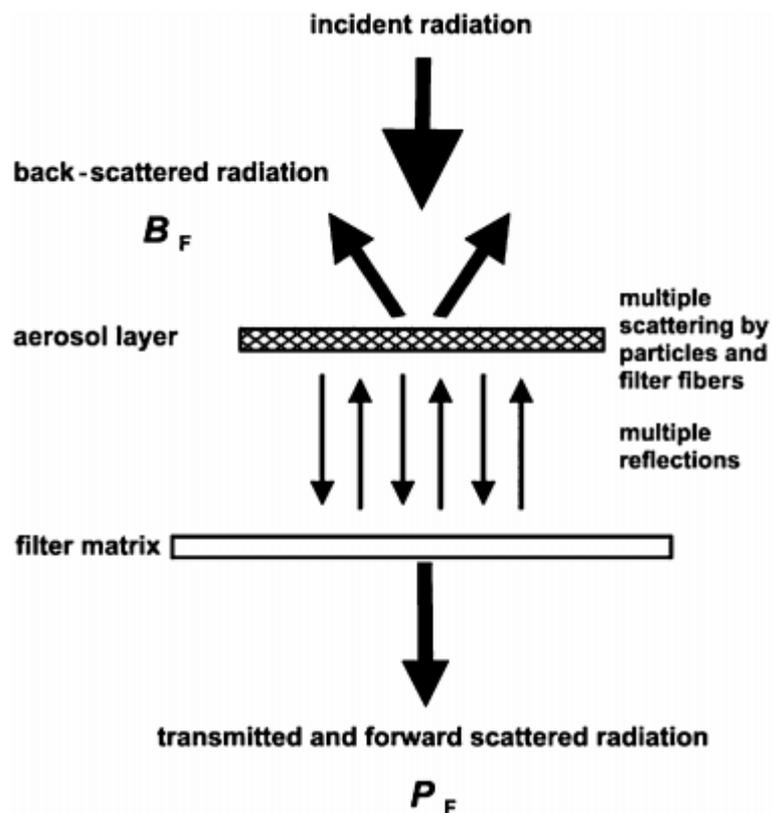


Figura 15. Representação esquemática do funcionamento dos processos de radiação a ser considerado no sistema de duas camadas constituindo o aerossol considerando uma camada carregada de filtro com material particulado e a matriz de filtro livre de partículas (PETZOLD, 2005).

3.2.6 Aetalômetro: medida da absorção espectral de aerossóis

O Aetalômetro é um instrumento que se mede a aproximação em tempo real da concentração de *black carbon* (BC) de acordo com a Figura 16, que é um componente de partículas de aerossol emitido essencialmente pela combustão de materiais orgânicos. Sua medida é indicador direto do impacto de atividades antropogênicas que, no Pantanal estão associadas às queimadas.



Figura 16. Aetalômetro usado para medir a concentração de *black carbon*. Site: <https://www.indiamart.com/proddetail/portable-aethalometer-9304688248.html>. Pesquisado em 16 de fevereiro de 2018.

Por outra perspectiva, o BC é um composto que possui alto poder de absorção de radiação. E, assim essa propriedade pode determinar a sua concentração por meio da atenuação de um feixe de luz transmitido através de um filtro de partículas (RIZZO, 2006) de acordo com a Figura 17. A atenuação ótica (A_t) é definida como:

$$A_t = 100 \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (2)$$

Onde I_0 representa a intensidade de luz transmitida pelo filtro limpo, e I a intensidade de luz transmitida após a exposição do filtro. A atenuação ótica é função do comprimento de onda da luz incidente (λ), de modo que a concentração de BC pode ser determinada para comprimentos de onda fixos:

$$A_t(\lambda) = \sigma_\lambda [BC] \quad (3)$$

Onde σ_λ é a seção de choque de absorção ótica para o comprimento de onda λ , e [BC] a concentração de *black carbon*.

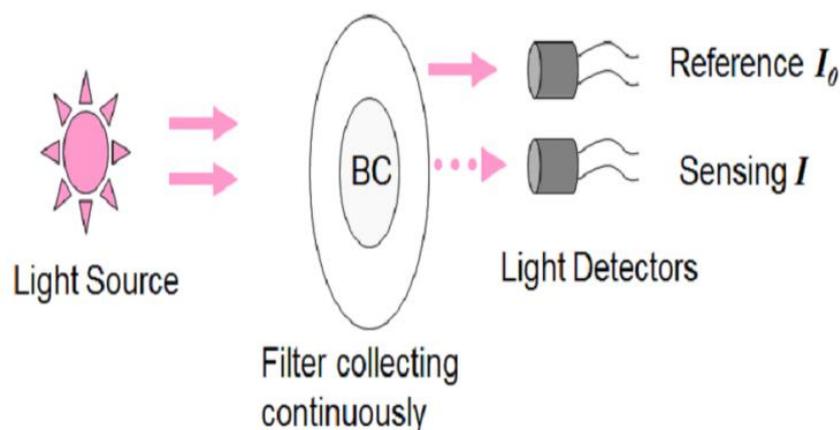


Figura 17. Princípios de funcionamento do Aetalômetro AE30, com dois feixes de referência de medidas para cálculos de correção para efeito de filter loading (HOLANDA, 2015).

A partir da mudança na atenuação ótica a 880 nm no intervalo de tempo selecionado e utilizando o coeficiente mássico de absorção de $7,77 \text{ m}^2/\text{g}$ é calculada a concentração em massa de BC (DRINOVEC et al., 2015). Nesse comprimento de onda, outras partículas de aerossóis absorvem significativamente menos a radiação e, portanto, a absorção pode ser atribuída somente ao BC (FIALHO et al., 2006; SANDRADEWI et al., 2008). Pela análise espectral dos dados são permitidas as medidas em regiões espectrais distintas (370, 470, 520, 590, 660, 880 e 950 nm). Pode ser importante para a determinação da fonte emissora de BC ou a detecção de poeira mineral, a análise da dependência da absorção com o comprimento de onda a partir da dependência do albedo de espalhamento único com o comprimento de onda (COLLAUD COEN et al., 2004; HOLANDA, 2015).

Nos experimentos analisados nesse trabalho foi utilizado o modelo de Aetalômetro da Magee Scientific que mediu a dependência espectral do coeficiente de absorção em sete comprimentos de onda ($\lambda = 370, 470, 525, 590, 660, 880$ e 950 nm).

3.2.7 Validação para as medidas realizadas in-situ

O conjunto de dados medido in-situ foram processados e divididos em níveis de qualidade em que o nível 1 contém os dados brutos filtrados por questões instrumentais, o nível 2 contém os dados que foram calibrados e normalizados à pressão e temperatura constante (1 atm e 24°C – ter o controle do ambiente para evitar erros grosseiros nas medidas dos equipamentos e assim a falta de calibração dos equipamentos). Logo após o processamento, os dados foram salvos em arquivos que contém as médias para intervalos de 5 a 30 minutos.

Para o Aetalômetro *Magge* (modelo AE30 e AE33), os dados de nível 1 correspondem a medidas para qual o fluxo de ar ficou entre 1 e 8 LPM e os valores de BC não podem ser menores que $-1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ou maiores que $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. O nível 2 além das correções para temperatura e pressão foram realizadas correções para as cargas de filtro e dispersão múltipla conforme os trabalhos de Rizzo et al. (2011) e Weingartner et al. (2003).

Para o MAAP *Thermo* (modelo 5012) o nível 1 está relacionado com dados cujo número de interações seja menor que 50 e diferente de zero, os dados de 1 minuto não podem ser menores que $-1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ou maiores que $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. No nível 2 é aplicada uma correção de 5% conforme trabalho de Müller et al. (2011), além das correções para pressão e temperatura.

Os dados foram todos corrigidos e verificados todos os valores de picos “estranhos” que poderiam acontecer devido a troca da sílica, pois os equipamentos não eram desligados.

3.2.8 Medidas de atenuação do aerossol

Segundo a metodologia usada por Rizzo et al. (2011), o equipamento Aetalômetro mede a atenuação da luz através de um filtro à medida que os aerossóis são depositados. O coeficiente de atenuação (σ_{ATN}). É dado pela equação:

$$\sigma_{ATN} = \frac{A_f \Delta ATN}{Q \Delta t} \quad (4)$$

A_f é a área spot do filtro, Q a taxa de fluxo volumétrico, e ΔATN é a alteração na atenuação durante o intervalo de tempo Δt . A saída padrão do fabricante fornece uma

concentração de massa de carbono negro equivalente BC_{ATN} ($ng.m^{-3}$), que é calculado a partir de σ_{ATN} de acordo com a equação 5:

$$BC_{ATN} = \frac{\sigma_{ATN}}{\alpha_{ATN}} \quad (5)$$

Onde,

$$\alpha_{ATN}[m^2 g^{-1}] = \frac{14625}{\lambda[nm]} \quad (6)$$

É a secção espectral de atenuação específica de massa baseada em uma calibração usando uma solução de dessorção térmica baseada em solvente para metodologia de análise de carbono elementar. Visando minimizar as incertezas (SCHMID et al., 2006), a medida primária para o parâmetro do Aetalômetro, σ_{ATN} , será estudado nesse trabalho. Portanto, todos os valores BC_{ATN} fornecidos pelo software de aquisição de dados do fabricante foram convertidos em σ_{ATN} usando as equações de (4) a (6).

De acordo com Rizzo (2011), o único método para a medição direta de absorção do BrC envolve a extração de amostras de filtro em água, acetona ou metanol. Essa análise não é fácil e requer análises em laboratório. Por conseguinte, essa não é uma abordagem viável para a obtenção de medições globais e contínuas. Necessita de observações diretas de absorção de BrC com campanhas em campo, porém são limitadas. Como resultado, as medidas indiretas são realizadas pelo cálculo da diferença entre a absorção total e que foram estimadas e que se tem incerteza associada à separação da absorção de BrC. A absorção de BC é maior do que a incerteza associada, pelo método de extração orgânica (BOND et al., 2013; WANG et al., 2016).

Para separar a absorção de BrC a absorção total a partir de medições terrestres ou de satélites pode-se recuperar por modelos complexos e determinar o tipo de partícula e o índice de refração. A incerteza é muito grande e difícil de quantificar, uma vez que se baseia em várias suposições sobre a composição dos aerossóis e as distribuições de tamanho (LI et al., 2016). Logo, o BrC absorve a luz no UV e sua AAE difere do BC e, portanto um método simples que pode ser usado para estimar BrC absorção de acordo com a Equação 7. Nesse trabalho, utilizamos o expoente Ångström de absorção do inglês *Absorption Ångström Expoent*.

$$AAE = - \frac{\ln\left(\frac{abs(\lambda_1)}{abs(\lambda_2)}\right)}{\ln\frac{\lambda_1}{\lambda_2}} \quad (7)$$

De acordo com Wang et al. (2016) , os comprimentos de onda λ_1 e λ_2 são dois comprimentos de onda de referência; $abs(\lambda)$ é o coeficiente de absorção no comprimento de onda correspondente. Pode-se considerar o caso em que tem medidas de absorção em três comprimentos de onda, um no UV próximo ou um curto comprimento de onda, incluindo a absorção de BrC e os outros dois no espectro visível sem absorção de BrC (por exemplo, 440, 675 e 870 nm) para tentar separar a absorção de BC e BrC (RUSSEL et al., 2010; CHUNG et al., 2012; BAHADUR et al., 2012).

Se não houver presença de poeira, a absorção nos dois comprimentos de onda mais longos (675 e 870 nm) é unicamente de BC, e a absorção no menor comprimento de onda (440 nm) inclui contribuições de BC e BrC. Em seguida, a absorção de BrC pode ser simplesmente obtida ao remover esta contribuição de BC para as medições de 440 nm (RUSSEL et al., 2010; CHUNG et al., 2012; BAHADUR et al., 2012).

Vários estudos relatam que o coeficiente de atenuação (σ_{ATN}) pode diferir significativamente do coeficiente de absorção de aerossol, σ_{abs} (por exemplo, WEINGARTNER et al., 2003; ARNOTT et al., 2005; SCHMID et al., 2006). A necessidade de depositar o aerossol em um substrato de filtro durante os resultados de medição com efeitos de dispersão múltipla dentro da matriz de filtro, bem como efeitos de carregamento de filtragem. Weingartner et al. (2003) propuseram a correção seguinte para obter coeficientes de absorção de medições de atenuação do Aetalômetro de acordo com a Equação 8:

$$\sigma_{abs} = \sigma_{ATN} \frac{1}{C \cdot R(ATN)} \quad (8)$$

Onde $C \geq 1$ explica os múltiplos efeitos de dispersão da luz e dentro do filtro e $R(ATN) \leq 1$ corrige os efeitos de carga do filtro. O valor do parâmetro C utilizado foi de 5,23 comparado ao trabalho de Arnott et al. (2005) e Weingartner et al. (2003).

Devido às interações de filtro de aerossol, os Aetalômetros requerem fatores de calibração específicos do local. A correção da carga do filtro depende da atenuação, diretamente medida pelo Aetalômetro, para explicar a diminuição da sensibilidade de como o filtro é carregado com partículas e pode ser calculado pela Equação 9:

$$R(ATN) = \left(\frac{1}{f} - 1\right) \frac{\ln ATN - \ln 10}{\ln 50 - \ln 10} + 1 \quad (9)$$

O parâmetro f é conhecido como o fator sombreador, e depende do tipo de aerossol Schmid et al. (2006) obteve $f = 1.2$ pela comparação de Aetalômetro e medições de PAS (Espectrofotômetro fotoacústico) durante o experimento LBA / SMOCC onde falam que o carregamento da fita apresenta uma redução máxima da sensibilidade de cerca de 20% no comprimento de onda de 532 nm. Contudo o parâmetro C e f são aproximadamente independentes do comprimento de onda, ou seja, são aplicados a todos os comprimentos de onda (WANG et al., 2016).

3.3 OBTENÇÃO DAS FRAÇÕES DE ABSORÇÃO POR BLACK CARBON E BROWN CARBON COM MEDIDAS DO AETALÔMETRO

De acordo com o trabalho de Wang et al. (2016) foi realizada a separação das frações absorptivas de *black carbon* (BC) e *brown carbon* (BrC) em que o método se baseia nas medidas de absorção em três comprimentos de onda, sendo dois comprimentos de onda no espectro visível sem a contribuição da absorção do BrC e um no ultravioleta próximo ou em um curto comprimento de onda que inclua a absorção do BrC. Nesse trabalho foram utilizados os valores de absorção de quatro comprimentos de onda em 370, 470, 660, 880 nm. Caso as medidas de AAE não apresentem contribuições de absorção por poeira, a absorção em 660 e 880 nm são exclusivamente provocados pelo BC assim como a absorção em 370 e 470 nm inclui as contribuições de BC e BrC.

Para Liu et al. (2015) e Olson et al. (2015) aplicaram uma abordagem baseada no expoente de Angstrom de absorção (AAE) para medidas realizadas em laboratório e campo em que assumem que $AAE = 1$ para BC e assim derivar a absorção de BrC porém essa suposição pode não representar as condições de ambiente natural para o

BC. A figura 18 resume uma série de cálculos da teoria de Mie para diferentes comprimentos e revestimentos.

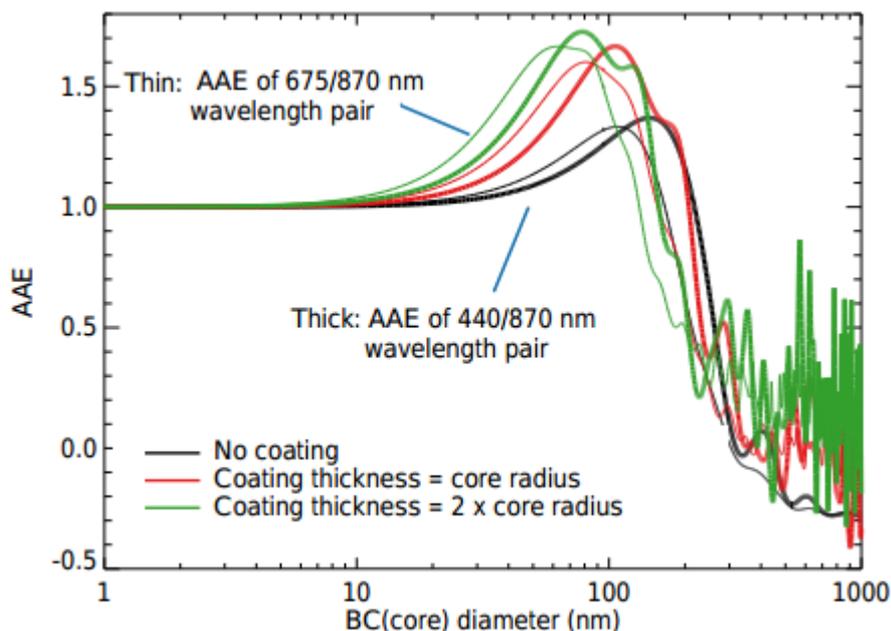


Figura 18. O expoente de absorção de Ångström (AAE) para *black carbon* (BC) estimado usando os cálculos de Mie em função de tamanho e para uma série dos estados de revestimento (WANG et al. (2016)).

O método do expoente de Angstrom (AAE) se baseia em medidas de absorção de múltiplos comprimentos de onda com cálculos de Mie teóricos para *black carbon*. Como representado na Figura 18, o AAE de *black carbon* é diferente quando se utilizam pares de comprimento de onda de referência diferentes. O método desenvolvido por Wang et al. (2016) caracteriza a dependência do Angstrom de absorção com o comprimento de onda e para o nosso estudo utilizou-se de comprimentos próximos do cálculo e realizou-se a relação da seguinte forma:

$$WDA = AAE_{370/880} - AAE_{470/880} \quad (10)$$

Observa-se que a suposição da independência do comprimento, ou seja, de $AAE = 1$ para *black carbon* levaria a um WDA de zero.

3.4 MODELO DE TRAJETÓRIAS HYSPLIT

O modelo Hysplit (do inglês, *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrate Trajectory Model*) é um sistema completa para calcular trajetórias simples de

parcelas de ar, bem como transações complexas, dispersão, transformação química e simulações de deposição. HYSPLIT continua a ser um dos modelos de transporte e dispersão atmosféricos mais utilizados na comunidade de ciências atmosféricas. Uma aplicação comum é uma análise de trajetória para determinar a origem das massas de ar e estabelecer relações fonte-receptor (DRAXLER e ROLPH, 2003).

O HYSPLIT também é utilizado em uma variedade de simulações que descrevem o transporte atmosférico, a dispersão e a deposição de poluentes e materiais perigosos. Alguns exemplos de aplicações incluem o rastreamento e a previsão da liberação de material radioativo, fumaça de incêndio, poeira soprada por vento, poluentes de várias fontes de emissão estacionárias e móveis, alérgenos e cinzas vulcânicas (DRAXLER e ROLPH, 2003).

O método de cálculo do modelo é um híbrido entre a abordagem Lagrangeira, usando uma moldura de referência para os cálculos de advecção e difusão à medida que as trajetórias ou parcelas de ar se deslocam de sua localização inicial e a metodologia euleriana, que usa uma grade tridimensional fixa como um quadro de referência para calcular as concentrações de ar poluente (o nome do modelo, já não significava como um acrônimo, originalmente refletiu essa abordagem computacional híbrida) (ROLPH, 2017).

O HYSPLIT evoluiu ao longo de mais de 30 anos, desde a estimativa de trajetórias simples simplificadas baseadas em observações de radiossondas para um sistema que contabilizou poluentes interativos múltiplos transportados, dispersos e depositados em escalas locais a globais (ROLPH, 2017).

A dispersão de um poluente é calculada assumindo dispersão de sopro ou partículas. No modelo do sopro, os cachos se expandem até ultrapassarem o tamanho da célula da grade meteorológica (horizontalmente ou verticalmente) e, em seguida, dividem-se em vários cachos novos, cada um com a sua parte da massa poluente. No modelo de partículas, um número fixo de partículas é advectado sobre o domínio do modelo pelo campo de vento médio e é distribuído por um componente turbulento. A configuração padrão do modelo assume uma distribuição de partículas tridimensional (horizontal e vertical) (ROLPH, 2017).

O modelo pode ser executado de forma interativa na Web pelo sistema ARL READY (site: <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), ou o código executável e os

dados meteorológicos podem ser baixados para um PC Windows ou Mac. A versão web foi configurada com algumas limitações para evitar a saturação computacional do servidor web ARL. A versão de PC registrada é completa sem restrições computacionais, exceto que os usuários devem obter seus próprios arquivos de dados meteorológicos. A versão não registrada é idêntica à versão registrada, exceto que as concentrações de pluma não podem ser calculadas com arquivos de dados de meteorologia de previsão. O modelo somente de trajetória não possui restrições e as trajetórias de previsão ou arquivamento podem ser computadas com qualquer uma das versões.

Nesse trabalho utilizou o modelo executado na web para simular as trajetórias para casos atípicos de elevadas concentrações de aerossóis para dias específicos como picos de queimadas ou para a identificação de alguma fonte de emissão em particular.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PRECIPITAÇÃO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

Na Figura 19 mostra a precipitação mensal acumulada base avançada de pesquisas do Pantanal de abril de 2012 a agosto de 2013. É possível distinguir na série temporal o período seco e seus mínimos de precipitação entre os meses de abril a setembro. A diminuição na ocorrência de chuvas é concomitante com o aumento de queimadas na região e, assim, há um aumento na concentração de particulado na atmosfera. A precipitação pluviométrica acumulada durante todo o período seco estudado foi 583,8 mm, enquanto que no período chuvoso foram 1169,5 mm.

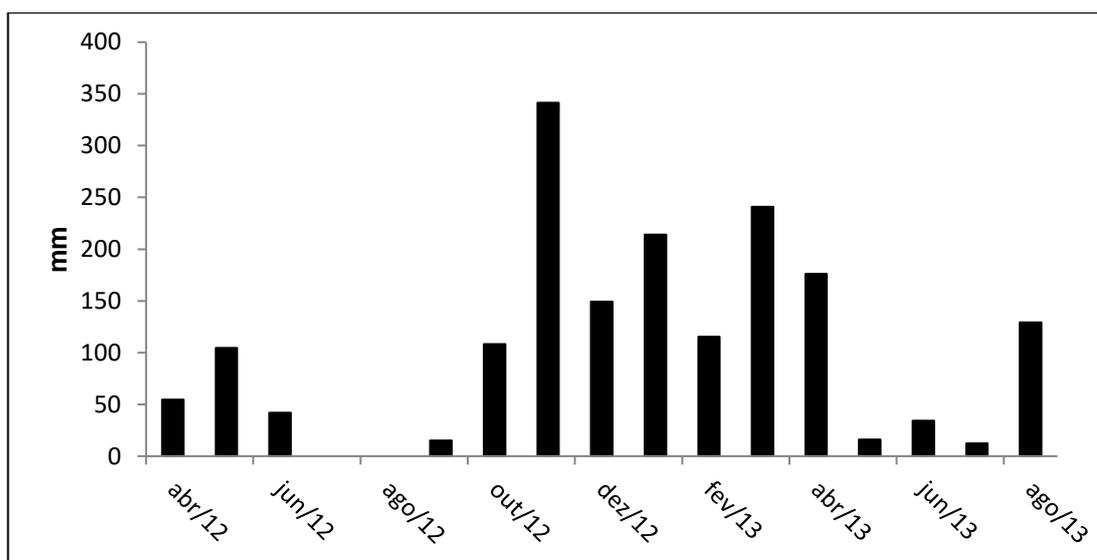


Figura 19. Precipitação mensal acumulada de abril de 2012 a agosto de 2013 no Pantanal.

Na proposta de Tarifa (2011), o Pantanal se localiza na unidade climática III E2 (III - Clima Tropical Continental Mesotérmico Subúmido das Depressões e Pantanaís do Médio Cuiabá), cuja precipitação anual fica em torno de 1300 a 1400 mm, apresentando de 7 a 8 meses de período seco (precipitação inferior a 100 mm mensais).

Tarifa (2011) utilizou dados obtidos na estação meteorológica do INMET de Porto Cercado (Lat 16°31' Long. 56°23', período de 1983-1994, distante cerca de 4

km a sudeste da BAPP/UFMT). Entre abril e outubro os totais mensais foram inferiores a 100 mm, sendo que em junho, julho e agosto os valores foram próximos a zero. Em dezembro e janeiro os valores ficaram acima de 200 mm, sendo 250 mm em janeiro e 207 mm em dezembro. Esta série histórica dados entre 1983-1994 na região de Porto Cercado (a cerca de 4 quilômetros da BAPP/UFMT) serve de parâmetro para verificar o comportamento da precipitação no período estudado, podendo ser verificado se ocorreu um tempo mais seco ou mais úmido que a referida série histórica de acordo com a Figura 20.

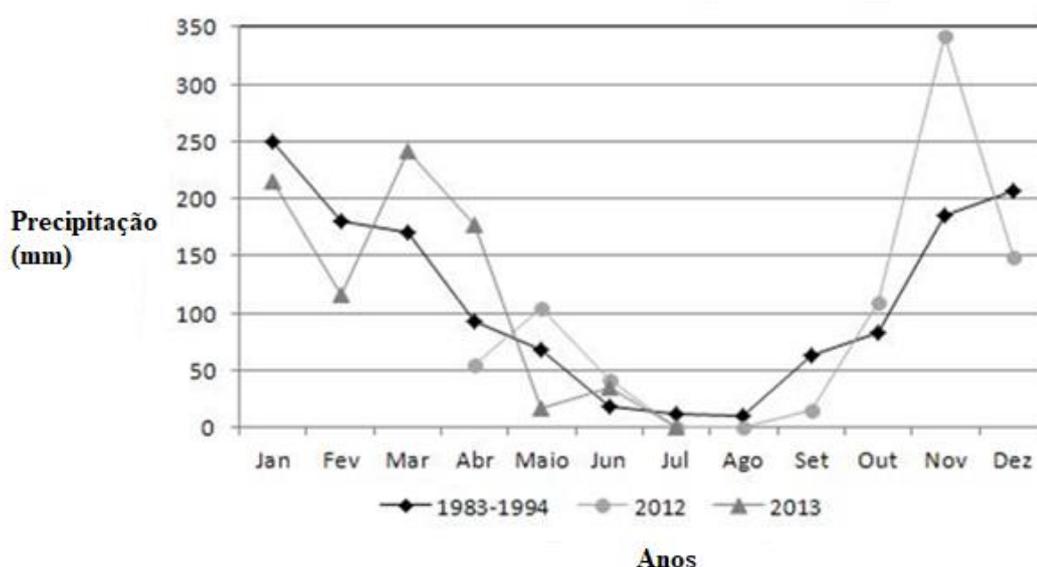


Figura 20. Variação da precipitação durante o período de amostragem em 2012 e 2013 e precipitação registrada pelo INMET entre os anos de 1983-1994 na região de Porto Cercado (TARIFA, 2011).

4.2. FONTES DO MATERIAL PARTICULADO

Foram realizadas a caracterização e identificação das principais fontes de material particulado para a região do Pantanal. Foram identificadas três principais fontes de emissão de aerossol pela Matriz de Fatoração Positiva (PMF), na moda fina no período seco e na moda grossa no período chuvoso e foram apresentados quatro fatores, os quais explicavam uma mesma emissão.

As fontes são: emissão biogênica, ressuspensão do solo e queima da biomassa (SANTOS et al., 2014).

No Fator 1, notou-se baixas porcentagens dos elementos de MPF, BC_F, Br, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Fe e Zn provenientes da queima da biomassa, solo e emissão biogênica no Pantanal (SANTOS et al., 2014).

No Fator 2, notou-se as porcentagens dos elementos: MPF, BC_F, P, S, K e Br provenientes da queima da biomassa no Pantanal (SANTOS et al., 2014).

No Fator 3, notou-se porcentagens dos seguintes elementos: Al, Si, Ca e Fe provenientes de ressuspensão do solo, pode ser associadas as proximidades do site em que ocorre tráfego veicular (SANTOS et al., 2014).

No Fator 4 notou-se altas porcentagens dos elementos Na e S que podem ser provenientes de combustíveis fósseis e para uma melhor compreensão necessita-se de mais dados conforme falado na metodologia, necessita-se de mais dados coletados principalmente no período chuvoso para melhor discussão dessa fonte (SANTOS et al., 2014).

4.3. CONTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS DE AEROSSÓIS NA MODA FINA PARA A ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

Nessa parte do trabalho, será discutido o experimento que foi desenvolvido na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal preservada especialmente para avaliar a contribuição de partículas de aerossóis na moda fina para a absorção da radiação.

Na Figura 21 para a Base Avançada de Pesquisas do Pantanal são medidas instantâneas a cada 5 minutos e o equipamento Aetalômetro faz a análise dos setes comprimentos de onda de 370, 470, 525, 590, 660, 880 e 990 nm atingindo valores de absorção próximo de 15 Mm^{-1} e valores máximos de atenuação 30 Mm^{-1} para o comprimento de onda, pode-se explicar esses valores devido aos dias mais afetados por emissões de queimadas no período seco, contudo possui influência do final do período chuvoso quando há baixas concentrações de aerossóis de queimadas na

atmosfera e é dominada por aerossóis biogênicos ficando mais sensíveis às perturbações externas.

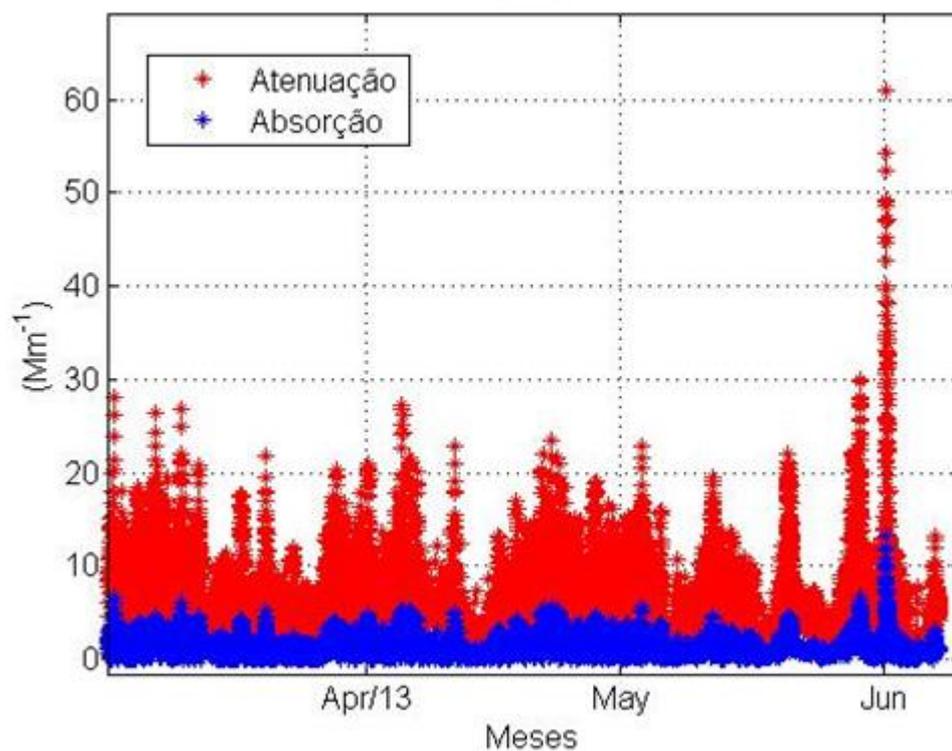


Figura 21. Coeficiente de absorção (medidos na fita do equipamento) e atenuação (valores corrigidos para os comprimentos de onda de 470 nm e 880 nm de acordo com Wang et al., 2016) do material particulado PM_{2.5} medidos pelo Aetalômetro na estação Pantanal Mato-grossense nos meses de abril a junho de 2013.

Pode-se comparar ao analisar com as fontes provenientes na estação Pantanal como material particulado fino (PM_{2.5}), *black carbon*, fósforo, enxofre, potássio e bromo são provenientes da queima da biomassa para a análise de fatoração de matriz positiva que assim corresponde aos valores de absorção medidos pelo Aetalômetro, pois é um instrumento que utiliza de análises ópticas para determinar a concentração em massa de partículas de *black carbon* coletadas de uma corrente de ar que passa através de um filtro. Essas partículas são diretamente emitidas para o ar durante toda a combustão, mas estão principalmente associadas comparadas a fonte proveniente de queima da biomassa, nas quais prejudicam a saúde pública, contribuindo para as

mudanças climáticas locais e globais e reduzem a visibilidade. Assim os Aetalômetros são usados por programas de monitoramento da qualidade do ar, agências de proteção da saúde pública, laboratórios de pesquisa e grupos comunitários.

Comparado aos valores da estação Pantanal que chegaram próximo a 15 Mm^{-1} com o trabalho de Holanda (2015) as medidas realizadas in-situ em Manacapuru sendo valores máximos de 13 Mm^{-1} e no ATTO valores máximo de 11 Mm^{-1} para a série temporal de março a setembro de 2014, os coeficientes de absorção em 880 nm mostrou uma forte sazonalidade apresentando valores máximos durante o período de queimadas.

O coeficiente de absorção e atenuação na estação Pantanal apresentado na Figura 21 utilizou os comprimentos de onda para de 470 nm e 880 nm para o cálculo e empregou a relação segundo a Equação 10 apresentada na metodologia.

O expoente de Angstrom de absorção (AAE) apresentou valores igual a 1 para a estação Pantanal, que é característica de *black carbon* que segue tipicamente uma dependência espectral (RIZZO et al., 2011; KIRCHSTETTER, et al. 2004) e comparada com as fontes provenientes de queimadas no Pantanal e comparado com o trabalho de Arana (2014) na Rebio Cuieiras, a concentração de black carbon equivalente teve variação sazonal muito pronunciada com elevadas concentrações da fração fina durante o período seco devido ao transporte regional das emissões de queimadas de outras áreas na Amazônia.

Os valores para o expoente de Angstrom de absorção (AAE) na estação Pantanal apresentou valores maiores que 1,0 que tem contribuição de queima da biomassa, ressuspensão do solo, carbono elementar e carbono orgânico e de acordo com o trabalho de Rizzo et al.(2011), há presença de carbono orgânico presente no aerossol de queima da biomassa e a poeira mineral que contribuem para a absorção da radiação na região do ultravioleta e regiões espectrais do azul que resulta em um AAE maior do que 1 e pode variar de acordo com os comprimentos de onda utilizados para o cálculo, geralmente na faixa de 1 a 3 (KIRCHSTETTER, et al. 2004).

Os valores para o expoente de Angstrom de absorção (AAE) na estação Pantanal apresentou valores maiores que 1,5 que tem contribuição de carbono orgânico e segundo Rizzo et al. (2011), esses valores maiores que 1,5 têm sido utilizados para caracterizar o aerossol que tem uma maior absorção em comprimentos de onda mais curtos, como a poeira mineral e o OC e os valores menores que 1,5 caracterizam uma grande influência do EC levando a misturas mais complexas.

O AAE está relacionado com as propriedades físicas e químicas do aerossol podendo fornecer informação sobre o tipo de aerossol absorvedor predominante em uma mistura de partículas de aerossol e notam-se as fontes (queima da biomassa, emissão biogênica e ressuspensão do solo) presentes no Pantanal comparadas com esse trabalho de Rizzo et al. (2011).

O AAE para a região de Alta Floresta segundo estudo de Holanda (2015), varia de 0,75 e possui fonte de aerossóis biogênicos na moda grossa e aumenta progressivamente até uma média de 1,60 para os casos dominados pelo aerossol de queimadas na moda fina e se comparar com a estação Pantanal verifica-se a fonte de aerossóis biogênicos.

No trabalho de Rizzo et al. (2011), os expoentes de Angström mais baixos foram observados no local no período seco (experimento LBA/ZF2-C14), com um valor médio de $\frac{370}{880} = 1,3 \pm 0,3$. Dado que este sítio florestal se encontra numa reserva remota, mesmo durante o período seco, as partículas biogênicas constituem a maior parte da matéria particulada (75%), enquanto outras partículas absorventes de luz (poeiras e fuligem) representam 13% da massa total de aerossol (RIZZO et al., 2010) e pode-se comparar com a Base Avançada de Pesquisas do Pantanal que apresenta os três tipos de fontes: aerossóis biogênicos, queimada e ressuspensão do solo.

O fato de que 90% do expoente de Angström são observados expoentes abaixo de 1,5 (\pm com uma incerteza típica de 20%) reforça o ponto de que as partículas biogênicas da Amazônia podem ter uma fraca dependência espectral para absorção. Esta descoberta contradiz as expectativas de que as partículas biogênicas possuam "*black carbon*", isto é, partículas que mostram coeficientes de absorção que aumentam bruscamente a comprimentos de onda inferiores a 600 nm.

No entanto, medidas adicionais devem ser realizadas em sítios florestais da Amazônia para fornecer um quadro completo das características espectrais de absorção biogênica de aerossóis em relação a diferentes estações e locais geográficos (RIZZO et al., 2011), contudo para o Pantanal constata-se que os valores para os expoentes de Angström são maiores que 1,3 para o período seco comparado com o experimento do LBA/ZF2-C14 e, assim as partículas provenientes no Pantanal são características de emissões biogênicas, queima da biomassa e ressuspensão do solo (SANTOS, 2014).

Comparado ao trabalho de Rizzo et al. (2011) que os expoentes de Angström estão abaixo de 1,5 que reforça que as partículas biogênicas da Amazônia podem ter uma fraca dependência espectral de absorção. No Pantanal apresenta valores maiores, pode-se verificar que pode ter uma dependência espectral mais forte e podem ter na sua composição *black carbon* que comprova que esses coeficientes de absorção que aumentam bruscamente a comprimentos de onda inferiores a 600 nm.

De acordo com Olson et al. (2015), a contribuição de *black carbon* e do *brown carbon* para o coeficiente total de absorção, a fonte é segregada projetando a absorção em comprimentos de onda mais altos para 880 nm nesse estudo para que assim diminua os comprimentos de onda do espectro medido pelo Aetalômetro.

O AAE é calculado segundo a equação 08 especificada na metodologia e assim os resultados do Aetalômetro corrigido para comprimentos de onda 470 e 880 nm. É também usado para calcular o coeficiente de absorção a 880 nm para outros comprimentos de onda do Aetalômetro usando um AAE =1 para estimar a contribuição de BC do coeficiente de absorção em massa e pode-se observar na Figura 22 a absorção de *brown carbon* e *black carbon* nos meses de março a junho de 2013.

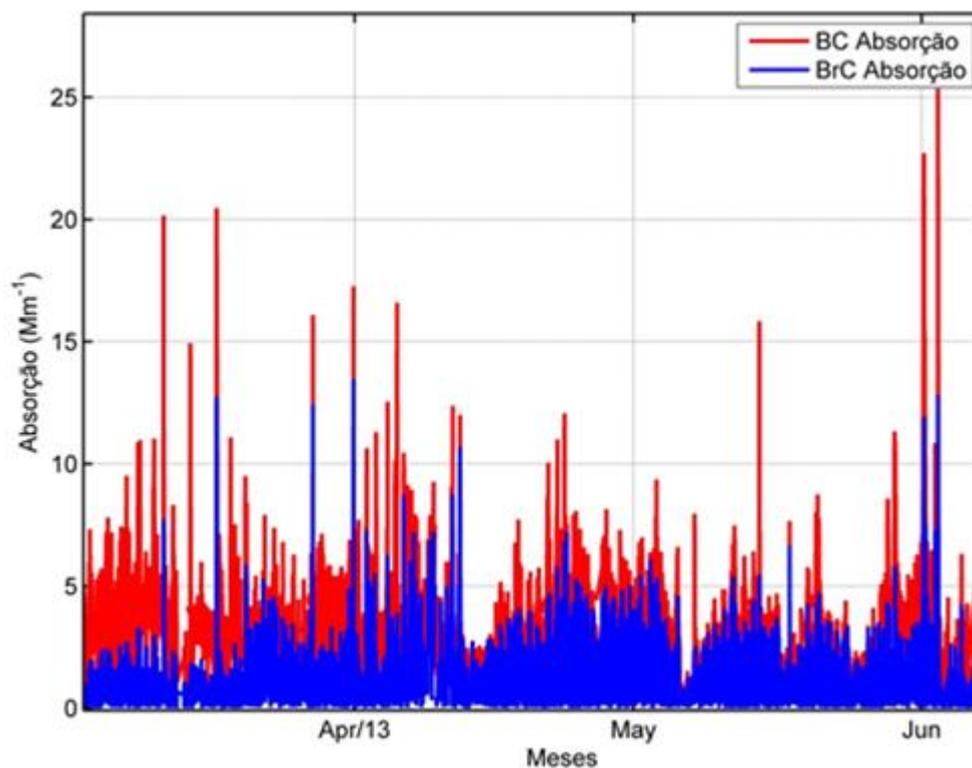


Figura 22. Absorção de *Brown Carbon* e *Black Carbon* nos meses de março a junho de 2013.

Usando a projeção $AAE = 1$, o coeficiente de absorção em massa pode ser calculado para cada comprimento de onda de interesse e, assim calcular o coeficiente de absorção, o BrC. Na equação 5 demonstrada na metodologia, o efeito direto se refere à absorção direta e espalhamento de energia solar e radiação terrestre por aerossóis.

A maioria dos aerossóis orgânicos pode ser caracterizada como “branca” porque elas são eficientes para dispersar a radiação visível. No entanto, uma fração variável significativa de absorção de aerossóis carbonáceos possuem o tipo mais conhecido de aerossol carbonáceo absorvente de luz é o “*black carbon*” (BC) que representa partículas de fuligem geradas pela combustão de combustíveis fósseis e queima da biomassa e absorve a radiação solar em um amplo alcance espectral de ultravioleta (UV) para o infravermelho (IV). Os efeitos de BC são especialmente significativos em áreas que dependem da queima de biomassa e carvão (RIZZO et al., 2011) e

observa-se na estação Pantanal presença de *black carbon* e fonte proveniente de queima da biomassa (SANTOS, 2014).

A maioria dos compostos orgânicos (OC) absorve fortemente a radiação UV são relativamente imperceptíveis para comprimentos de onda na região do visível (400 – 700 nm) e quase imperceptíveis para IR (700 – 2500 nm). Contudo, certos tipos de OC absorvem radiação de forma eficiente no UV (300 – 400 nm).

A variabilidade sazonal para a estação Pantanal para a concentração de *brown carbon* pode ser analisada pelos meses de março a junho de 2013 apresentados na Figura 23. As diferenças de valores mensais ao longo dos meses do ano de 2013 são crescentes, considerando que os maiores valores são observados nos meses de março e abril depois decrescem a partir do mês de maio e junho de 2013 devido à transição do período chuvoso para o seco.

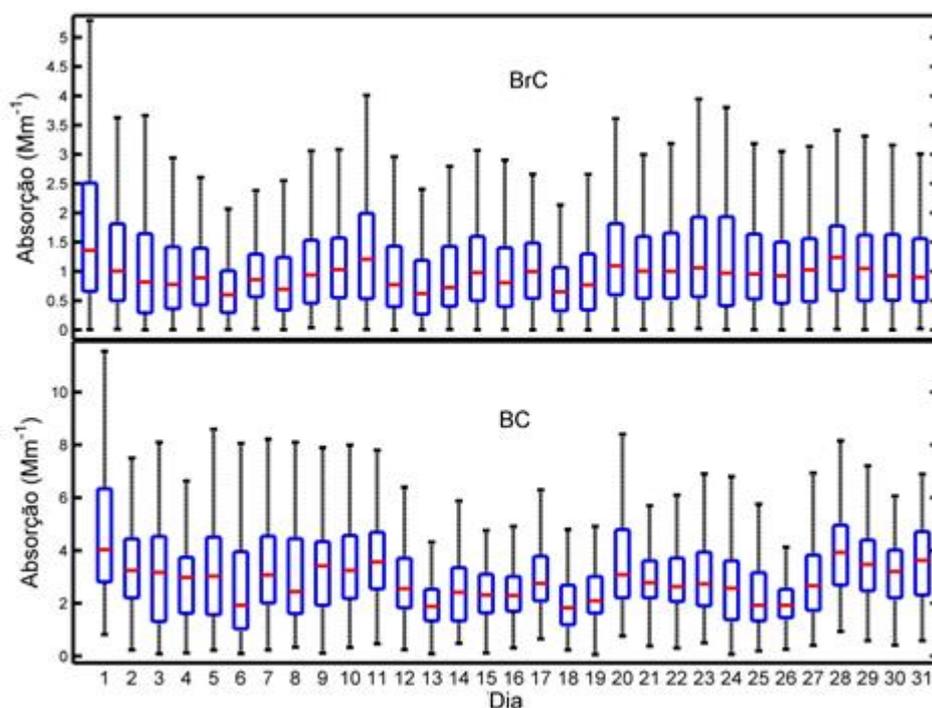


Figura 23. Absorção de *Brown Carbon* e *Black Carbon* nos dias agrupados dos meses de março a junho de 2013.

Em escala global, o BrC é consistentemente observado em termos geográficos em áreas influenciadas pela biomassa e queima de biocombustíveis e se observar na

Figura 23 tem a concentração de BrC que são provenientes de fontes de queima da biomassa (SANTOS, 2014). Observa-se em relação aos dias agrupados os valores de absorção para o BC e BrC os valores maiores que 10 Mm^{-1} e 5 Mm^{-1} respectivamente e valores mínimos 0 Mm^{-1} ambos para BC e BrC.

De acordo com Rizzo e colaboradores (2011), emissões de BrC são geralmente causados por eventos descontrolados e desastrosos como incêndios florestais e de savana em grande escala, usado na gestão florestal e uso extensivo de madeira e outros biocombustíveis para o aquecimento, a produção de energia em outros países em desenvolvimento, ou seja, as emissões contêm misturas externas e internas de BC, BrC, carbono orgânico e inorgânico em diferentes proporções que dependem dos diversos tipos de fontes e quando compara-se a estação Pantanal observa-se a fonte de queima da biomassa e partículas provenientes de combustíveis fósseis (SANTOS, 2014).

Andreae et al. (2006) fizeram estudos que indicam a presença de novas componentes absorvedoras de radiação visível que passou a ser chamada de *brown carbon*, contudo no trabalho de Arana (2014), as análises apenas por técnica óptica e termal-óptica não são suficientes para esclarecer a questão da presença do *brown carbon* no aerossol atmosférico na região Amazônica devido as incertezas inerentes das medidas, tipos diferentes de filtros que utilizaram, comprimentos de onda de 550 nm para reflectância e 670 nm para a análise termal-óptica, determinação do *Split point* nos termogramas, entre outras incertezas.

Essas medidas quando analisadas conjuntamente demonstraram não fornecer uma correlação satisfatória que nos indique o quanto da possível parte do *brown carbon* está sendo incorporado nas medidas de reflectância óptica que não são observadas no carbono elementar. E é necessário considerar que a possível absorção do *brown carbon* alteraria a separação entre carbono elementar e carbono orgânico que depende do *Split point* determinado opticamente (ARANA, 2014).

Na Figura 24 apresenta a média de 30 minutos em relação aos comprimentos de onda de 470 e 880 nm para os meses de março a junho de 2013 e observa-se que o comprimento de onda de 470 nm é maior que o de 880 nm devido à transição do período chuvoso para o seco em que consiste que em comprimentos de onda menores

tem presença de *black carbon* e *brown carbon*, tem fonte característica de queimadas, ressuspensão do solo e biogênica.

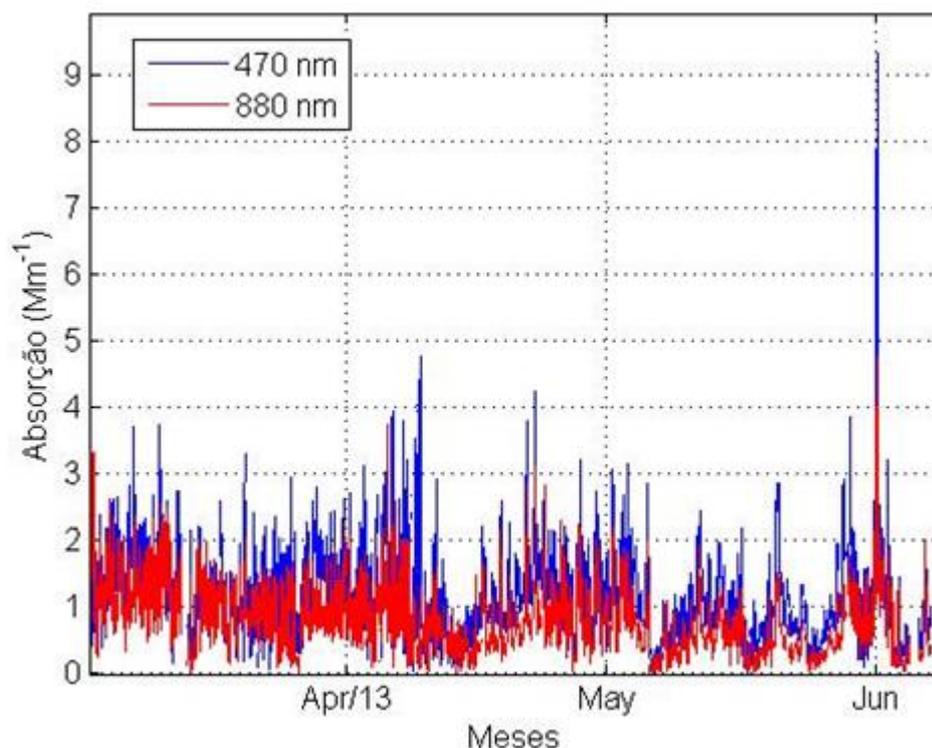


Figura 24. Série temporal para os comprimentos de onda de 470 e 880 nm com média de 30 min para os meses de março a junho de 2013 no site do Pantanal Matogrossense.

As medidas realizadas in-situ no Pantanal apresentaram valores máximos para o comprimento de onda de 470 nm de 52 Mm^{-1} e para 880 nm foi de 25 Mm^{-1} enquanto que comparado ao site de Manacapuru apresentou valores máximos de 13 Mm^{-1} e no ATTO valores máximo de 11 Mm^{-1} para a série temporal de março a setembro de 2014, os coeficientes de absorção em 880 nm mostrou uma forte sazonalidade apresentando valores máximos durante o período de queimadas (agosto – outubro) (HOLANDA, 2015).

O coeficiente medido in situ em Manacapuru é consistente superior ao medido na ATTO que pode ser atribuído à absorção das partículas provenientes de poluição urbana e essa diferença é mais evidente durante o período chuvoso quando a atmosfera apresenta baixas concentrações de aerossol de queimadas e é dominada por aerossóis biogênicos ficando mais sensíveis às perturbações externas

(HOLANDA, 2015) e pode-se comparar com o Pantanal a forte concentração de aerossóis de queimadas para o período de transição úmido para o seco e assim também dominada por aerossóis biogênicos (SANTOS, 2014).

Para Russel et al. (2010) e Chung et al. (2012), se não há presença de poeira, a absorção nos dois comprimentos de onda mais longos (675 e 870 nm) é unicamente de BC, e a absorção no menor comprimento de onda (440 nm) inclui contribuições de BC e BrC como observado na Figura 24 (BAHADUR et al., 2012).

4.4. MAAP E ANÁLISE DE FILTRO RELACIONADO COM O BLACK CARBON E COMPARATIVOS COM OUTROS BIOMAS

A medida de absorção pelo MAAP já contempla as correções que são feitas internamente no instrumento (PETZOLD et al., 2005). A concentração de *black carbon* nos meses de maio a setembro de 2012, transição do período chuvoso para o período seco são apresentados na Figura 25.

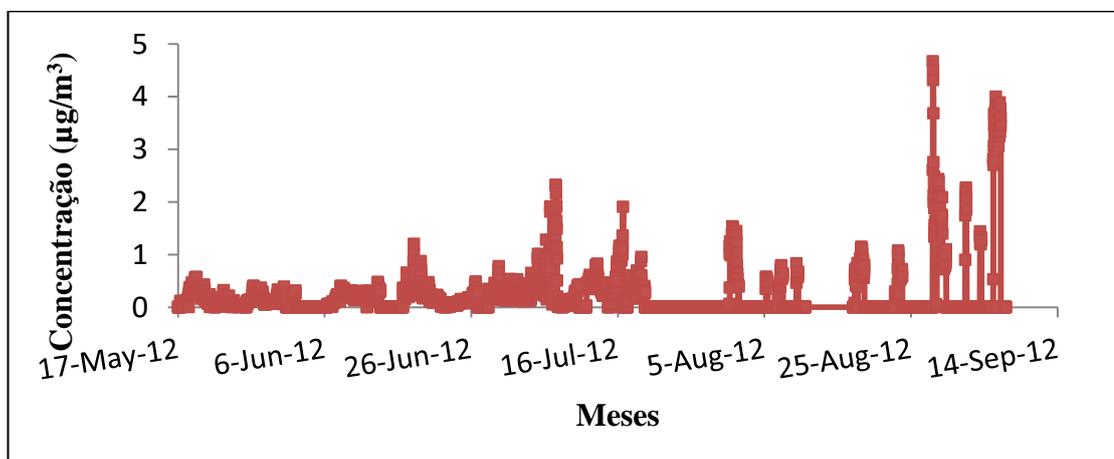


Figura 25. Concentração de *black carbon*, medidas instantâneas a cada 30 minutos nos meses de maio a setembro de 2012 na moda fina no site Pantanal. Período de transição do chuvoso para o seco.

A concentração de *black carbon* teve variação sazonal muito pronunciada com elevadas concentrações da fração fina observada no dia 12 de setembro de 2012 devido ser o período de queimadas que existe nessa região (SANTOS, 2014).

A regressão na Figura 26 apresenta os valores medidos pela MAAP apresentou um coeficiente angular de 10,203 e mostrou alto coeficiente de determinação, material particulado fino – (PM_{2.5} (R²= 0,9554)).

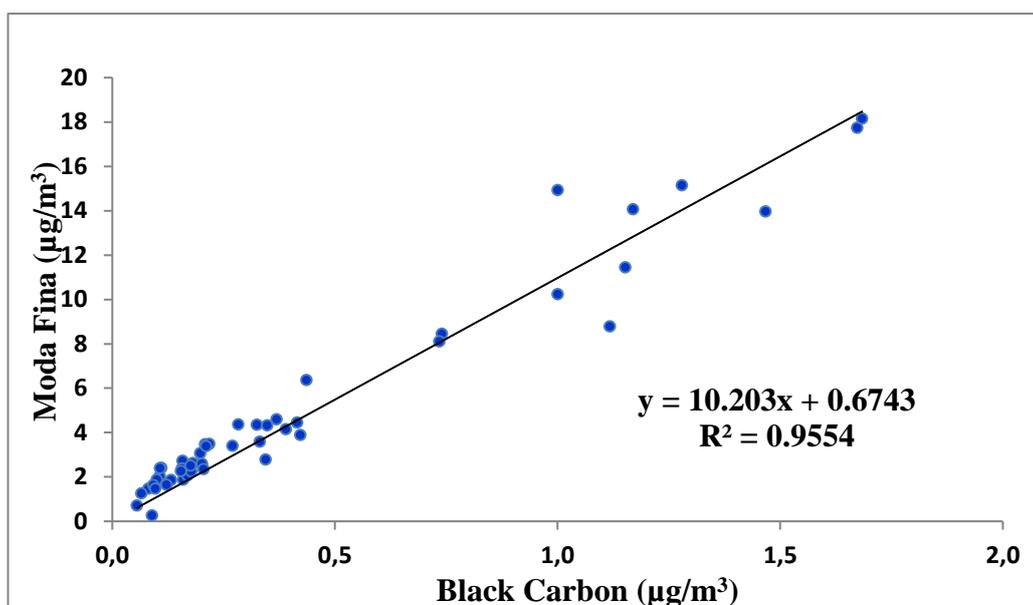


Figura 26. Regressão linear da relação de *black carbon* e material particulado fino (MPF).

O resultado dessa regressão é determinado pelos maiores valores de absorção que ocorrem no mês de abril a maio, quando o site passou a receber aerossóis de queimadas transportados por longas distâncias. Para se observar o efeito de absorção por partículas biogênicas é necessário se estudar essa regressão para baixos valores de absorção, característicos dos efeitos do aerossol biogênico. Baseado neste procedimento, estas regressões lineares foram refeitas aplicando um limite superior para os valores de absorção. Os limites de cada regressão foram sendo reduzido para se analisar o impacto das fontes de aerossóis para decrescentes valores de absorção e assim se observar com o agrupamento de elementos químicos quais são as fontes respectivas para cada período estudado.

A regressão da Figura 27 apresentou os valores medidos pela MAAP apresentou um coeficiente angular de 53,449 e mostrou um bom coeficiente de determinação, material particulado grosso – (PM₁₀ (R²= 0,6586)).

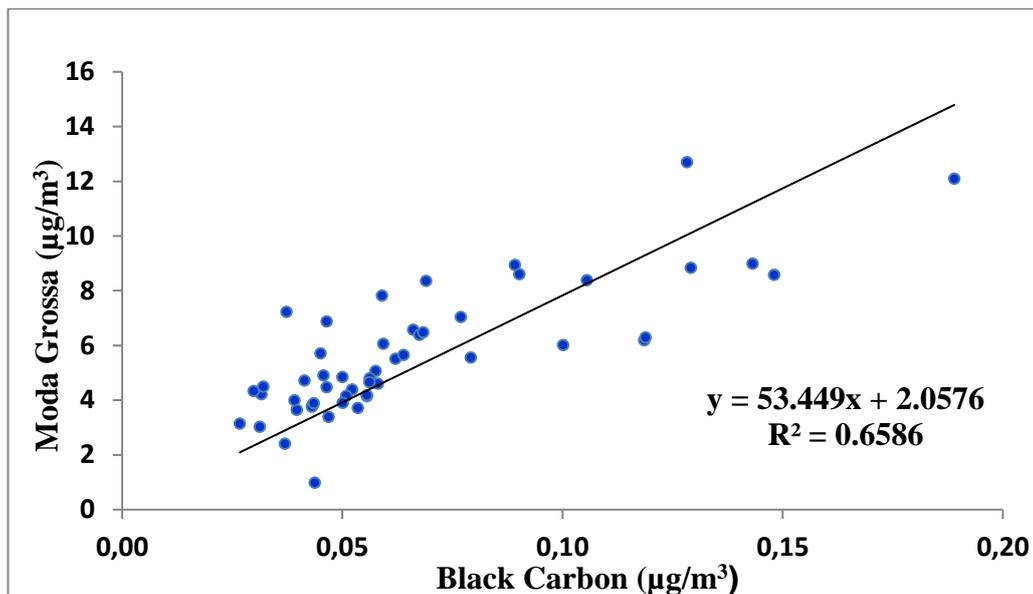


Figura 27. Regressão linear da relação de *black carbon* e material particulado grosso (MPG).

Para análise realizada em relação aos filtros em relação ao *black carbon* tem-se a Figura 28, que mostra a série temporal de concentração de BC nas modas fina e grossa dos aerossóis. Segundo Santos (2014), observa-se que há uma maior concentração de BC na fração fina do aerossol e a redução das médias de concentração de BC na moda grossa no período chuvoso é devido às chuvas que são frequentes nesse período.

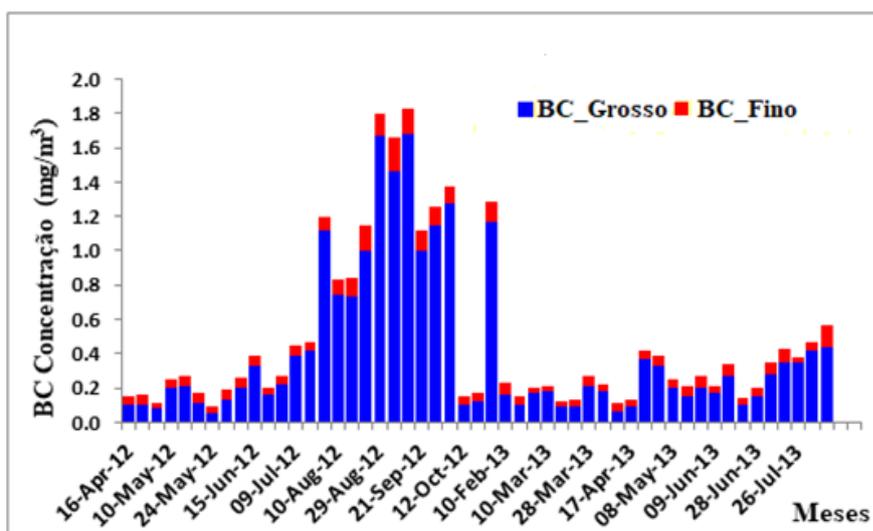


Figura 28. Concentração de *black carbon* na moda fina e grossa.

Ao se comparar a Figura 25 com a Figura 28, observa-se a relação para o BC_fino, pois correspondem a valores próximos do que foi medido pelo equipamento MAAP e Aetalômetro e pelas medidas realizadas pelos filtros no site do Pantanal. Verifica-se que as maiores concentrações de BC fino e grosso foram de 1,7 e 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período seco e chuvoso no Pantanal e observa-se a transição do período chuvoso para o seco em que se teve um pico intenso no dia 12 de setembro de 2012 e essas maiores concentrações são caracterizadas pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (período seco) com muitas queimadas nesse período.

A Floresta Amazônica contribui significativamente no inventário de emissões de material particulado e de gases traços para a atmosfera com significativa contribuição das componentes biogênica e pirogênica, o desmatamento e as queimadas são as principais causas das alterações na composição da atmosfera (ARTAXO et al., 2001).

No Pantanal observa-se as fontes de aerossóis de queimadas no período seco assim como as fontes de ressuspensão do solo e ação biogênica com contribuição no período chuvoso (SANTOS et al., 2016), na bacia Amazônica tem contribuição de emissões de floresta, queimadas e partículas de solo resultante da interação entre ventos e superfícies. As partículas antropogênicas são geradas em grande concentração de massa e número através das queimadas após o desmatamento e manutenção das pastagens na Bacia Amazônica principalmente no final do período seco (ARTAXO et al., 1990) e pode-se comparar com o Pantanal que ocorre o processo de manutenção das pastagens e tem fontes antropogênicas.

Segundo Artaxo et al. (2000) e Maenhaut et al. (2002) os valores que se encontrarem acima de 7,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foram observados em regiões que ocorrem intensas queimadas da biomassa no período seco.

No trabalho de Arana (2014) encontrou valores médios para BC nas modas fina e grossa com valores 0,574 e 0,051 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, para a região de Rebio Cuieiras durante o período seco e 0,154 e 0,066 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período chuvoso (ARANA, 2014).

Para a região de Porto Velho, encontrou valores médios para BC nas modas finas e grossa com valores 2,695 e 0,221 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período seco e 0,258 e 0,0913 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o período chuvoso. Nota-se o efeito do período das secas e emissões de queimadas na região amazônica e as consequentes mudanças sofridas nas propriedades ópticas do aerossol atmosférico nessa região impactada. Para os anos de 2009, 2010 e 2012 o impacto do período seco foi menos intenso que no ano de 2010 com concentrações na moda fina em torno de 1 a 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ARANA, 2014).

Para Yamasoe (2000) e Echalar et al. (1998), estudos sobre a composição elementar do material particulado têm mostrado que a emissão de *black carbon* o qual se sabe ser majoritariamente fuligem proveniente de combustão e está associado aos elementos traços de emissões de queimadas como por exemplo: S, K, Cl, Ca e Zn na fração fina do material particulado e pode-se comparar com o Pantanal que apresenta elementos traços como: Br, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Fe e Zn provenientes da queima da biomassa, solo e emissão biogênica no Pantanal (SANTOS et al., 2014).

O intervalo de diâmetro médio onde se tem a maior concentração de *black carbon* é coincidente ao intervalo de comprimento de onda de radiação visível e, contribui para que as partículas de BC tem uma alta seção de choque na absorção da radiação solar (CASTANHO, 1999).

Consequentemente essa propriedade torna o BC um poluente de alta influência no balanço radiativo da atmosfera em escala regional e a concentração de *black carbon* na moda grossa permanece constante ao longo do ano, indicando fontes de caráter mais local e de emissão constante (CASTANHO, 1999).

4.5. CARBONO ORGÂNICO/CARBONO ELEMENTAR E COMPARAÇÃO COM OUTROS BIOMAS

A concentração média de OC medida na estação Pantanal foi 1,7 $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ no período seco e de 1,3 $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ no período chuvoso. São concentrações relativamente baixas para o OC mesmo durante o período seco em que se verifica certa influência de queimadas, contudo são compatíveis com os resultados encontrados nos trabalhos

de Arana (2014) e Gilardoni et al. (2011), $6,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período seco e $1,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período chuvoso e $4,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período seco e $2,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período chuvoso, respectivamente na Rebio Cuieiras em 2008.

A Figura 29 apresenta a série temporal das concentrações de OC e EC em unidade de $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para a estação Pantanal no período de abril de 2012 a agosto de 2013. Observa-se a sazonalidade de OC e EC e um impacto maior de queimadas no ano de 2012 com maiores concentrações de OC e EC nesse período do mesmo modo como foi observado nas análises das concentrações gravimétricas.

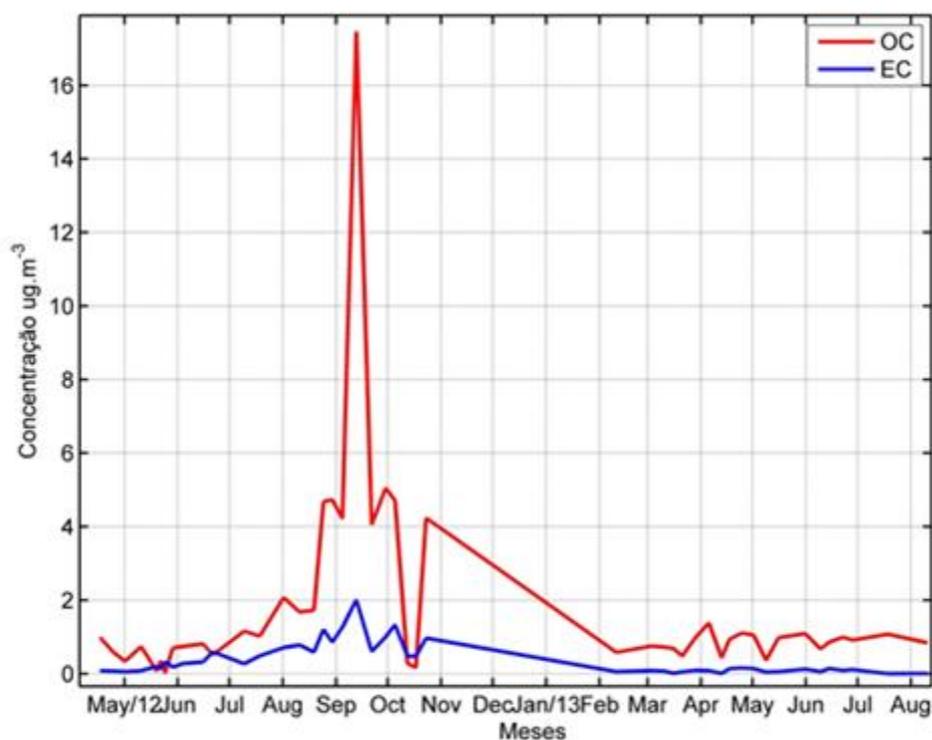


Figura 29. Série temporal das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC), em unidade de $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.

As concentrações médias para EC foram de $0,35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período seco e $0,32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período chuvoso cerca de 6 vezes menores que o OC no período seco e 4 vezes menores que o OC no período chuvoso.

A regressão da Figura 30 que se utilizaram os valores medidos pelos filtros para OC e EC apresentou um coeficiente angular de 0,154 e mostrou alto coeficiente de correlação entre OC/EC ($R^2 = 0,64$). O resultado dessa regressão é determinado pelos maiores valores de absorção que ocorrem no mês de agosto a começo de outubro de 2012, quando a Base Avançada de Pesquisas do Pantanal começou a ter as primeiras chuvas intensas.

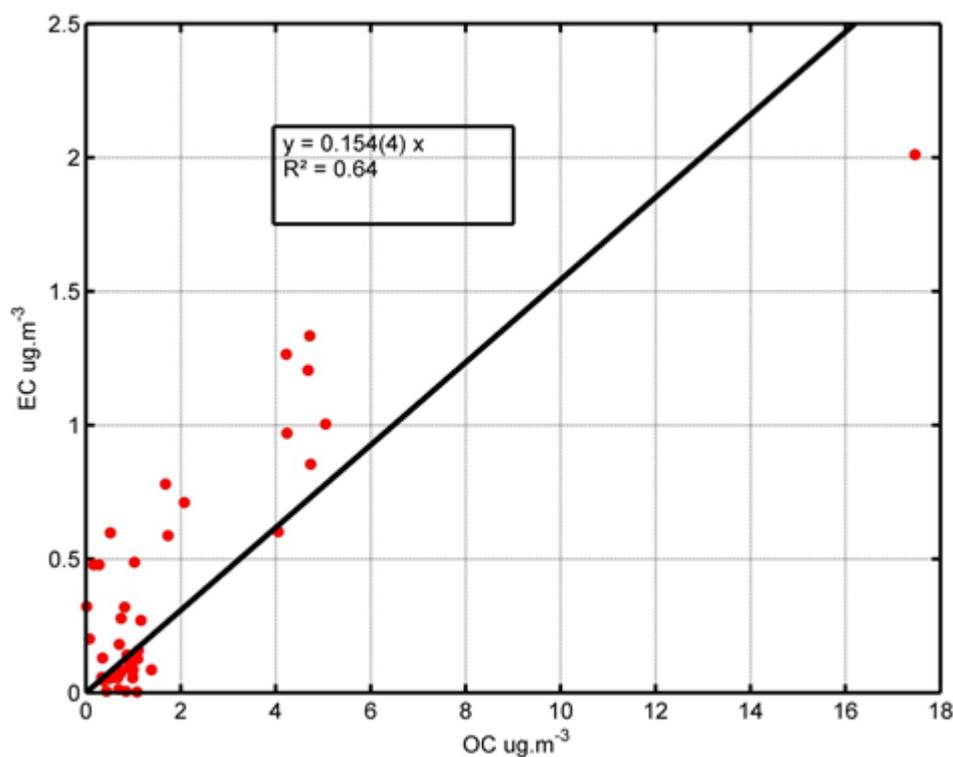


Figura 30. Relação das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC), em unidade de $\mu\text{g.m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.

Observa-se que a concentração média de EC no período seco foi de $0,9 \mu\text{g.m}^{-3}$ e no período chuvoso com $0,5$ para o site de Porto Velho contudo a proporção de EC em relação ao carbono total é a mesma em todos os períodos, tanto seco quanto chuvoso e está em torno de 10% (ARANA, 2014).

A regressão da Figura 31 que se utilizaram os valores medidos pelos filtros para OC e TC apresentou um slope de 1,155 e mostrou alto coeficiente de determinação

entre OC/EC ($R^2 = 0,99$). Geralmente, OC constitui entre 10 a 50% da concentração em massa orgânica atmosférica, dependendo da fonte (SEINFELDS e PANDIS, 2006).

A composição do carbono orgânico do aerossol atmosférico é bastante complexa por causa da mistura de centenas de compostos orgânicos diferentes. O carbono é emitido diretamente na atmosfera (OC primário), por exemplo, por combustão ou fontes naturais, ou formadas por condensação de produtos da foto-oxidação de hidrocarbonetos (OC secundário) e observa-se pelas fontes relacionadas na estação Pantanal que tem emissões naturais.

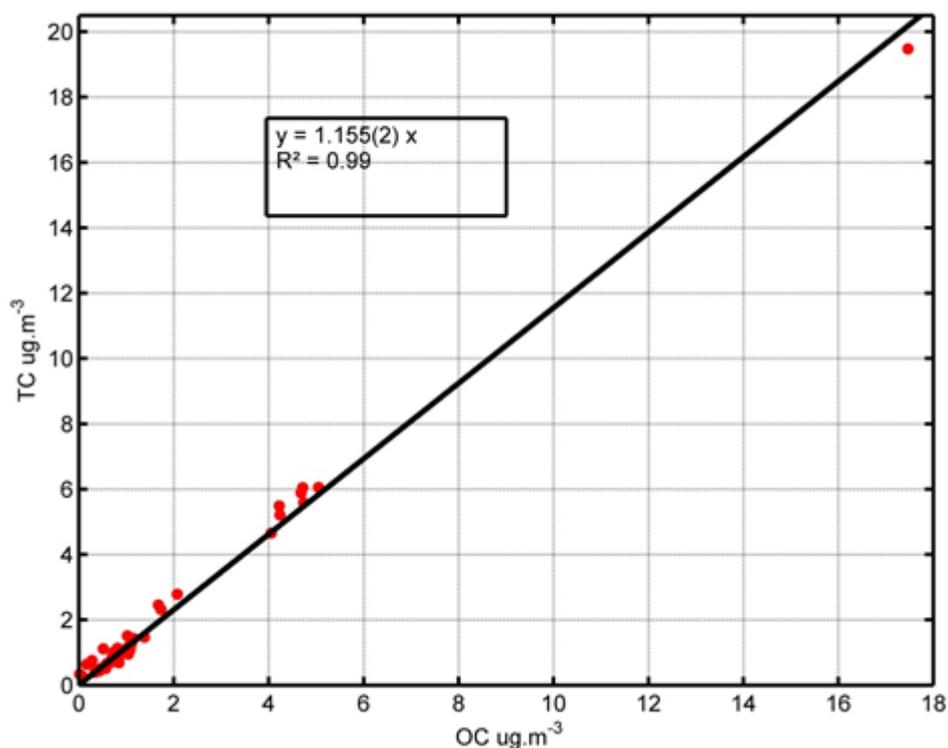


Figura 31. Relação das concentrações atmosféricas de carbono orgânico (OC) e carbono total (TC), em unidade de $\mu\text{g.m}^{-3}$, para a base de Pesquisas Avançadas no Mato-grossense no período de abril de 2012 a agosto de 2013.

O carbono total (TC) é definido como a soma do OC e EC, sendo medido por técnicas termal ou termal-óptico. Esse termo descreve a massa de todo material

carbonáceo presente em partículas atmosféricas e pela relação da regressão observa-se a forte relação com o OC pela composição.

Para a relação OC com TC em relação na Figura 30 observa-se a correlação de 0,99 e enquanto para o trabalho de Arana (2014) a correlação de $R^2 = 0,91$ para o experimento EUSAAR_2 no sítio experimental de Porto Velho/RO.

Para Arana (2014), a razão OC/TC para amostras da Rebio Cuieiras foi de $1,02 \pm 0,01$ no período seco e $1,03 \pm 0,02$ no período chuvoso. Para as amostras de Porto Velho foram obtidos resultados muito semelhantes, $1,01 \pm 0,03$ e $1,003 \pm 0,005$ para os períodos seco e chuvoso, respectivamente. Esses valores mostram que os resultados de determinação de OC medidos no laboratório da Bélgica são muito similares aos resultados encontrados no IFUSP.

De acordo com a Tabela 2 são apresentadas as concentrações médias e o desvio padrão para OC, EC, TC, EC/TC, EC/OC, EC1, EC2, EC3 e EC4. Para dos Santos et al. (2016), os sites da Universidade, Park e Street Canyon eram $1,57 \pm 0,69$, $1,88 \pm 0,68$, $1,89 \pm 0,56$ e $0,56 \pm 0,13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente para a relação de OC/EC. O valor significativamente menor OC: a relação EC observada no site do Street Canyon é uma clara indicação do forte impacto do veículo pesado emissões de carbono elementar e pode-se comparar com o site Pantanal que a relação EC/OC foi de $0,60 \pm 2,62 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabela 2. Concentrações médias e desvios-padrão para carbono orgânico, carbono elementar e suas frações.

Site Pantanal	
N	49
OC	$1,63 \pm 2,64$
EC	$0,35 \pm 0,45$
TC	$1,97 \pm 3,01$
EC/TC	$0,20 \pm 0,28$
EC/OC	$0,60 \pm 2,62$
EC1	$0,49 \pm 0,85$
EC2	$0,25 \pm 0,46$
EC3	$0,03 \pm 0,05$
EC4	$0,03 \pm 0,05$

Estudos realizados no túnel do SPMA (BRITO et al., 2013), relataram valores de OC/EC de 1,5 para veículos ligeiros e perto de 0,5 para veículos pesados e apesar da forte contribuição da EC nesse site, as medidas do túnel impacta a diluição atmosférica que podem ter papel significativo em outras espécies. As relações OC/EC observadas nos sites da Street Canyon, do parque e da universidade que variam de 1,6 a 1,9 podem ser atribuído a fontes comparáveis de aerossóis carbonáceos, com impactos importantes dos veículos ligeiros (embora diferem em concentração absoluta), combinada em certa medida ao secundário formação de aerossóis orgânicos.

Para Brito et al. (2013), a relação média OC/EC para amostras coletadas no túnel Jânio Quadros (JQ) foi de $1,59 \pm 0,09$. As medidas anteriores do túnel para citar as LDV (frota ligeiramente circulante) alimentadas à gasolina relataram uma relação OC/EC na matéria de partículas finas de 2,4 (LANDIS et al., 2007), uma proporção de 50% maior do que a observada no túnel JQ. Além disso, a relação OC/EC obtida no túnel JQ se aproxima do limite inferior dos valores da literatura para LDVs (relação OC: EC > 1), incluindo uma ampla gama de combustíveis (gasolina e diesel com diferentes graus de teor de enxofre) e aerossol cortes de tamanho (2,5 μm e 10 μm).

Para o Pantanal observou-se para a relação de OC e EC valores de 1,63 e 0,35 $\mu\text{g.m}^{-3}$. A variação de EC1 para o site Pantanal foi de 0,49 $\mu\text{g.m}^{-3}$, entretanto para o site da Universidade no trabalho de dos Santos et al. (2016) variou de 0,41 para 0,51 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Downtown).

A variação de EC2 foi de 0,25 para o Pantanal, não sendo tão significativa comparado ao trabalho de dos Santos et al. (2016) que apresentou uma variabilidade mais significativa entre os sites com valores de 0,96, 0,76, 0,61 e 0,56 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Street Canyon, Downtown, Parque e Universidade respectivamente).

Os valores de EC3 foram maiores nos locais diretos de veículos, Downtown (1,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$), Street Canyon (2,84 $\mu\text{g.m}^{-3}$), Parque (0,92 $\mu\text{g.m}^{-3}$) e Universidade (0,99 $\mu\text{g.m}^{-3}$) contudo para o Pantanal apresentou valores bem baixos de 0,03 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e comparado ao trabalho de dos Santos et al. (2016) que o EC3 é resultado que pode estar fortemente associada à emissão de veículos pesados e conforme estudos

anteriores (WATSON et al., 1994; CAO et al., 2006) mostraram que a fração EC que é mais abundante no escape de veículos sendo que no Pantanal as fontes encontradas são de emissão biogênica, ressuspensão do solo e queima da biomassa (SANTOS, 2014) e características para a pesquisa de serem fortemente características de emissão biogênica.

Para a fração de EC4 apresentou comportamento bastante diferente para cada site, nos locais da Downtown e da Universidade, os níveis de EC4 foram comparável a EC1. No site do Street Canyon, a EC4 foi a segunda fração de carbono elementar mais abundante com uma concentração de $2,08 \mu\text{g.m}^{-3}$ em contraste com a concentração do Parque de EC4 que foi de $0,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ representando a menor fração de EC (dos SANTOS et al., 2016). Para o Pantanal a concentração de EC4 foi de $0,03 \mu\text{g.m}^{-3}$ assim como da EC3 que apresentou a mesma concentração.

4.6 TRANSPORTE A LONGA DISTÂNCIA

Os processos de remoção sofrem interferência direta na caracterização climática local, uma vez que a caracterização dos períodos secos e chuvosos que podem se relacionar com as concentrações nas amostras do material particulado. Ao se referir ao Pantanal que apresenta dois períodos bem definidos, uma seca e outra chuvosa sendo importante conhecer quais os sistemas que interagem fornecendo tais características segundo a Figura 32 em que se se avaliará as trajetórias calculadas para o Pantanal mato-grossense nos dias de picos intensos devido ao período de queimadas na região (04 e 09 de setembro de 2012).

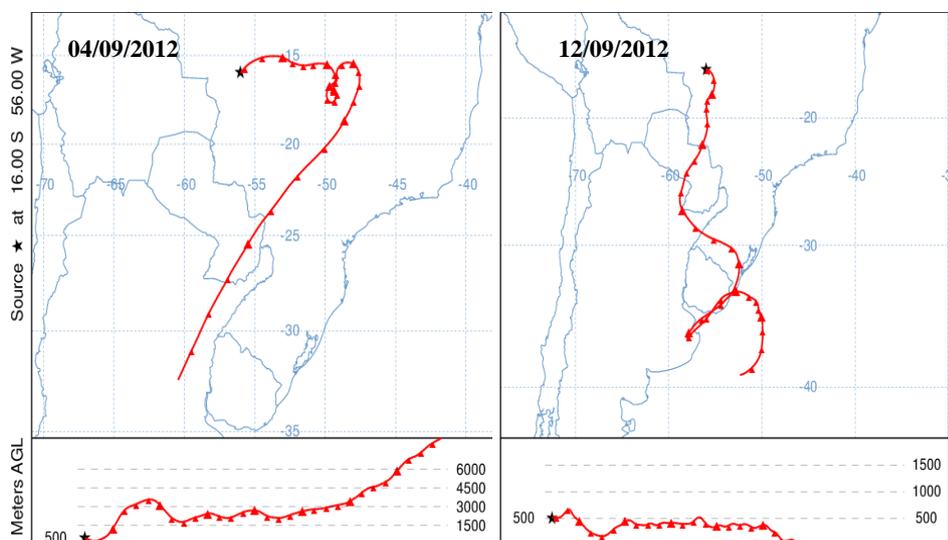


Figura 32. Trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense nos dias de pico intenso de aerossóis (04 e 12 de setembro de 2012) sendo feitas integrações para o cálculo de cada trajetória foi de 24 horas.

O vento passa pelo Pantanal, Paraguai e tem influência grande pelas frentes frias. O vento vindo do Sul com umidade menor aumentará a emissão de material particulado como se percebe no pico de OC/EC, de *black carbon* nos dias 04 e 12 de setembro de 2012 o que se observa na trajetória na Figura 32 e com isso há um aumento nas fontes de queimadas, ressuspensão do solo como se observa na caracterização elementar os elementos traços presentes no período seco.

Para Marengo et al. (2009), pode apresentar atuação intensificada quando frentes frias avançam na direção norte durante o verão até sua posição climatológica. Outro fator importante é a ocorrência de jatos de baixos níveis (JBN) que são correntes de vento com velocidades máximo próximo a 2 km de altitude a leste da cordilheira dos Andes, cuja direção canaliza os ventos e colabora no transporte de umidade da Amazônia para o Sul e Sudeste. Essas características indicam aspectos de instabilidade atmosférica, com turbulência vertical e mistura de ar, favorecendo a

dispersão dos poluentes e observam-se essas massas frias na região de estudo do Pantanal com dias “frios”, mas com forte presença de queimadas.

Para Cavalcanti e Kousky (2009), esse sistema se forma em altas latitudes que são resultantes da área de contato entre duas massas de ar com características diferentes que gera uma superfície de descontinuidade, seja anemométrica, barométrica, térmica, entre outras.

Durante o período seco e em relação às características físicas dos sistemas que estão atuando se constituem de um período de estabilidade atmosférica que apresenta pouca turbulência vertical e inversões térmicas constantes, fatores esses que dificultam a mistura do ar e a dispersão dos poluentes, porém observa-se bem característica para o Pantanal, as fontes de emissões de queimadas, biogênicas e ressuspensão do solo com a moda fina dos aerossóis.

Houve aumento dos focos de queimadas nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste, em comparação com agosto passado do ano passado. Observou-se, também, um acréscimo de 22% nos focos de calor em relação ao mesmo período de 2011 e observam-se os picos de *black carbon* acentuados no mês de setembro conforme a Figura 25 e observa-se o transporte a longa distância na Figura 32.

Apesar da deficiência pluviométrica, principalmente durante a primeira quinzena de setembro, a atuação do quarto e sexto sistemas frontais contribuíram para os acumulados de chuva na Região Centro-Oeste. Ainda assim, as anomalias positivas de precipitação ocorreram de forma isolada no leste e centro do Mato Grosso do Sul, sul de Goiás e norte do Mato Grosso, segundo dados do INMET.

Cerca de 62.100 focos de queimadas foram detectados nas imagens do satélite AQUA_MT, atual satélite de referência para comparações temporais, durante o mês de setembro.

Este valor correspondeu a um aumento de 35% em relação a agosto do ano passado, seguindo a tendência de maior uso de fogo na vegetação à medida que a estiagem se mantém na parte central do País e na Região Nordeste. Houve, também, um acréscimo de 22% nos focos de calor em relação ao mesmo período de 2011, consistente com as anomalias negativas de precipitação e positivas de

temperatura máxima e observam-se devido aos picos representados na Figura 32, os dias mais afetados por queimadas que foram dia 04 e 12 de setembro de 2012.

5. CONCLUSÃO

Através das amostragens pelos filtros, medidas com os equipamentos Aetalômetro e MAAP foi possível analisar os dados e relacionar com as principais fontes de material particulado na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense que são biogênica, queima da biomassa e ressuspensão do solo.

Com relação aos cálculos realizados para o expoente de Angstrom de absorção em relação aos coeficientes de absorção foram corrigidos para os efeitos de espalhamento múltiplo e os dados trabalhados para o Aetalômetro foram dos meses de abril a junho de 2013, foram utilizados os comprimentos de onda de 470 e 880 nm em que apresentou mínimo de 15 Mm^{-1} e máximo de 30 Mm^{-1} nos dias mais afetados por emissões de queimadas no período seco, porém tem influência do final do período chuvoso quando a atmosfera apresenta baixas concentrações de aerossol de queimadas e é dominada por aerossóis biogênicos ficando mais sensíveis às perturbações externas e pode-se comparar com a fonte biogênica. O expoente de Angstrom apresentou valores maiores que 1,5 que têm sido utilizados para caracterizar o aerossol que tem uma maior absorção em comprimentos de onda mais curtos, como a poeira mineral e o carbono orgânico. Os valores menores que 1,5 caracterizam uma grande influência do carbono elementar e pode levar a misturas mais complexas.

Com relação às maiores concentrações de *black carbon* fino e grosso foram de 1,7 e 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período seco e chuvoso na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense para as amostras medidas pelos filtros. Para o equipamento MAAP, apresenta uma maior concentração de *black carbon* na moda fina no período das queimadas nos dias de 04 e 09 de setembro de 2012 e pode-se comparar com as trajetórias pelo modelo Hysplit e, observa-se uma redução na concentração de *black carbon* na moda grossa devido ao período chuvoso, que mede em tempo real as concentrações de *black carbon*.

Assim, pode-se avaliar a origem das trajetórias calculadas com o programa Hysplit para a base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense nos dias de pico intenso do material particulado, em que o vento vindo do Sul com umidade

menor aumentará a emissão de aerossóis como observado nos dias 04 e 09 de setembro de 2012, pico intenso para a relação entre carbono orgânico/carbono elementar. Há um aumento nas queimadas, outras fontes relacionadas na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense como ressuspensão do solo, biogênica como observado na caracterização elementar presentes no período seco.

Com relação à concentração média de OC medida na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense foi $1,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ no período seco e de $1,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ no período chuvoso. São concentrações relativamente baixas para o carbono orgânico mesmo durante o período seco em que se verifica certa influência de queimadas. A sazonalidade de carbono orgânico e carbono elementar tem um impacto maior de queimadas no ano de 2012 com maiores concentrações de carbono orgânico e carbono elementar nesse período do mesmo modo como foi observado nas análises dos filtros. As concentrações médias para carbono elementar foram de $0,35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período seco e $0,32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para o período chuvoso cerca de 6 vezes menores que o carbono orgânico no período seco e 4 vezes menores que o carbono orgânico no período chuvoso.

Com relação à concentração do material particulado e comparações com outros biomas, o Pantanal apresenta valores próximos e dentro dos parâmetros permitidos pela legislação não impactando o bioma com altas concentrações de aerossóis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. CITADAS

ALLAN, J. D.; MORGAN, W.T.; DARBYSHIRE, E.; FLYNN, M.J.; WILLIAMS, P.I.; ORAM, D.E.; ARTAXO, P.; BRITO, J.; LEE, J.D.; COE, H. Airborne observations of IEPOX-derived isoprene SOA in the Amazon during SAMBBA. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n.12, v.14, p. 11393 – 11407, 2014.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 6, v. 22, p. 711 – 728, 2013.

ALVES, L.M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: Cavalcanti, I.F.A. et al. (orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 235 – 242, 2009.

ANDREAE, M.O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, n. 4, v. 15, p. 955 – 966, 2001.

ANDREAE, M.O.; ARTAXO,P.; BRANDÃO, C.; CARSWELL, F.E.; CICCIOIOLI, P.; DA COSTA, A.L.; CULF, A.D.; ESTEVES, J.L.; GASH, J.H.C.; GRACE, J.; KABAT, P.; LELIEVELD, J.; MALHI, Y.; MANZI, A.O.; MEIXNER, F.X.; NOBRE, A.D.; NOBRE,C.; RUIVO, M.d.L.; SILVA-DIAS, M.A.; STEFANI,P.; VALENTINI, R.; von JOUANNE, J.; WATERLOO, M.J. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA – EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research**, n. D20, v. 107, p. 8066, 2002.

ANDREAE, M. O., D. ROSENFELD, P. ARTAXO, A. A. COSTA, G. P. FRANK, K. M. LONGO, AND M. A. F. SILVA-DIAS: Smoking Rain Clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p. 1337-1342, 2004.

ANDREAE, M.O.; GELENCSEÉR, A. Black carbon or brown carbon? The nature of light-absorbing carbonaceous aerosols. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, n.3, v. 6, p. 3131 – 3148, 2006.

ANDREAE, M. O; ROSENFELD, D. Aerossol-cloud-precipitation interactions. Parte 1. The nature and sources of cloud-active aerossol. **Earth – Science Reviews**, n. 1 - 2 ,v. 89, , p. 13 – 41, 2008.

APOENA. Pantanal (Almanaque Brasil Socioambiental – ISA/2008). Disponível em: <<http://www.apoena.org.br/biomas-detalle.php?cod=219>>. Acesso em: 06 junho 2017.

ARANA, A. Aerossóis atmosféricos na Amazônia: composição orgânica e inorgânica em regiões de diferentes usos do solo, 2014. 153 p. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – INPA -Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas.

ARNOTT, W. P.; HAMASHA, K.; MOOSMÜLLER, H.; SHERIDAN, P. J.; OGREN, J. A. Towards aerosol light-absorption measurements with a 7-wavelength aethalometer: Evaluation with a photoacoustic instrument and 3-wavelength nephelometer. **Aerosol Science Technology**, v. 39, p. 17–29, 2005.

ARTAXO, P.; MAENHAUT, W.; STORMS, H.; van GRIEKEN, R. Aerosol characteristics and source for the Amazon Basin during the wet season. **Journal of Geophysical Research-Atmosphere**, n. D10, v. 95, p. 16971-16985, 1990.

ARTAXO, P.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; JIMÉNEZ, F.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. **Atmospheric Environment**, v.34, p. 4085-4096, 2000.

ARTAXO, P.; ANDREAE, M.O.; GUENTHER, A.; ROSENFELD, D. Unveiling the lively interactions between the biosphere and the Amazonian atmosphere. **Atmospheric Chemistry**, v. 45, p. 12 - 15, 2001.

ARTAXO, PAULO. Aerosol sampling and analysis, in: Environmental Monitoring Handbook, edited by Alex Guenther. McGraw-Hill, New York, USA, ISBN: 0-07-135176-0, 2002.

ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; PAIXÃO, M.; LUCCA, S. de.; OLIVEIRA, P.H.; LARA, L.L.; WIEDEMANN, K.R.; ANDREAE, M.O.; HOLBEN, B.; SCHAFFER, J.; CORREIA, A.L.; PAULIQUEVIS, T.M. Partículas de aerossóis

na Amazônia: Composição, papel do balanço de radiação, formação de nuvem e ciclos de nutrientes. **Amazonia and Global Change**, p. 233 – 250, 2009.

BAHADUR, R.; PRAVEEN, P. S.; Xu, Y.; RAMANATHAN, V. Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations, **Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America**, n.43, v.109, p. 17366–17371, 2012.

Baía das Pedras (Localização). <http://www.baiadaspedras.com.br/a-fazenda>. Acesso: 27 de junho de 2017.

BARBOSA, A. M. Caracterização elementar sazonal do PM10 e a influência das condições meteorológicas em Cuiabá – MT, 2007.104 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

BEGUM, B.A.; BISWAS, S.K.; MARKWITZ, A.; HOPKE, K. P. Identification of Sources of Fine and Coarse Particulate Matter in Dhaka, Bangladesh. **Aerosol and air Quality Research**, v.10, p. 345-353, 2010.

BOND, T.C.; BERGSTROM, R.W. Light absorption by carbonaceous particles: an investigative review. **Aerosol Science and Technology**, n.1, v. 40, p. 27 -67, 2006.

BOND, T.C.; DOHERTY, S.J.; FAHEY, D.W.; FORSTER, P.M.; BERNTSEN, T.; DEANGELO, B.J.; FLANNER, M.G.; GHAN, S.; KÄRCHER, B.; KOCH, D.; KINNE, S.; KONDO, Y.; QUINN, P.K.; SAROFIM, M.C.; SCHULTZ, M.; VENKATARAMAN, C.; ZHANG, H.; ZHANG, S.; BELLOUIN, N.; GUTTIKUNDA, S.K.; HOPKE, P.K.; JACOBSON, M.Z.; KAISER, J.W.; KLIMONT, Z.; LOHMANN, U.; SCHWARZ, J.P.; SHINDELL, D.; STORELVMO, T.; WARREN, S.G.; ZENDER, C.S. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, n.11, v. 118, p. 5380 – 5552, 2013.

BOUCHER, O.; RANDALL, D.; ARTAXO, P.; BRETHERTON, C.; FEINGOLD, G.; FORSTER, P.; KERMINEN, V.-M.; KONDO, Y.; LIAO, H.; LOHMANN, U.; RASCH, P.; SATHEESH, S.K.; SHERWOOD, S.; STEVENS,

B.; ZHANG,X-YE. Clouds and Aerosols. Supplementary Material. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC (2015). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>.

BRITO, J.; RIZZO, L. V.; HERCKES, P.; VASCONCELLOS, P. C.; CAUMO, S. E. S.; FORNARO, A.; YNOUE, R. Y.; ARTAXO, P.; ANDRADE, M. F. Physical – chemical characterisation of the particulate matter inside two road tunnels in the São Paulo Metropolitan area. **Atmospheric Chemistry Physical**, v.13, p. 12199 – 12213, 2013.

CAO, J. J.; LEE, S. C.; HO, K. F.; FUNG, K.; CHOW, J. C.; WATSON, J. G.; Characterization of roadside fine particulate carbon and its eight fractions in Hong Kong. **Aerosol Air Quality Research** , v. 6, p. 106 – 122.

CASTANHO. A. D. A. A determinação quantitativa de fontes de particulado na atmosfera da cidade de São Paulo. 1999, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOLSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A. et al. (orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 136 – 147, 2009.

CASTELNOU, M.N.; FLORIANI, D.; VARGAS, I. A.; DIAS, J.B. Sustentabilidade socioambiental e diálogo de saberes: o Pantanal Mato-grossense e seu espaço vernáculo como referência. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.7, p. 41 – 67, 2003.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de convergência do Atlântico Sul. In: Cavalcanti, I. F. A. et al. (orgs). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos. p. 96 – 109, 2009.

CHARLSON, R.J.; SCHWARTZ, S.E.; HALES, J.M.; CESS, R.D.; COAKLEY, Jr. J.A.; HANSEN, J.E.; HOFMANN, D.J. Climate forcing by anthropogenic aerosols. **Science**, New Series, v. 255, (January 24), p. 423 – 430, 1992.

CHOW, J.C.; WATSON, J.G.; PRITCHETT, L. C.; PIERSON, W.R.; FRAZIER, C.A.; PURCELL, R.G. The direct thermal/optical reflectance carbon analysis system: description, evaluation and applications in U.S. Air quality studies. **Atmospheric Environment Part A. General Topics**, n.8, v. 27, p. 1185 – 1201, 1993.

CHOW, J. C.; WATSON, J.G.; CHEN, L. W.A.; ARNOTT, W.P.; MOOSMÜLLER.H.; FUNG, K. Equivalence of elemental carbon by Thermal/optical reflectance and transmittance with different temperature protocols. **Environmental Science & Technology**, n.16, v.38, p. 4414 – 4422, 2004.

COLLAUD COEN, M.; WEINGARTNER, E.; SCHAUB, D.; HUEGLIN, C.; CORRIGAN, C.; HENNING, S.; SCWIKOWSKI, M.; BALTENSBERGER, U. Sharan dust events at the Jungfrauoch: detection by wavelength dependence of the single scattering albedo and first climatology analysis. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n. 11/12, v.4, p. 2465 – 2480, 2004.

CHUNG, C. E.; RAMANATHAN, V.; DECREMER, D. Observationally constrained estimates of carbonaceous aerosol radiative forcing, **P. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 109, p. 11624–11629, 2012.

DA CUNHA, C.N., JUNK, W.J. The impact of Flooding on Distribution of woody plants communities along in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Int. J. Ecol. Environ. Sci.**, v.27, n.525, p.63-70, 2000.

DA CUNHA, C.N.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Appl. Veg. Sci.** , v.7, p.103-110, 2004.

DALMAGRO, H.J. **Capacidade Fotossintética de duas espécies invasoras do Pantanal e do Cerrado**, 2012. 77 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental)- Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SEMIR, J.; SANTOS, F. A. M.; LEITÃO FILHO, H. F. Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil. **Flora** **200**, v. 2, p. 119-135, 2005.

DA SILVA, C.J.; Wantzen, K.M.; NUNES DA CUNHA, C.; Machado, F.A. Biodiversity in the Pantanal wetland, Brazil, p. 187-215. In: Gopal, B.;

DESPRÉS, V.R.; HUFFMAN, J. A.; BURROWS, S.M.; HOOSE, C.; SAFATOV, A.S.; BURYAK, G.; FRÖHLICH-NOWOISKY, J.; ELBERT, W.; ANDREAE, A.O.; PÖSCHL, U.; JAENICKE, R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. **Tellus**, n.0, v. 64, p. 1 – 58, 2012.

dos SANTOS, D. A.; BRITO, J. F.; GODOY, J. M.; ARTAXO, P. Ambient concentrations and insights on organic and elemental carbon dynamics in São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 144, p. 226 – 233, 2016.

DRAXLER, R.R.; ROLPH, G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory; Silver Spring; MD, 2003.

DRINOVEC, L.; MOCNIK, G.; ZOTTER, P.; PRÉVOT, A.S.H.; RUCKSTUHL, C.; COZ, E.; RUPAKHETI, M.; SCIARE, J.; MÜLLER, T.; WIEDENSOHLER, A.; HANSEN, A.D.A. The “dual-spot” Aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation. **Atmospheric Measurement Techniques**, n.5, v.8, p. 1965 – 1979, 2015.

ECHALAR, F.; ARTAXO, P.; MARTINS, J. V.; YAMASOE, M.; GERAB, F. MAENHAUT, W.; HOLBEN, B. Long-term monitoring of atmospheric aerosols in the Amazon Basin: Source identification and apportionment. **Journal of Geophysical Research**, n. D24, vol. 103, p. 31.849-31.864, 1998.

ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; REID, J. S.; O’NEILL, N. T.; SCHAFER, J.; DUBOVIK, O.; SMIRNOV, A.; YAMASOE, M.A.; ARTAXO, P.; High aerosol optical depth biomass burning events: a comparison of optical properties for different source regions. **Geophysical Research Letters**, n.20, v.30, p. 2035-2048, 2004.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; CASTRO, N.M.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S.K. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. **Journal of Hydrology, Elsevier**, n.3, v. 399, p. 376 – 384, 2011.

FERREIRA, A. B. B. Pantanal Mato-grossense: considerações sobre a proteção constitucional para um desenvolvimento econômico sustentável. **Interações**, n.1, v. 14, p. 11 -20, 2013.

FIALHO, P.; FREITAS, M.C.; BARATA, F.; VIEIRA, B.; HANSEN, A.D.A.; HONRATH, R.E. The Aethalometer calibration and determination of iron concentration in dust aerosol. **Journal of Aerosol Science**, n.11, v. 37, p. 1497 – 1506, 2006.

FILHO, V.F.N. **Técnicas analíticas nucleares de Fluorescência de Raios-X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF)**, 1999.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; RAGA, G.; SCHULTZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. **Climate Change 2007. The Physical Science Basis**, p. 129 – 234, 2007.

FURTADO, C.M. F. Análise quantitativa das propriedades óticas de aerossol urbano e de queimadas na Amazônia, 2016. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Física. Departamento de Física Aplicada.

GARCÍA, O. E.; DÍAZ, J.P.; EXPÓSITO, F.J.; DÍAZ, A.M.; DUBOVIK, O.; DERIMIAN, Y.; DUBUISSON, P.; ROGER, J-C. Shortwave radiative forcing and efficiency of key aerosol types using AERONET data. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 12, n.11, p. 5129 – 5145, 2012.

GALLAGHER, M.W.; NEMITZ, E.; DORSEY, J.R.; FOWLER, D.; SUTTON, M.A.; FLYMM, M.; DUYZER, J. Measurements and parameterizations of small aerosol deposition velocities to grassland, arable crops, and forest: Influence of

surface roughness length on deposition. **Journal of Geophysical Research**, n. D12, v. 107, p. 549, 2002.

GARCIA, E. A. C., CASTRO, L. H. R. Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 9, p. 909-925, 1986.

GELENCSÉR, A. **Carbonaceous Aerosols**. The Netherlands: Springer, p. 350, 2004.

GILARDONI, S.; VIGNATI, E.; MARMER, E.; CAVALLI, F.; BELIS, C.; GIANELLE, V.; LOUREIRO, A.; ARTAXO, P. Sources of carbonaceous aerosol in the Amazon basin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n. 6, v. 11, p. 2747 – 2764, 2011.

GYAWALI, M.; ARNOTT, W. P.; LEWIS, K.; MOOSMÜLLER, H. In situ aerosol optics in Reno, NV, USA during and after the summer 2008 California wildfires and the influence of absorbing and non-absorbing organic coatings on spectral light absorption. **Atmospheric Chemistry Physical**, v. 9, p – 8007 – 8015, 2009.

HANSEN, J. Desarmando a bomba-relógio do aquecimento global. **Scientific American**, ano 2, n.23, p. 30 -39, 2004.

HEALD, C. L.; KROLL, J.H.; JIMENEZ, J.L.; DOCHERTY, K.S.; DECARLO, P.F.; AIKEN, A.C.; CHEN, Q.; MARTIN, S.T.; FARMER, D.K.; ARTAXO,P. A simplified description of the evolution of organic aerosol composition in the atmosphere. **Geophysical Research Letters**, n.8, v.37, L08803, p. 1 - 5, 2010.

HINDS, W.C. **Aerosol Technology: properties, behavior and measurement of airborne particles**, John Wiley & Sons, 1999.

HOLANDA, B. A. Absorção da radiação por aerossóis na Amazônia, 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Instituto de Física. Departamento de Física Aplicada.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basics**, 2013.

JOHN, W.; HERING, S. REISCHL, G.; SASAKI, G. Characteristics of Nucleopore filters with large pore size, II, Filtration properties. **Atmospheric Environment**, v. 17, p. 373-382, 1983.

JUNK, W. J.; DA SILVA C. J.. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal Mato Grossense, p. 17 – 28. In: Anais do II Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio – econômicos do Pantanal – Manejo e Conservação. Corumbá, EMPRAPA Pantanal, p. 535, 1999.

JUNK, W.J.; Davis, J.A. (Eds). **Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation**. Leiden, Backhuys Publ., v. 2, p.317, 2001.

JUNK, W.J.; NUNES DA CUNHA, C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, n.4, v. 24, p. 391 – 401, 2005.

JUNK, W. J.; BROWN, M.; CAMPBELL, I.C.; FINLAYSON, M.; GOPAL, B.; RAMBERG, L.; WARNER, B.G.; The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: A synthesis. **Aquatic Sciences**, n.3, v. 68, p. 400 – 414, 2006.

JUNK, W.; PIEDADE, M.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L.; BOZELLI, R.; ESTEVES, F.; CUNHA, C. Nunes da; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A.A.. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, n.1, v. 24, p. 5–22, 2014.

KAUFMAN, Y.J.; KOREN, I.; REMER, L.A.; ROSENFELD, D.; RUDICH, Y. The effect of smoke, dust, and pollution aerosol on shallow cloud development over the Atlantic Ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, n. 32, v. 102, p. 11207 -11212, 2005.

KIEHL, J.T.; TRENBERTH, K.E. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. **Bulletin of the American Meteorological Society**, n.2, v. 78, p. 197 – 208, 1997.

KIRCHSTETTER, THOMAS W.; NOVAKOV, T. Evidence that the spectral dependence of light absorption by aerosols is affected by organic carbon. **Journal of Geophysical Research**. n. D21, v. 109, p. D21208, 2004.

KIRK, G. The Biogeochemistry of submerged soils. **Chichester: John Wiley e Sons**, 304 p., 2004.

KULMALA, M.; KONTKANEN, J.; JUNNINEN, H.; LETHTIPALO, K.; MANNINEN, H. E.; NIEMINEN, T.; PETÄJÄ, T.; SIPILÄ, M.; SCHOBESBERGER, S.; RANTALA, P.; FRANCHIN, A.; JOKINEN, T.; JÄRVINEN, E.; ÄIJÄLÄ, M.; KANGASLUOMA, J.; HAKALA, J.; AALTO, P. P.; PAASONEN, P.; MIKKILÄ, J.; VANHANEN, J.; AALTO, J.; HAKOLA, H.; MAKKONEN, U.; RUUSKANEN, T.; MAULDIN, R. L.; DUPLISSY, J.; VEHKAMÄKI, H.; BÄCK, J.; KORTELAINEN, A.; RIIPINEN, I.; KURTÉN, T.; JOHNSTON, M. V.; SMITH, J. N.; EHN, M.; MENTEL, T. F.; LEHTINEN, K. E. J.; LAAKSONEN, A.; KERMINEN, V-M; WORSNOP, D. R. Direct observations of atmospheric aerosol nucleation. **Science**, v. 339, p. 943-946, 2013.

LAAKSO, L.; GRÖNHOLM, T.; RANNIK, Ü.; KOSMALE, M.; FIEDLER, V.; VEHKAMÄKI, H.; KULMALA, M. Ultrafine particle scavenging coefficients calculated from 6 years field measurements. **Atmospheric Environment**, n.25, v. 37, p. 3605 – 3613, 2003.

LACK, D. A.; LANGRIDGE, J.M. On the attribution of black and brown carbon light absorption using the Angström exponent. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.13, p. 10535 – 10543, 2013.

LANDIS, M. S.; LEWIS, C. W.; STEVENS, R. K.; KEELER, G. J.; DVONCH, J. T.; TREMBLAY, R. T. Ft. McHenry tunnel study: Source profiles and mercury emissions from diesel and gasoline powered vehicles. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 8711 – 8724, 2007.

LI, J.; LIU, C.; YIN, Y.; KUMAR, K.R. Numerical investigation on the Ångström exponent of black carbon aerosol. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. v. 121, p. 3506 – 3518, 2016.

LIU, C.; SMITH, M.H. Urban and Rural aerosol particle optical properties. **Atmospheric Environment**, n.22, v. 29, p. 3293 – 3301, 1995.

LIU, J.; SCHEUER, E.; DIBB, J.; DISKIN, G. S.; ZIEMBA, L. D.; THORNHILL, K. L.; ANDERSON, B. E.; WISTHALER, A.; MIKOVINY, T.; DEVI, J.J.; BERGIN, M.; PERRING, A. E.; MARKOVIC, M. Z.; SCHWARZ, J. P.; CAMPUZANO-JOST, P.; DAY, D. A.; JIMENEZ, J. L.; WEBER, R. J. Brown carbon aerosol in the North American continental tropo-sphere: sources, abundance, and radiative forcing. **Atmospheric Chemistry Physical**, v.15, p.7841–7858, , 2015.

LOUREIRO, A.L.; RIBEIRO, A. R.; ARTAXO, P. Assesment of accuracy in aerosol sampling and elemental analysis, 4 th, International Aerosol Conference, Los Angeles, Califórnia, 1994.

MAENHAUT, W.; FERNÁNDES-JIMÉNEZ, M.F.; RAJTA,I.; ARTAXO, P. Two-year study of atmospheric aerosol in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment. **Nuclear Instruments and Methods B**. v. 189, p.23-249, 2002.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT**. 1994. 204 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jato de baixos níveis ao longo dos Andes. In: Cavalcanti, I. F. A. et al (orgs). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 169 – 180, 2009.

MASSABO, D.; CAPONI, L.; BERNARDONI, V.; BOVE, M. C.; BROTTTO, P.; CALZOLAI, G.; CASSOLA, F.; CHIARI, M.; FEDI, M. E.; FERMO, P.; GIANNONI, M.; LUCARELLI, F.; NAVA, S.; PIAZZALUNGA, A.; VALLI, G.; VECCHI, R.; PRATI, P. Multi-wavelength optical determination of *black carbon* and brown carbon in atmospheric aerosol. **Atmospheric Environment**, v. 108, p. 1 -12, 2015.

MORAES, A. S. **“EMBRAPA PANTANAL: 25 anos de pesquisas em prol da conservação do Pantanal. “Corumbá – MS”**. In: III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal. Os Desafios do Novo Milênio, 55 p., 27 à 30 de novembro, 2000.

MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T.N.N. Mato Grosso: solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.

MOOSMÜLLER, H.; CHAKRABARTY, R. K.; EHLERS, K. M.; ARNOTT, W. P. Absorption Ångström coefficient, brown carbon, and aerosols: basic concepts, bulk matter, and spherical particles. **Atmospheric Chemistry Physical**, v. 11, p. 1217 – 1225, 2011a.

MÜLLER. T.; HENZING. J.S.; DE LEEUW. G.; WIEDENSOHLER. A.; ALASTUEY. A.; ANGELOV. H.; BIZJAK. M.; COLLAUD COEN. M.; ENGSTRÖM. J.E.; GRUENING. C.; HILLAMO. R.; HOFFER. A.; IMRE. K.; IVANOW. P.; JENNINGS. G.; SUN. J.Y.; KALIVITIS. N.; KARLSSON. H.; KOMPPULA. M.; LAJ. P.; LI. S.-M.; LUNDER. C.; MARINONI. A.; DOS SANTOS. S.; MOERMAN. M.; NOWAK. A.; OGREN. J.A.; PETZOLD. A.; PICHON. J.M.; RODRIQUEZ. S.; SHARMA. S.; SHERIDAN. P.J.; TEINILÄ. K.; TUCH. T.; VIANA. M.; VIRKKULA. A.; WEINGARTNER. E.; WILHELM. R.; WANG. Y.Q. Characterization and intercomparison of aerosol absorption photometers: result of two intercomparison workshops. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 4, p. 245 - 268, 2011.

MYRHE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F-M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J-F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. Anthropogenic and natural radiative forcing. **Climate change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, p. 659 – 740, 2013.

NUNES DA CUNHA, C., JUNK, W. J., “Year-to-year Changes in Water Level Drive the Invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal Grasslands”. *Applied Vegetation Science*, v. 7, p. 103-110, 2004.

OLSON, M. R.; VICTORIA GARCIA, M.; ROBINSON, M. A.; VAN ROOY, P.; DIETENBERGER, M. A.; BERGIN, M.; SCHAUER, J. J. Investigation of black and brown carbon multiple wavelength-dependent light absorption from biomass and fossil fuel combustion source emissions, **Journal Geophysical Research Atmospheric**, v. 120, p. 6682–6697, 2015.

PANDIS, S.N.; HARLEY, R.A.; CASS, G.R.; SEINFELD, J.H. Secondary organic aerosol formation and transport. **Atmospheric Environment, Part A. General Topics**, n.13, v.26, p. 2269 – 2282, 1992.

PARKER, R.; BUZZARD, G.H.; DZUBAY, T.G.; BELL, J.P. A two stage respirable aerosol sampler using Nucleopore filters in series. **Atmospheric Environment**, v. 11, p. 617 - 621, 1977.

PAZ, A. R.d.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.; PADOVANI, C.R.; Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological processes**, Wiley Online Library, n.9, v. 25, p. 1498 – 1516, 2011.

PEREIRA, F. M. V.; PEREIRA-FILHO, E. R.; BUENO, M. I. M. S. Development of a Methodology for Calcium, Iron, Potassium, Magnesium, Manganese, and Zinc Quantification in Teas Using X-ray Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 16, v. 54, p. 7, 2006.

PERRING, L.; ANDREY, D. ED-XRF as a Tool for Rapid Minerals Control in Milk- Based Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 5, 2003.

PETZOLD, A.; SCHLOESSER, H.; SHERIDAN, P.J.; ARNOTT, P.W.; OGREN, J.A.; VIRKKULA, A. Evaluation of multiangle absorption photometry for measuring aerosol light absorption. **Aerosol Science and Technology**. n.1, v. 39, p. 40 -51, 2005.

PETZOLD, A.; SCHÖNLINNER, M. Multi-angle absorption photometry – a new method for the measurement of aerosol light absorption and atmospheric black carbon. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n. 16, v.13, p. 8365 – 8379, 2013.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual Variation of Rainfall over Brazil and Water Vapor Characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, n.D21, v.101, p. 26539-26551, 1996.

RICHARDSON, J. L.; ARNDT, J. L.; MONTGOMERY, J. A. Hydrology of Wetland and Related Soils. In: (Eds.) RICHARDSON, J. L.; VEPRASKAS, M.

J. **Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes and Classification**. Boca Raton: CRC Press, p. 35-84, 2001.

RIZZO, L. V. **Modelamento de propriedades físicas e químicas de aerossóis e suas interações com gases traços na Amazônia**, 2002, 240 p. Masters Thesis Instituto de Física da USP, São Paulo, São Paulo.

RIZZO, L. V. **Os fluxos turbulentos de partículas e de compostos orgânicos voláteis, e a distribuição vertical de aerossóis na baixa troposfera da Amazônia**, 2006, 226 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

RIZZO, L. V.; ARTAXO, P.; KARL, T.; GUENTHER, A. B.; GREENBERG, J. Aerosol properties, in-canopy gradients, turbulent fluxes and VOC concentrations at a pristine forest site in Amazonia. **Atmospheric Environmet**, v. 44, p. 503 – 511, 2010.

RIZZO, L. V.; CORREIA, A.L.; ARTAXO, P.; PROCÓPIO, A.S.; ANDREAE, M.O. Spectral dependence of aerosol light absorption over the Amazon Basin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n.17, v. 11, p. 8899 – 8912, 2011.

ROLPH. G.D. Real-time Environmental Applications and Display System (READY). Website (<http://www.ready.noaa.gov>). NOAA Air Resources Laboratory. College Park, MD, 2017.

RUSSELL, P. B.; BERGSTROM, R. W.; SHINOZUKA, Y.; CLARKE, A. D.; DE-CARLO, P. F.; JIMENEZ, J. L.; LIVINGSTON, J. M.; REDEMANN, J.; DUBOVIK, O.; STRAWA, A. Absorption Angstrom Exponent in AERONET and related data as an indicator of aerosol composition. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.10, p. 1155–1169, 2010.

SANDRADEWI, J.; PRÉVOT, A.S.H.; WEINGARTNER, E.; SCHIMIDHAUSER, M.; GYSEL, M.; BALTENSBERGER, U. A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer. **Atmospheric Environment**, n.1, v. 42, p. 101 – 112, 2008.

SANTANNA, F.B. Propriedades óticas do aerossol atmosférico na região Sul de Mato-Grosso – MT. 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SANTOS, A.C.A. **Caracterização de aerossóis no Pantanal Mato-grossense**, 2014. 109 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – UFMT – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

SANTOS, A.C.A.S.; FINGER, A.; NOGUEIRA, J. S.; CURADO, L.F.A.; PALÁCIOS, R. S.; PEREIRA, V.M.R. Análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato-grossense, **Química Nova**, n.8, v. 39, p. 919 – 924, 2016.

SCHAFER, J. S.; ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; ARTAXO, P.; DUARTE, A. F. Characterization of the optical properties of atmospheric aerosols in Amazonia from long-term AERONET monitoring (1993-1995 and 1999-2006). **Journal OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, V. 113, P. 1 - 16, 2008.

SCHMID, O.; ARTAXO, P.; ARNOTT, W. P.; CHAND, D.; GATTI, L. V.; FRANK, G. P.; HOFFER, A.; SCHNAITER, M.; ANDREAE, M. O. Spectral light absorption by ambient aerosols influenced by biomass burning in the Amazon Basin. I: Comparison and field calibration of absorption measurement techniques. **Atmospheric Chemistry Physical**, v. 6, p. 3443–3462, 2006.

SCHWENK, L.M.; DA SILVA, C.J. A etnobotânica da Morraria Mimoso no Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 3, 2000, Corumbá. Os desafios do novo milênio. **Anais**: Corumbá: Embrapa Pantanal, 27 p., 2001.

SCHMID, H.; LASKUS, L.; ABRAHAM, H. J.; BALTENSBERGER, U.; LAVANCHY, V.; BIZJAK, M.; BURBA, P.; CACHIER, H.; CROW, D.; CHOW, J.; GNAUK, T.; EVEN, A.; BRINK, H. M.; GIESEN, K.-P.; HITZENBERGER, R.; HUEGLIN, C.; MAENHAUT, W.; PIO, C.; CARVALHO, A.; PUTAUD, J.-P.; TOOM-SAUNTRY, D.; PUXBAUM, H. Results of the “carbon conference” international aerosol carbon round robin test stage I. **Atmospheric Environment**, n.12, v. 35, p. 2111–2121, 2001.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N.; *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2006.

SENA, E. T.; ARTAXO, P.; CORREIA, A.L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosol and the effects of land use change

in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n.3, v.13, p. 1261 – 1275, 2013.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROSANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos convectivos de mesoescala na América do Sul. In: Cavalcanti, I. F. A. et al. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos**, p. 181 – 194; 235 – 242, 2009.

SOUZA, R. L. M. Balanço de energia na camada limite superficial sobre o Pantanal sul Mato – grossense – estação seca, 2011. 121 p. Dissertação (Engenharia Civil) – COPPE – Programa de Pós – graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

SURRAT, J. D.; CHAN, A.W.H.; EDDINGSAAS, N. C.; CHAN, M.; LOZA, C.L.; KWAN, A.J.; HERSEY, S.P.; FLAGAN, R.C.; WENBERG, P.O.; SEINFELD, J. H. Reactive intermediates revealed in secondary organic aerosol formation from isoprene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, n.15, v.107, p. 6640 – 6645, 2010.

TARIFA, J.R.; **Mato Grosso: clima – análise e representação**. Cuiabá: Entrelinhas (Série Recursos Naturais e Estudos Ambientais da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN-MT), 2011.

TRENBERTH, K. E.; FASULLO, J.T.; KIEHL, J. Earth's Global Energy Budget. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 90 (3), p. 311 – 323. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008BAMS2634.1>, 2009.

TURPIN, B.J.; CARY, R.A.; HUNTZICKER, J.J. An in situ, time-resolved analyzer for aerosol organic and elemental carbon. **Aerosol Science and Technology**, n.1, v. 12, p. 161 -171, 1990.

VAN GRIEKEN, R.; MARKOWICZ, A. Handbook of X-Ray Spectrometry. (R. Van Grieken & A. A. Markowicz, Eds.) **Analytical Chemistry**, New York, USA: Marcel Dekker (Retrieved from <http://www.mendeley.com/catalog/handbook-x-ray-spectrometry/>). 2^a ed., v. 64, p. 977, 2002.

VAN MEEL, K.; HOREMNANS, B.; KRATA, A.; BENCS, L.; BUCZYNSKA, A. J.; DIRTU, A.C.; VAN GRIEKEN, R. Elemental concentrations in aerosols at the Belgian coast versus seasons and air mass trajectories. **Environmental Chemistry Letters**, n.2, v. 8, p. 157 – 163, 2009.

VOURLITIS, G.L.; LOBO, F.A.; BIUDES, M.S.; ORTÍZ, C.E.R.; NOGUEIRA, J.S. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.75, p.1553-1560, 2011.

YANG, H.; YU, J.Z. Uncertainties in charring correction in the analysis of elemental and organic carbon in atmospheric particles by thermal/optical methods. **Environmental Science & Technology**, n. 23, v. 36, p. 5199 – 5204, 2002.

YAMASOE, M. A.; ARTAXO, P.; MIGUEL, A. H.; ALLEN, A. G. Chemical composition of aerosol particles from direct emissions of vegetation fires in the Amazon Basin: water-soluble species and trace elements. **Atmospheric Environment**, v. 34, p. 1641-1653, 2000.

WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**, 2^a ed., 2006.

WANG, X.; HEALD, C.L.; SEDLACEK, A.J.; DE SÁ, S.S.; MARTIN, S.T.; ALEXANDER, M.L.; WATSON, T.B.; AIKEN, A.C.; SPRINGSTON, S.R.; ARTAXO, P. Deriving Brown Carbon from Multi-Wavelength Absorption Measurements: Method and Application to AERONET and Aethalometer Observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.16, p. 12733 -12752, 2016.

WATSON, J. G.; CHOW, J. C.; LOWENTHAL, D. H.; PRITCHETT, L. C.; FRAZIER, C. A.; NEUROTH, G. R.; ROBBINS, R. Differences in the carbon composition of source profiles for diesel – and gasoline – powered vehicles. **Atmospheric Environment**, n. 15, v. 28, p. 2493 – 2505, 1994.

WEINGARTNER. E.; SAATHOFF. H.; SCHNAITER. M.; STREIT. N.; BITNAR. B.; BALTENSBERGER. U. Absorption of light by soot particles:

determination of the absorption coefficient by means of aethalometers. **Journal of Aerosol Science**, v. 34, p. 1445-1463, 2003.

WEXLER, A.S.; LURMANN, F.W.; SEINFELD, J.H.; Modelling Urban and Regional Aerosols I. Model Development. **Atmospheric Environment**, n.3, v.23, p. 531 – 546, 1994.

WILD, M. The global energy balance from a surface perspective. **Climate Dynamics**, v. 40 n.11-12, p. 3107 – 3134, 2013.

6.2. CONSULTADAS

ARANA, A. A composição elementar do aerossol atmosférico em Manaus e Balbina, 2009. 98 p. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) – INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Estadual do Amazonas.

CARZOLA, A.; BAHADUR, R.; SUSKI, K.J.; CAHILL, J.F.; CHAND, D.; SCHMID, B.; RAMANATHAN, V.; PRATHER, K.A. Relating aerosol absorption due to soot, organic carbon, and dust to emission sources determined from in-situ chemical measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, n. 13, v.18, p. 9337 – 9350, 2013.

CASTANHO, A. D. A. A determinação quantitativa de fontes de particulado na atmosfera da cidade de São Paulo. 1999, 1999. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

MARTINSSON, J.; AZEEM, H. A.; SPORRE, M. K.; BERGSTRÖM, R.; AHLBERG, E.; ÖSTRÖM, E.; KRISTENSSON, A.; SWIETLICKI, E.; STENSTRÖM, K. E. Carbonaceous aerosol source apportionment using the Aethalometer model – evaluation by radiocarbon and levoglucosan Analysis at a rural background site in Southern Sweden. **Atmospheric Chemistry and Physics**. v.17, p.4265 – 4281, 2017.

MARQUES, J. B. Desenvolvimento de sistema para monitoramento e aquisição de dados microclimáticos utilizando o programa EPICS. 2016. 69 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – UFMT – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F.S.; MARQUES, J.B.; MENEZES, J.A.; NOGUEIRA, J. S. Variabilidade da profundidade ótica de aerossóis atmosféricos sobre o Pantanal Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 12, v. 18, p. 2237 – 8642, 2016.

PALÁCIOS, R. S. Análise da profundidade ótica de aerossóis no Cerrado Mato-grossense. 2014. 55 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – UFMT – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

PALÁCIOS, R. S. Interação entre radiação solar direta e os aerossóis atmosféricos na Amazônia. 2017. 142 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – UFMT – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

REBELLATO, A. L. Determinação de índices quantitativos de material particulado inalável nos períodos seco e úmido na cidade de Cuiabá, 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – UFMT – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.