

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

PROPRIEDADES ÓTICAS DOS AEROSSÓIS NO
PANTANAL MATO-GROSSENSE

THAIS COSTA BRUNELLI

PROF. DR. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS
Orientador

Cuiabá-MT
Fevereiro de 2020

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

**PROPRIEDADES ÓTICAS DOS AEROSSÓIS NO
PANTANAL MATO-GROSSENSE**

THAIS COSTA BRUNELLI

*Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Mato Grosso, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Física Ambiental, para a obtenção do título
de mestre.*

PROF. DR. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS
Orientador

**Cuiabá-MT
Fevereiro de 2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C837p Brunelli, Thais Costa.
PROPRIEDADES ÓTICAS DOS AEROSSÓIS NO PANTANAL MATO-
GROSSENSE / Thais Costa Brunelli. -- 2020
64 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Aerossóis. 2. Propriedades óticas. 3. Pantanal Mato-grossense. I. Título.

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

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

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

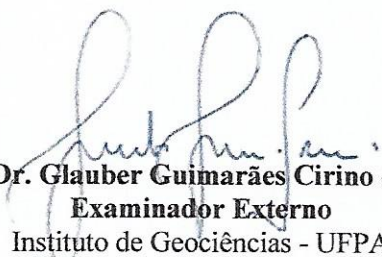
TÍTULO: PROPRIEDADES ÓTICAS DOS AEROSSÓIS NO PANTANAL
MATO-GROSSENSE

AUTORA: THAIS COSTA BRUNELLI

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 28 de fevereiro de 2020, pela
comissão julgadora:


Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
Orientador
Instituto de Geociências - UFPA


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


Prof. Dr. Glauber Guimarães Cirino da Silva
Examinador Externo
Instituto de Geociências - UFPA

DEDICATÓRIA

*À Maria Ighes da Costa
por ter compartilhado a existência
e me ensinado a resiliência do Ser.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Rafael da Silva Palácios, por compartilhar seu conhecimento e pela parceria de progresso deste trabalho;

Ao Prof. José de Souza Nogueira, pela confiança e incentivo ao crescimento no mestrado acadêmico;

Ao Prof. João Basso Marques e os integrantes do Grupo de Instrumentação do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental pela atenção, monitoramento e coleta dos dados;

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Ciências Atmosféricas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso pelas discussões científicas;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro concedido durante toda pesquisa, processo nº 130735/2018-3.

Ao Maique Ribeiro no compartilhar de vidas e por memorar a importância da existência;

Ao Theo por ser meu fontículo;

A queridíssima Mary Jane pelos anos de amizade e por tornar a vivência aprazível.

EPÍGRAFE

“Quando a vida te decepciona, qual é a solução?

Continue a nadar! Continue a nadar!

Continue a nadar, nadar, nadar!

Para achar a solução,

nadar, nadar!”

-Dory (2003)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. PROBLEMÁTICA.	11
1.2. JUSTIFICATIVA.	13
1.2.1. Objetivos	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	15
2.1. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A ATMOSFERA.	15
2.1.2. Propriedades óticas de aerossol.	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. MATERIAIS.	21
3.1.1. Área de estudo	21
3.1.1.1. <i>Pantanal Mato-grossense.</i>	23
3.1.1.2. <i>Variáveis micrometeorológicas do Pantanal Mato-grossense.</i>	24
3.1.2. Medidas de absorção e de espalhamento.	25
3.1.2.1. <i>Medidas de espalhamento com o Nefelômetro.</i>	26
3.1.2.2. <i>Medidas de absorção com o Aetalômetro.</i>	27
3.2. MÉTODOS	29
3.2.1. Estimativa das propriedades óticas de aerossol.	29
3.2.1.1. <i>Coeficiente de absorção.</i>	29
3.2.1.2. <i>Coeficiente de espalhamento.</i>	31
3.2.1.3. <i>Coeficiente de extinção.</i>	31
3.2.1.4. <i>Profundidade ótica de extinção.</i>	32
3.2.1.5. <i>Albedo de espalhamento simples.</i>	32
3.2.1.6. <i>Coeficiente angstrom de absorção.</i>	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. VARIABILIDADE TEMPORAL E SAZONAL DAS PROPRIEDADES ÓTICAS DE AEROSSÓIS.	33
4.2. INFLUÊNCIA DE FATORES EXÓGENOS.	46
4.2.1. Fatores ecossistêmicos.	46
4.2.2. Eventos antropogênicos.	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
7. BIBLIOGRAFIAS	56
8. ANEXO	61

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01** – Irradiância espectral do topo da atmosfera e na superfície terrestre, regiões sombreadas indicam os espectros de absorção tal como as moléculas responsáveis por esta absorção. **FONTE:** SEINFELD & PANDIS (2006)15
- FIGURA 02** – Balanço energético médio anual da Terra. **FONTE:** SEINFELD & PANDIS (2006)16
- FIGURA 03** – Localização da Bacia do Alto Paraguai na América do Sul, com ênfase nas áreas de drenagem de água (azul) e áreas de planície (verde). A área de estudo (BAAP – UFMT) é destacado de cor vermelha. **FONTE:** Elaborada pela autora.....22
- FIGURA 04** – Ilustração da estrutura interna do Nefelômetro M9003. **FONTE:** PROGRAM, Air Quality (2009)26
- FIGURA 05** – Ilustração da estrutura do Aetalômetro. **FONTE:** Hansen e Schnell (2005)27
- FIGURA 06** – Ilustração das estruturas de funcionamento do Aetalômetro modelo AE33. **FONTE:** Elaborada pela autora28
- FIGURA 07** – Variabilidade temporal das propriedades extensivas dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense. Na primeira caixa os grafos destacados em vermelho representa o $b_{abs,525nm}$ e em azul o $b_{esp,525nm}$, já na segunda caixa o $b_{ext,525nm}$ está destacado pelo grafo em preto e $AOD(525nm)$ em vermelho. **FONTE:** Elaborada pela autora33
- FIGURA 08** – Ano característico dos coeficientes $b_{esp,525nm}[Mm^{-1}]$, $b_{abs,525nm}[Mm^{-1}]$ e SSA_{525nm} . Os grafos destacados em vermelho, azul e verde são referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019 respectivamente. **FONTE:** Elaborada pela autora.....37
- FIGURA 09** - Séries temporais da profundidade ótica, a) $AOD(525nm)$ calculada *in situ*. b) $AOD(500nm)$ disponibilizada pela AERONET site Cuiabá-Miranda.....41
- FIGURA 10** – Série histórica com médias semanais e respectivos valores de desvio padrão da, a) Profundidade ótica de extinção $AOD(525nm)$ e b) Radiação fotossinteticamente ativa - PAR. **FONTE:** Elaborada pela autora.....42
- FIGURA 11** – Histograma de frequência de $\alpha(370,590)$ durante o período chuvoso(a) e período seco (b). As barras amarelas, laranjadas e azuis representam os anos de 2017, 2018 e 2019 respectivamente.....44
- FIGURA 12** – Rosa dos ventos. Valores médios a cada 4 horas (m/s) e direção do vento. a) e d) Período chuvoso e seco do ano de 2017 respectivamente. b) e e) Período chuvoso e seco de 2018 respectivamente. c) e f) Período chuvoso e seco de 2019 respectivamente. **FONTE:** Elaborada pela autora.47

FIGURA 13 – Variáveis micrometeorológicas, referente a 01 de janeiro de 2017 a 14 de setembro de 2019. **FONTE:** Elaborada pela autora.....48

FIGURA 14 – Acumulado mensal de focos de queimada para o estado de Mato Grosso durante o triênio (2017-2018-2019). **FONTE:** Dados disponíveis pelo INPE em: www.inpe.br/queimadas.....51

FIGURA 15 – Acumulado mensal de *AOD* (525 nm) durante o triênio (2017-2018-2019). **FONTE:** Elaborada pela autora.....52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Visão geral de sensores micrometeorológicos e instrumentação de aerossóis instalados na BAAP – UFMT.....	22
Tabela 02 - Seção de choque de absorção ótica $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ expressada em unidades de $m^2 g^{-1}$	29
Tabela 03 - Variabilidade sazonal ano a ano dos coeficientes de absorção ($b_{abs,525nm}$) e espalhamento ($b_{esp,525nm}$) referentes a banda espectral de 525 nm, para os períodos chuvoso e seco dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense (<i>média ± erro padrão</i>). *período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.....	36
Tabela 04 - Valores médios do albedo de espalhamento simples na faixa espectral de 525nm e respectivos desvios padrão (<i>média ± erro padrão</i>).....	39
Tabela 05 - Valores médios do coeficiente de extinção ($b_{ext,525nm}$) [Mm^{-1}] e da profundidade ótica de extinção (AOD) [<i>adimensional</i>] na faixa espectral de 525 nm (<i>média ± erro padrão</i>).....	40
Tabela 06 - Valores médios do coeficiente angstrom de absorção $\alpha(370,590)$ e respectivos desvios padrão (<i>média ± desvio padrão</i>). O período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

COV –	Composto orgânicos voláteis
MP –	Material particulado
CE –	Carbono elementar
CO –	Carbono orgânico
NCN –	Núcleos de condensação de nuvens
TOA –	Topo da atmosfera
SUP –	Superfície terrestre
λ –	Comprimento de onda
$b(\lambda, s)_{ext}$ –	Coeficiente de extinção
$b(\lambda, s)_{abs}$ –	Coeficiente de absorção
$b(\lambda, s)_{esp}$ –	Coeficiente de espalhamento
$\delta_{ext}(\lambda)$ –	Espessura ótica de extinção
$AOD(\lambda)$ –	Profundidade ótica de extinção
SSA_{λ} –	Albedo de espalhamento simples
$\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ –	Coeficiente angstrom de absorção
BC –	Black carbon
BrC –	Brown carbon
BAPP –	Base Avançada de Pesquisa no Pantanal
$\sigma(ATN)_{(\lambda)}$ –	Coeficiente de atenuação
$[BC_{(\lambda)}]$ –	Concentração em massa de black carbon
$\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ –	Seção de choque de absorção ótica
C –	Efeito de espalhamento múltiplo
R –	Efeito de sobrecarga de partículas
PAR –	Radiação fotossinteticamente ativa
INPE –	Instituto nacional de pesquisas espaciais
FQ –	Foco de queimada

RESUMO

BRUNELLI, Thais Costa. **Propriedades óticas dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense**. Cuiabá, 2020, 55 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Os aerossóis são partículas sólidas ou líquidas, que estão em suspensão na atmosfera terrestre. Pesquisas atmosféricas buscam caracterizar as propriedades óticas desses aerossóis bem como compreender o processo de interação destes com a radiação solar. A presente pesquisa enfoca as propriedades óticas dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense, apresentando uma estimativa destas e o comportamento sazonal nos anos de 2017, 2018 e 2019. Os parâmetros investigados foram o coeficiente de absorção - $b(525\text{ nm})_{abs}$, bem como coeficiente de espalhamento - $b(525\text{ nm})_{esp}$, coeficiente de extinção - $b(525\text{ nm})_{ext}$, profundidade ótica de extinção - $AOD(525\text{ nm})$, albedo de espalhamento simples - $SSA_{525\text{ nm}}$ e angstrom de absorção - $\alpha(370,590)$. Foram explorados dados coletados de um Nefelômetro do coeficiente de espalhamento ($b(\lambda)_{esp}$), bem como de um Aetalômetro que fornece diretamente a concentração em massa de carbono negro $[BC_{(\lambda)}]$. Aqui mostramos que durante o triênio investigado, as propriedades óticas de aerossóis possuem características espectrais particulares no período chuvoso e no período seco de cada ano. Procuramos avaliar a influência de fatores exógenos às estimativas de aerossóis, os eventos decorrentes do processo de queima de biomassa é o principal fator para a variação das propriedades óticas. Constatou-se que a $AOD(525\text{ nm})$, possui uma sazonalidade muito bem delineada ao comportamento mensal do registro de focos de queimada - FQ. Durante o período seco, com o aumento de FQ, foi possível observar uma redução média de até 45% na radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente na superfície do ecossistema, enquanto que no período chuvoso esta redução é inferior a 23%. Avalia-se por meio do $SSA_{525\text{ nm}}$ que durante o período chuvoso os aerossóis favorecem o espalhamento da radiação solar, ao passo que no período seco verifica-se a intensificação dos processos absorptivos. Os eventos de queima de biomassa no estado de Mato Grosso influenciam na dinâmica populacional de aerossóis presente na atmosfera do Pantanal bem como na qualidade e quantidade de radiação que é disponível para a manutenção deste ecossistema.

Palavras-chave: Aerossóis; Propriedades óticas; Pantanal Mato-grossense.

ABSTRACT

BRUNELLI, Thais Costa. **Optical properties of aerosols in the Pantanal Mato-grossense**. Cuiabá, 2020, 55 f. Dissertation (master's) - Physics Institute, Federal University of Mato Grosso.

Aerosols are solid or liquid particles, which are suspended in the Earth's atmosphere. Atmospheric research seeks to characterize the optical properties of these aerosols as well as to understand their interaction process with solar radiation. This research focuses on the optical properties of aerosols in the Pantanal Mato-grossense, presenting an estimate of these and the seasonal behavior in the years 2017, 2018 and 2019. The parameters investigated were the absorption coefficient - $b(525\text{ nm})_{abs}$, as well as the scattering coefficient - $b(525\text{ nm})_{scat}$, extinction coefficient - $b(525\text{ nm})_{ext}$, optical extinction depth - $AOD(525\text{ nm})$, single scattering albedo - $SSA_{525\text{ nm}}$, and angstrom absorption coefficient - $\alpha(370,590)$. Data collected from a Nephelometer were explored, with spectral measurements of the scattering coefficient ($b(\lambda)_{scat}$), as well as data from an Aethalometer that provides directly the mass concentration of black carbon [$BC(\lambda)$]. Here we show that during the investigated triennium, the optical properties of aerosols have particular spectral characteristics in the rainy and dry periods of each year. We sought to evaluate the influence of exogenous factors to aerosol measurements, events resulting from biomass burning is the main factor for the change in optical properties. It was found that the $AOD(525\text{ nm})$, has a seasonality very well outlined to the monthly behavior of the record biomass burning. It was found that the $AOD(525\text{ nm})$ has a seasonality very well outlined to the monthly biomass burning behavior. During the dry period, with the increase in biomass burning, it was possible to observe an average reduction of up to 45% in the photosynthetically active radiation (PAR) incident on the surface of the ecosystem, while in the rainy period this reduction is less than 23%. It is evaluated through SSA that during the rainy period aerosols favor the scattering of solar radiation, whereas in the dry period there is an intensification of absorptive processes. The biomass burning events in the state of Mato Grosso influence the population dynamics of aerosols present in the Pantanal atmosphere as well as the quality and quantity of radiation that is available for the maintenance of this ecosystem.

Keywords: Aerosols; Optical properties; Pantanal Mato-grossense.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA.

Aerossóis são partículas sólidas e líquidas que estão suspensas na atmosfera e podem acarretar impactos diretos e indiretos, tanto na sociedade quanto no meio ambiente. Os aerossóis são protagonistas no processo de formação das nuvens, pois estes atuam como núcleos do vapor d'água produzindo gotas de água, bem como na transferência da radiação solar a biota terrestre. Partículas resultantes de eventos naturais como poeira de deserto, sal marinho, compostos orgânicos voláteis (COV), material particulado (MP) emitido em atividade vulcânica, dentre outros são classificados em aerossóis naturais. Agregados moleculares emitidos em processos biológicos e que permanecem em suspensão na atmosfera como pólenes e bactérias, são tratados como aerossóis biogênicos (bioaerossóis). Partículas resultantes das ações humanas são classificadas como aerossóis antropogênicos, que variam desde queima de matéria orgânica (biomassa), combustíveis fósseis a emissões industriais e veiculares.

Um enorme impacto no clima é resultante dos aerossóis naturais e antropogênicos na interação da biosfera com a atmosfera. Aerossóis naturais e antropogênicos têm efeitos díspares na interação da radiação solar e a atmosfera, por serem estruturalmente diferentes. A depender da composição atmosférica, os aerossóis são capazes de gerar um desequilíbrio no balanço de radiação terrestre, provocando aquecimento em algumas regiões e refrigeração em outras, aumentando a incerteza e o risco para empreendimentos relacionados com o tempo e clima. O material particulado em suspensão na atmosfera interage com a radiação solar, modificando o processo distributivo, do topo da atmosfera a superfície terrestre. Análise de parâmetros óticos e dos efeitos radiativos de espécies vestigiais atmosféricas, são necessárias para estimar a forma como os aerossóis afetam o clima.

O balanço de radiação é influenciado pela disposição de aerossóis na atmosfera, os quais são agentes efetivos nos processos de espalhamento e absorção da

radiação solar. Diversos experimentos de campo de caracterização de aerossóis foram conduzidos nas últimas décadas, com a finalidade de contribuir com a relação entre os efeitos diretos e indiretos dos aerossóis e as mudanças climáticas. Estudos revelaram que a depender de suas propriedades, os aerossóis promovem efeitos distintos na atmosfera. Aerossóis predominantemente espalhadores de radiação acarreta um resfriamento da atmosfera, enquanto os absorventes podem aquecer localmente a atmosfera tal como influenciar nos processos meteorológicos e no clima.

Os aerossóis podem ter vários efeitos sobre o meio ambiente da Terra, enquanto alguns aerossóis emitidos em ações antrópicas reduzem a luz do sol recebida na superfície da Terra e esfriam a atmosfera, outros podem ter o efeito de aquecimento. Aerossóis carbonáceos, como o carbono preto (*Black Carbon*), absorvem e dispersam a radiação solar, podendo acarretar em uma modificação direta no albedo da Terra bem como na taxa de aquecimento da atmosfera. Os aerossóis carbonáceos são investigados de acordo com a interação destes com a radiação eletromagnética, havendo classificações em frações carbonáceas elementares (CE) e orgânicas (OC). Esses efeitos podem prejudicar significativamente os ecossistemas naturais, a flora e fauna que são suscetíveis mesmo a pequenas variações no clima.

As florestas tropicais estão interligadas na manutenção dos ciclos hidrológico e no orçamento global de carbono. Pesquisas de aerossóis realizadas em ambiente de floresta, apontam uma grande variabilidade sazonal na carga de material particulado na atmosfera. No período seco a concentração de aerossóis é superior em relação ao período chuvoso, devido pouca precipitação e um aumento nos focos de queimada. O material particulado presente na atmosfera também pode afetar o ciclo hidrológico, suprimindo a precipitação. Recentes pesquisas buscam correlacionar as taxas pluviométricas com determinadas espécies de aerossóis presente na atmosfera, por atuarem como núcleos de condensação de nuvens (NCN).

Nuvens compostas por aerossóis naturais criam um efeito na superfície de escurecimento, ao mesmo tempo absorvem mais energia, provocando um aquecimento na atmosfera terrestre. Nuvens formadas por aerossóis antropogênicos são brancas e brilhantes, o que promove de forma majoritária a reflexão da radiação solar, gerando um resfriamento na superfície da Terra.

1.2. JUSTIFICATIVA.

As questões ambientais podem acarretar conflitos de interesses nacionais e internacionais, sendo um potencial fator a gerar prejuízos econômicos e sociais. Esses estudos buscam analisar a composição da atmosfera e contribuem para tomadas de decisões de âmbito técnico e político frente as alterações climáticas, bem como nas propostas de mitigação e adaptação a essas transformações.

O Pantanal Mato-grossense tem mudado significativamente sua aparência e a forma pela qual essa região funciona como um sistema integrador, onde a biota, a atmosfera e os seres humanos interagem entre si. O regime sazonal de pulsos de inundação tal como grandes áreas alagáveis, possibilitam estudos promissores na compreensão dos processos radiativos na biosfera-atmosfera.

Ao longo do ano a região possui duas estações bem definidas, sendo o período chuvoso e o período seco. Contudo este ecossistema tem sofrido modificações ambientais com implicações climáticas, tal como a retirada de vegetação nativa para abertura de pastagens e a queima de biomassa no preparo de áreas para os setores agrícola e pecuária. As modificações das condições naturais da superfície do Pantanal podem desordenar a população de partículas que compõe a atmosfera e acarretar alterações nos processos de interação da radiação solar desde o topo da atmosfera até a superfície da região.

1.2.1. Objetivos

Este trabalho visa estimar as propriedades de espalhamento e absorção do material particulado presente na atmosfera do Pantanal Mato-grossense, tal como analisar as variações sazonais, a partir de medidas de superfície coletadas no triênio 2017-2018-2019. Desta forma propõe-se os seguintes objetivos específicos:

1. Quantificar o coeficiente de espalhamento bem como o coeficiente de absorção e analisar as variações sazonais.

2. Estimar o albedo de espalhamento simples e o coeficiente angstrom de absorção para categorizar o material particulado.
3. Mensurar o coeficiente de extinção da radiação pelos aerossóis assim como a profundidade ótica de extinção.

,

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

2.1. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A ATMOSFERA.

A principal fonte de energia radiativa do sistema terrestre é do Sol, uma estrela com temperatura superficial de corpo negro de 6.000 K. A radiação eletromagnética emitida pelo Sol configura-se na faixa espectral do ultravioleta, com o pico na faixa do visível (Figura 01) e uma parte é emitida no infravermelho próximo. Considerando a distância Terra-Sol de aproximadamente $1,5 \times 10^{11}$ metros, a densidade de fluxo de energia do Sol é de aproximadamente 1370 W/m^2 (SEINFELD e PANDIS, 2006).

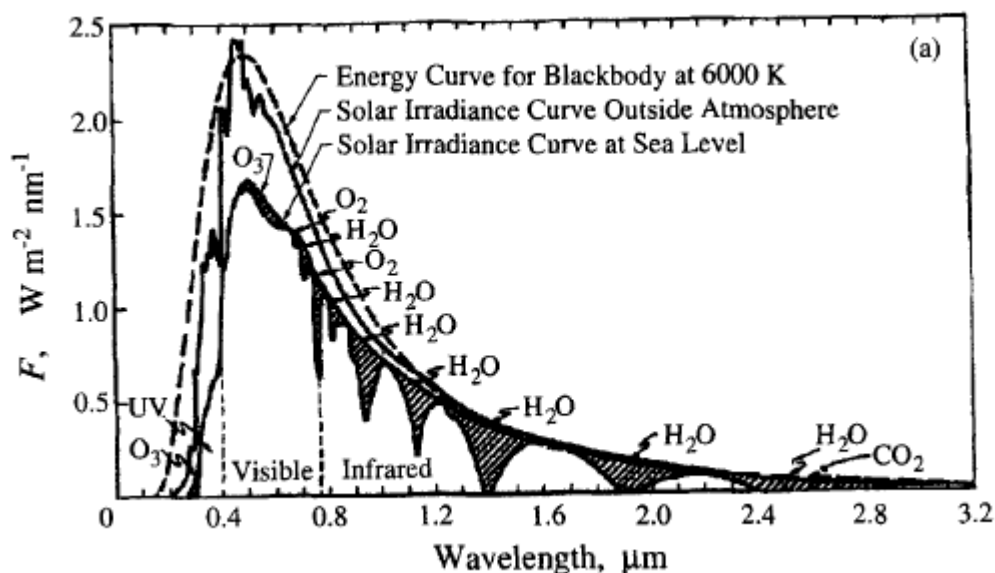


FIGURA 01 - Irradiância espectral do topo da atmosfera e na superfície terrestre, regiões sombreadas indicam os espectros de absorção tal como as moléculas responsáveis por esta absorção. **FONTE:** SEINFELD e PANDIS (2006).

A energia incidente no topo da atmosfera possui irradiância de aproximadamente 342 W/m^2 . Ao adentrar no sistema climático da Terra a radiação eletromagnética sofre diversos processos de interação com a atmosfera, sendo determinante na quantidade, bem como nas características da radiação que atinge a superfície terrestre (SEINFELD e PANDIS, 2006).

A atmosfera terrestre é constituída de uma camada de gases e partículas que permanecem em suspensão devido a atuação da força da gravidade. Parte da radiação solar é diretamente refletida pela atmosfera e nuvens, outra parte é transmitida as camadas internas e outra parte é absorvida pela superfície terrestre. O planeta Terra possui temperatura média em torno de 300 K e emite radiação eletromagnética próximo do infravermelho térmico, cerca de 390 W/m^2 necessária para a manutenção da vida e dos movimentos atmosféricos do planeta. Parte desta radiação é diretamente absorvida pela atmosfera outra parte sofre o processo de espalhamento, desses 235 W/m^2 são irradiados para o espaço. Ao processo de repartição da energia radiativa em quantidade e qualidade dar-se balanço radiativo terrestre (Figura 02).

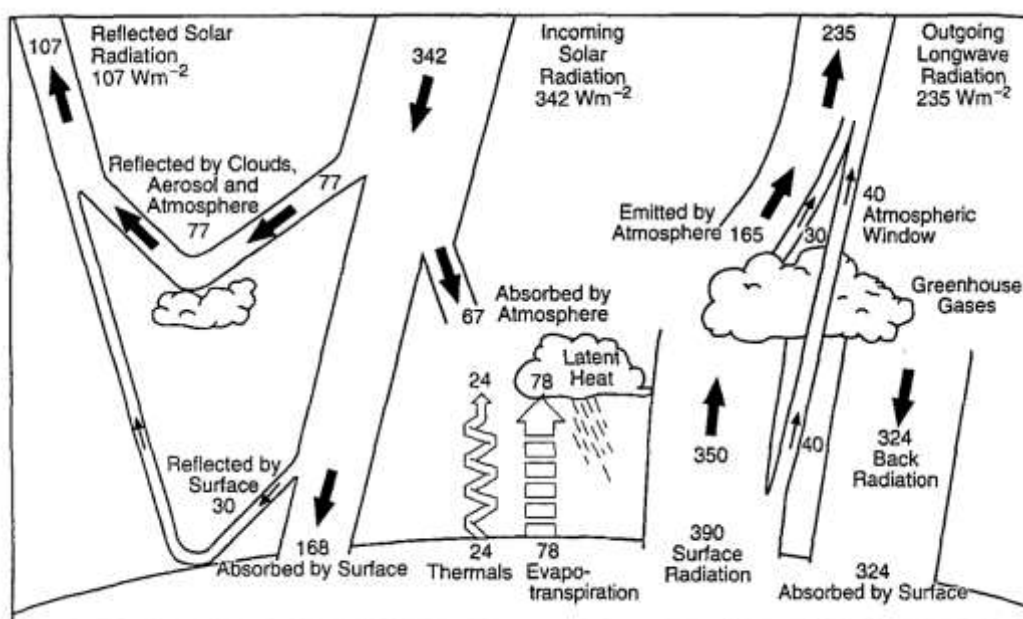


FIGURA 02 - Balanço energético médio anual da Terra. FONTE: SEINFELD e PANDIS (2006).

Realizando uma aproximação da coluna atmosférica como um meio homogêneo, o processo de atenuação da radiação incidente sobre o topo da atmosfera (TOA) até a superfície terrestre (SUP) é estimado pelos parâmetros dos constituintes deste meio. A interação entre a radiação eletromagnética e um meio material (opticamente homogêneo) é especificada pela lei de atenuação espectral, a lei de Beer-Lambert-Bouguer, (SEINFELD e PANDIS, 2006). A intensidade de um feixe de

radiação eletromagnética após interagir com um material de volume infinitesimal ($dV = dA \times ds$) é proporcional à radiação incidente ($L(\lambda)$) e ao comprimento (ds).

$$dL(\lambda, s) = -b(\lambda, s)_{ext} \times L(\lambda, s) \times ds \quad \text{Equação 01}$$

Na Equação 01, $dL(\lambda, s)$ representa a quantidade de radiação extinta e $b(\lambda, s)_{ext}$ o coeficiente de extinção do meio. Para um dado comprimento de onda da radiação (λ) o coeficiente de extinção ($b(\lambda, s)_{ext}$) é dado pela relação direta entre a concentração total do número de partículas (N , *partícula por m^{-3}*) e a seção de choque de extinção de uma única partícula (C_{ext}), e mensurado em unidade de comprimento inverso (m^{-1}).

$$b(\lambda, s)_{ext} = C_{ext} \times N \quad \text{Equação 02}$$

A relação entre a radiação incidente no topo da atmosfera ($L_{TOA}(\lambda)$) e a radiação incidente na superfície terrestre ($L_{superfície}(\lambda)$), pode ser obtida integrando a Equação 01 entre o topo da atmosfera $s_1 = TOA$ e a superfície terrestre $s_2 = SUP$, obtendo a relação expressa pela Equação 03.

$$L_{SUP}(\lambda) = L_{TOA}(\lambda) \times e^{-\int_{s_{TOA}}^{s_{SUP}} b_{ext} \times ds} \quad \text{Equação 03}$$

A extinção da radiação solar ocorre pela atenuação da radiação incidente no TOA cuja intensidade decai exponencialmente à medida que ela atravessa as camadas da atmosfera, devido aos processos de espalhamento e absorção da radiação promovido pelos componentes do meio. Expandindo o coeficiente de extinção do meio ($b(\lambda, s)_{ext}$) é possível obter o coeficiente de espalhamento ($b(\lambda, s)_{esp}$) e o coeficiente de absorção ($b(\lambda, s)_{abs}$) da radiação em determinado comprimento de onda (λ).

$$b(\lambda, s)_{ext} = b(\lambda, s)_{esp} + b(\lambda, s)_{abs} \quad \text{Equação 04}$$

Pode-se decompor $b(\lambda, s)_{esp}$ e $b(\lambda, s)_{abs}$ em termos das contribuições dos componentes gasosos e particulados da atmosfera, tal como explicitado na Equação 05 e Equação 06.

$$b(\lambda, s)_{abs} = b(\lambda, s)_{abs(gases)} + b(\lambda, s)_{abs(partículas)} \quad \text{Equação 05}$$

$$b(\lambda, s)_{esp} = b(\lambda, s)_{esp(gases)} + b(\lambda, s)_{esp(partículas)} \quad \text{Equação 06}$$

Os termos $b(\lambda, s)_{abs(gases)}$ e $b(\lambda, s)_{abs(partículas)}$, são respectivamente referentes ao coeficiente de absorção devido aos gases e o coeficiente de absorção devido as partículas. De modo análogo, $b(\lambda, s)_{esp(gases)}$ é o coeficiente de espalhamento devido aos gases e $b(\lambda, s)_{esp(partículas)}$ o coeficiente de espalhamento devido ao material particulado (SEINFELD e PANDIS, 2006).

2.1.2. Propriedades óticas de aerossol.

O processo de atenuação da radiação pela camada de partículas em suspensão na atmosfera pode ser avaliado em termos de parâmetros intensivos e extensivos dos aerossóis atmosféricos. Propriedades intensivas são características que não dependem diretamente da quantidade do material particulado em suspensão na atmosfera. As propriedades intensivas são importantes ferramentas para explorar a natureza física e química dos aerossóis.

Concomitante as propriedades intensivas a quantidade numérica de constituintes atmosféricos também influencia o processo de atenuação da radiação eletromagnética. As propriedades extensivas estão relacionadas a disposição de aerossóis na atmosfera. Neste estudo foram exploradas propriedades intensivas e extensivas, sendo o coeficiente de extinção $b(\lambda)_{ext}$, de espalhamento $b(\lambda)_{esp}$, de absorção $b(\lambda)_{abs}$, tal como a profundidade ótica de extinção $AOD(\lambda)$, parâmetros extensivos. Os parâmetros intensivos explorados foram o albedo de espalhamento simples SSA_λ e o coeficiente de angstrom de absorção $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$.

A quantidade numérica de partículas que são ativas no processo de extinção da radiação eletromagnética em um dado comprimento de onda (λ), é dada pela espessura ótica de extinção ($\delta_{ext}(\lambda)$) (SEINFELD e PANDIS, 2006).

$$\delta_{ext}(\lambda) = \int_{s_1}^{s_2} b_{ext} \times ds \quad \text{Equação 07}$$

A espessura ótica de extinção proporcionala a quantidade de radiação eletromagnética que é extinta pelas partículas e gases característicos de um meio material com superfícies s_1 e s_2 , sendo o caminho ótico perpendicular a estas superfícies.

Na lei de Beer (transferência radiativa) para um meio homogêneo a extinção da radiação eletromagnética decai exponencialmente com as propriedades de extinção do meio e do caminho ótico de propagação. Algumas considerações de contorno devem ser aplicadas ao utilizar a lei de Beer nas estimativas da atmosfera. Considerando a coluna atmosférica de distância ds , espera-se que a irradiância incidente ($L_{(TOA)}$) no topo da atmosfera seja superior a incidente na superfície terrestre ($L_{(SUP)}$). Realizando a aproximação de uma atmosfera plano-paralela, Seinfeld e Pandis (2006) definem a profundidade ótica de extinção (AOD- do inglês Optical Depth) pela quantidade numérica de aerossóis que interagem diretamente no processo de extinção da radiação solar, esta propriedade é dada pela relação expressa na Equação 08.

$$AOD(\lambda) = m \int_{s_1}^{s_2} b_{ext,\lambda} ds \quad \text{Equação 08}$$

$$ds = \frac{1}{\cos(\theta_0)} ; \text{ sendo } \theta_0 \text{ o ângulo solar zenital.}$$

Seinfeld e Pandis (2006), enfatizam que na aproximação de uma atmosfera plano-paralela o caminho ótico é proporcional ao ângulo solar zenital local (θ_0). No topo da atmosfera a $AOD(\lambda)$ é considerada nula devido à ausência de partículas e moléculas, com o aumento da pressão atmosférica e redução de altitude observa-se um aumento de $AOD(\lambda)$ devido a maior presença de aerossóis na baixa troposfera.

O processo de extinção da radiação é a ocorrência simultânea dos processos de espalhamento e absorção da radiação pelos constituintes do meio. A profundidade ótica de extinção proporcionala a parcela de material opticamente ativo que espalha a radiação (profundidade ótica de espalhamento - $AOD_{esp}(\lambda)$) quanto da parcela de absorção (profundidade ótica de absorção - $AOD_{abs}(\lambda)$).

$$AOD_{ext}(\lambda) = AOD_{esp}(\lambda) + AOD_{abs}(\lambda) \quad \text{Equação 09}$$

A proporção entre os efeitos simultâneos de absorção e extinção da radiação solar em decorrência do material particulado em suspensão na atmosfera é dada pelo albedo de espalhamento simples. O albedo de espalhamento simples (SSA_λ – Single Scattering Albedo) é um parâmetro característico do aerossol, definido como a razão entre os coeficientes lineares de espalhamento e de extinção.

$$SSA_\lambda = \frac{b(\lambda, s)_{esp}}{b(\lambda, s)_{ext}} \quad \text{Equação 10}$$

Os parâmetros expressados na Equação 10, $(b(\lambda, s)_{esp})$ e $b(\lambda, s)_{ext}$ são os coeficientes de espalhamento e coeficiente de extinção respectivamente. Caso o aerossol possua albedo de espalhamento simples com valor próximo ou igual a um ($SSA_\lambda \approx 1$) o efeito predominante na interação da radiação é o efeito de espalhamento. O efeito de absorção da radiação é predominante quando o aerossol possui valores de albedo de espalhamento simples próximos ou igual a zero ($SSA_\lambda \approx 0$).

O tamanho médio das partículas de aerossóis é um parâmetro determinante no processo de interação da radiação eletromagnética. Partículas com menos de 2,5 μm de diâmetro são geralmente referidas como "finas" e aquelas com mais de 2,5 μm de diâmetro como "grossas" (SEINFELD e PANDIS, 2006). A dependência espectral de uma grandeza em relação ao comprimento de onda é definida pela lei de potência de Angstrom (1929). A dependência espectral de absorção do material particulado em dois comprimentos de onda distintos (λ_1, λ_2) é definida pelo coeficiente de angstrom de absorção ($\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$).

$$\alpha(\lambda_1, \lambda_2) = - \frac{\ln\left(\frac{b(\lambda_1)_{abs}}{b(\lambda_2)_{abs}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad \text{Equação 11}$$

O coeficiente angstrom de absorção é um parâmetro ótico comumente utilizado para avaliar o tipo de material particulado, por meio da relação entre o coeficiente de absorção e a radiação eletromagnética. O comportamento $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ está diretamente relacionado as características físicas e químicas do aerossol, tal como o tamanho a forma e o estado de mistura.

Material particulado emitido em áreas urbanas geralmente são subprodutos do processo de combustão de veículos e em indústrias e são classificados em carbono negro ou *black carbon* (BC). Aerossóis de natureza absorvedora tal como BC, apresentam tipicamente um coeficiente angstrom de absorção com valores próximos ou equivalente a 1 (RIZZO et al., 2011). O material particulado resultante do processo de queima de matéria orgânica (biomassa) e de combustíveis fósseis são mencionados por carbono marrom ou *brown carbon* (BrC), estes possuem valores de $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ na faixa de 1.5-1.9, enquanto que aerossóis de poeira mineral possui valores maiores que 2.0 (BERGSTROM et al., 2007; BAHADUR et al., 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS.

3.1.1. Área de estudo

A presente análise foi realizada na Base Avançada de Pesquisa no Pantanal-BAPP da Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT. Os dados investigados são referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019, sendo a maior série de dados *in situ* de aerossóis atmosféricos no Pantanal, compondo parte do projeto “Efeitos dos aerossóis atmosféricos naturais e emitidos em queimadas no ecossistema Pantanal”.

As medidas de aerossóis foram realizadas por um Nefelômetro e um Aetalômetro, ambos dispostos na BAAP- UFMT como parte do projeto Mudanças Climáticas na Amazônia: reflexo no pantanal Mato-grossense - Chamada Nº 68/2013 MCTI/CNPq/FNDCT - Ação Transversal - Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA - Processo: 457824/2013-1. Localizada próxima a BAPP há uma torre micro meteorológica com 32 metros de altura, onde está alocada uma rede de sensores e equipamentos que afere temporalmente elementos do clima (Tabela 01).

A BAPP fica no Parque SESC Baía das Pedras dentro da Reserva Particular de Preservação Nacional - RPPN SESC - Pantanal. A RPPN SESC Pantanal foi criada inicialmente pela Lei no 9.985, de 18 de junho de 2000, que dispõe sobre o Sistema

Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), possui uma área de extensão 106.308,8481 hectares (BRANDÃO, et al. 2011). A RPPN é uma iniciativa de conservação da biodiversidade onde são desenvolvidas ações voltadas para educação ambiental, turismo sustentável e atividades de pesquisa no Pantanal (BRASIL, 2011). A BAPP fica no município de Poconé – MT (16°39' S, 56°47' W), a aproximadamente 150 km de Cuiabá – MT, região oeste da RPPN SESC – Pantanal, (Figura 03).

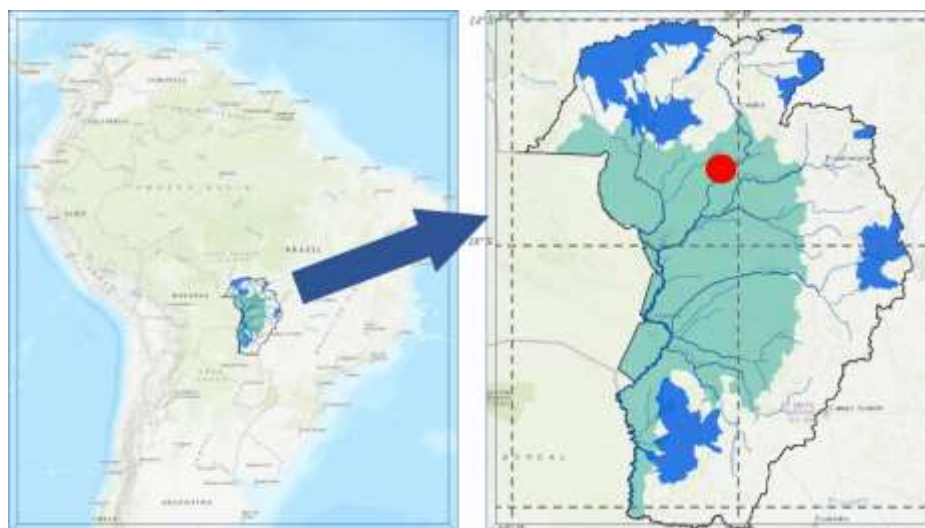


FIGURA 03 – Localização da Bacia do Alto Paraguai na América do Sul, com ênfase nas áreas de drenagem de água (azul) e áreas de planície (verde). A área de estudo (BAAP – UFMT) é destacado de cor vermelha. **FONTE:** Elaborada pela autora.

Tabela 01 – Visão geral de sensores micrometeorológicos e instrumentação de aerossóis instalados na BAAP – UFMT.

Grandeza		Instrumento	Modelo	Altura (m)	Símbolo	Unidade
Concentração de carbono negro	de	<i>Aetalômetro</i>	AE33	4	$[BC_{(\lambda)}]$	$\mu \times g \times m^{-3}$
Coeficiente espalhamento	de	<i>Nefelômetro</i>	M9003	4	$b_{esp,525nm}$	Mm^{-1}
Temperatura e umidade do ar	e	<i>Termo higrômetro</i>	HMP45C Vaisala, Inc.	20	T e UR	°C e %
Velocidade e direção do vento	e	<i>Anemômetro</i>	03101-L Vaisala, Inc.	20	$\vec{v}$	m/s
Radiação fotossinteticamente ativa		<i>Sensor Quantum</i>	LI190SB, Campbell Scientific, Inc.	20	PAR	W/m ²
Precipitação pluviométrica		<i>Pluviômetro</i>	TE525MM, Texas eletronics, Inc., Dallas, TX, USA	20	-	mm

3.1.1.1. Pantanal Mato-grossense.

O Pantanal é uma planície periodicamente inundada pela bacia do Alto Paraguai (Figura 03), cujos pulsos de inundações contribuem para a diversificação dos parâmetros físicos do ecossistema regional, tal como regime interanual regular de cheia e seca (ANDRADE et al., 2012). A bacia recebe influência direta das águas do rio Paraguai, este recebe as águas do rio Jauru e Vereda Grande pela margem a direita e das águas do Rio Negro. Os rios Paraguaizinho, Bento Gomes, Cuiabá, Taquari, Negro e Miranda são afluentes à esquerda do rio Paraguai (IBGE, 2004a). A grande heterogeneidade de águas que alimentam a bacia do Alto Paraguai faz emergente as peculiaridades da biota Pantaneira. O regimento de inundação em grande parte da planície acentuado pela baixa declividade do relevo proporcionando a formação de rios meândricos com escoamento lateral.

O bioma Pantanal é o de menor extensão em território brasileiro localizando-se na região Centro-Oeste, possui uma área total de 150.355 km², e seus limites abarcam municípios dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (ABDON et al., 2007). Considerado uma das maiores áreas úmidas do globo terrestre, o Pantanal é composto por uma grande variedade de biomas florestais e delimitado por onze sub-regiões, classificadas pelo regime interanual de inundação. Uma desta é a região de Poconé com 16.066 km² de extensão, agrega áreas dos municípios de Cáceres, Poconé, Nossa Senhora do Livramento, Barão de Melgaço e Santo Antônio do Leverger, contribuindo com 11,63% na formação do pantanal no Brasil (SILVA E ABDON, 1998).

O ecossistema no Pantanal é influenciado por três tipos de sistemas bióticos que diversificam a fauna e a flora, proporcionando a existência de espécies fitofisionomias distintas. As regiões centrais e a leste do Pantanal são influenciados fortemente pelo Cerrado, já na porção norte há grande contribuição da Amazônia, em especial ao longo do Rio Paraguai onde encontra-se distribuído em sua cabeceira extensas matas ciliares, como na região de Cáceres e Poconé. O sudoeste do Pantanal, regiões próximas aos municípios de Miranda e Aquidauana, se observa a presença de fatores botânicos e climáticos “chaquenho”. É influenciado pelos Chaco paraguaio e

boliviano, pois possui característica de clima mais seco e com grande semelhança à Caatinga do Nordeste brasileiro.

A combinação dos fatores bióticos e abióticos dos três biomas torna as condições e tratamento do ecossistema pantaneiro diversificada e com necessidades ecológicas diferentes de acordo com a região. A região de estudo deste trabalho se concentra na porção nordeste da planície do pantanal, cujos bioma amazônico e cerrado são os mais influentes que os Chacos (BRANDÃO et al., 2011).

A cobertura do Pantanal tem sofrido influências diretas da ação antrópica, principalmente na transformação de áreas de vegetação nativa em áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária. Segundo o padrão de cobertura classificado pelo MapBiomas (2018), o Pantanal pode ser categorizado em classes, tanto de floresta como formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada, corpos d'água e áreas não observadas, havendo uma forte relação entre a queda de áreas florestadas e o aumento significativo de regiões com cobertura voltada para ações do setor agropecuarista.

A área de floresta no Pantanal passou de 6.135.717,88 hectares no ano de 2016 a 5.880.288,34 hectares no ano de 2018, sofrendo uma redução de 4.17%. Em contrapartida o setor agropecuário expandiu suas ações para uma área de 1.707.019,50 hectares no ano de 2016 para 1.852.503,44 hectares no ano de 2018. O redirecionamento de uso e ocupação da terra no pantanal impacta diretamente na disponibilidade de áreas alagadas. Observa-se uma redução nos corpos d'água, que em 2016 havia 364.739,91 ha para 350.869,95 ha no ano de 2018 (MAPBIOMAS, 2018). A cobertura natural do Pantanal tem sofrido pressões antrópicas do oriente para o ocidente, necessitando de medidas que incentivam, de forma emergencial, a conservação dessas regiões.

3.1.1.2. Variáveis micrometeorológicas do Pantanal Mato-grossense.

A região de estudo está na zona climática tropical úmida, dentro da classificação climática de Köppen-Geiger este sistema possui um clima Tropical de

denominação “Aw”. Temperatura média do ar é de $26,0 \pm 0,8^{\circ}C$ e precipitação anual de em torno de 1457 mm (BIUDES, et al. 2015). No verão a temperatura média do ar fica em torno de $27^{\circ}C$ e $29^{\circ}C$ já no inverno fica entre $22^{\circ}C$ e $23^{\circ}C$ (HASENACK, et al. 2003).

O clima na região do Pantanal é similar ao sistema climático do Brasil Central, informações ao longo de 30 anos de distintas estações meteorológicas distribuídas na região, a caracterizam com invernos secos (período seco) e verões chuvosos (período chuvoso). Está sob influência de duas massas de ar com características diferenciadas, uma dessas é quente e úmida (Tropical Marítima) e a outra é uma massa de ar quente e seca (Tropical Equatorial). As massas de ar acarretam a manutenção de temperaturas elevadas em todos os meses do ano.

A período seco é característico dos meses do ano com registros de elevada temperatura do ar em contrapartida com baixos índices de precipitação e umidade relativa do ar. Observações caracterizam os meses de julho, agosto, setembro e outubro como os meses característicos do período seco, os demais são classificados como período chuvoso. Ressalta-se que a região de estudo é peculiar devido aos pulsos de inundação característico do período chuvoso, que em média se inicia no mês de novembro dando a característica de um verão chuvoso.

3.1.2. Medidas de absorção e de espalhamento.

As amostras de aerossóis são coletadas por um *inlet* com corte de entrada de partículas de diâmetro abaixo de $2.5 \mu m$, situado a uma altura de 4 metros acima da superfície. A atmosfera do Pantanal ao longo do ano possui uma variabilidade na umidade do ar, portanto as amostras de aerossóis atmosféricos na área de estudo necessitam de controle de umidade antes das medidas espectrais serem realizadas. A umidade do ar amostrado é controlada em um tubo de sílica em gel, o que torna a umidade relativa constantemente abaixo de 40% antes de sofrer os processos de detecção ótica. A eficácia da sílica em gel na absorção da umidade do ar amostrado não foi testada neste estudo, porém é realizado de forma periódica a troca de sílica. As

sílicas úmidas sofrem um processo de secagem em um forno elétrico por 48 horas a 100°C.

3.1.2.1. Medidas de espalhamento com o Nefelômetro.

O Nefelômetro M9003 mensura o coeficiente de espalhamento da luz em um comprimento de onda ($\lambda = 525 \text{ nm}$), com uma resolução temporal de cinco minutos. As medidas reportadas pelo nefelômetro são referentes ao espalhamento da radiação eletromagnética pelos componentes gasosos e partículas dispostas no ar amostrado. A amostra de ar é coletada pelo *inlet* a uma vazão de 1 L min^{-1} . Após adentrar o equipamento a amostra de ar é bombeada para o interior de uma câmara onde é iluminada e analisada por um tubo fotomultiplicador (Figura 04). Durante este processo, o efeito de espalhamento da luz pelas partículas que compõem a amostra de ar, é analisado sob um anteparo de elevada absorção de luz de modo a diminuir o efeito de espalhamento da luz pelas paredes internas do equipamento.

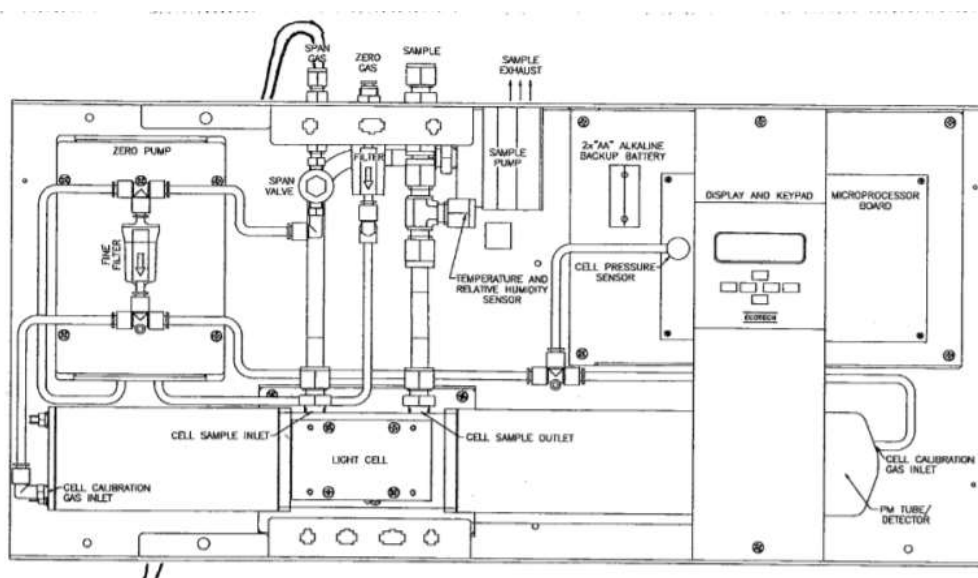


FIGURA 04 - Ilustração da estrutura interna do Nefelômetro M9003.
FONTE: PROGRAM, Air Quality (2009).

3.1.2.2. Medidas de absorção com o Aetalômetro.

O Aetalômetro (Figura 05) mensura a concentração de partículas absorvedoras de radiação eletromagnética, categorizadas por carbono preto ou *black carbon* (BC), em sete comprimentos de onda ($\lambda = 370, 470, 520, 590, 660, 880$ e 950 nm). A fonte amostral de material particulado está disposta em um *inlet*, com fluxo constante de 2 L min^{-1} . O princípio de funcionamento deste equipamento (Figura 06) é baseado nas medidas de atenuação da radiação eletromagnética emitida internamente em uma fita de quartzo, a qual de forma periódica o ar com material particulado é depositado.

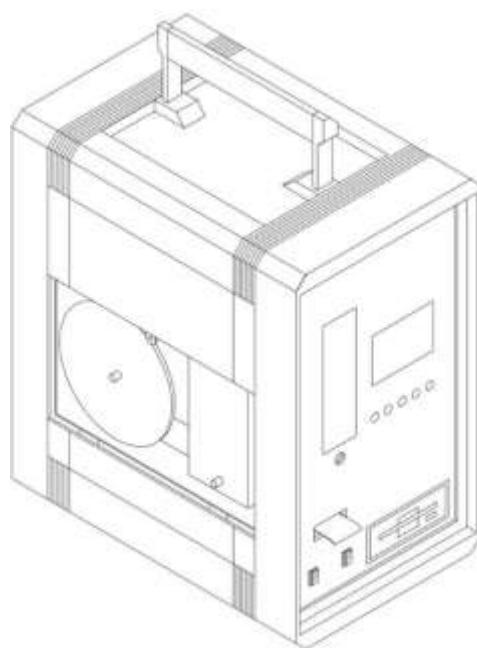


FIGURA 05 - Ilustração da estrutura do Aetalômetro. **FONTE:** Hansen e Schnell (2005)

A atenuação (ATN) da radiação eletromagnética é mensurada tal como exposto pela Equação 12, sendo (I_0) a intensidade da radiação incidente no filtro limpo (sinal de referência), e (I) a intensidade da radiação detectada pelo sensor após a deposição de material particulado no filtro.

$$ATN = 100 \times \ln\left(\frac{I_0}{I}\right); \quad \text{Equação 12}$$

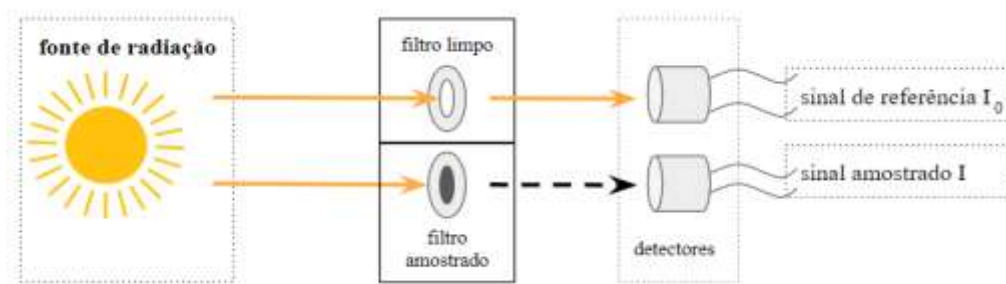


FIGURA 06 - Ilustração do princípio de funcionamento do Aetalômetro modelo AE33. **FONTE:** Elaborada pela autora.

O coeficiente de atenuação ($\sigma(ATN)_{(\lambda)}$) é dado pela variação da atenuação da (ΔATN) detectada pelo sensor do aetalômetro, pelo tempo amostrado (Δt), pela área da fita (A) e pelo fluxo da amostra (Q), as relações de dependência são expressados pela Equação 13.

$$\sigma(ATN)_{(\lambda)} = \frac{A}{Q} \times \frac{\Delta ATN}{\Delta t}; \quad \text{Equação 13}$$

A concentração em massa de carbono negro [$BC_{(\lambda)}$], é reportada em unidades de $\mu \times g \times m^{-3}$, sendo uma medida disponibilizada diretamente pelo Aetalômetro. A [$BC_{(\lambda)}$] é obtida com transformações internas a partir do coeficiente de atenuação da radiação ($\sigma(ATN)_{(\lambda)}$). Seguindo o padrão de funcionamento do equipamento, é possível estabelecer uma relação direta entre a concentração em massa e o $\sigma(ATN)_{(\lambda)}$.

$$[BC_{(\lambda)}] = \frac{\sigma(ATN)_{(\lambda)}}{\alpha(ATN)_{(\lambda)}} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo na Equação 14 a seção de choque de absorção ótica $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ é baseada em uma calibração pelo o método Malissa-Novak, um método de dessorção térmica baseado em solvente para análise de carbono elementar (GUNDEL et al., 1984). $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ é obtida pela relação indireta com o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente (λ) sobre a amostra de ar que contém o material particulado absorvedor da radiação incidente.

$$\alpha(ATN)_{(\lambda)} = \frac{14625}{\lambda} [m^2 g^{-1}]; \quad \text{Equação 15}$$

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Estimativa das propriedades óticas de aerossol.

3.2.1.1. Coeficiente de absorção.

Dados do Aetalômetro disponibilizam medidas de concentração de partículas absorvedora de radiação eletromagnética em sete comprimentos de onda. Levando em consideração as interações ocorridas internamente no processo de detecção da atenuação da radiação, faz necessário realizar um fator corretivo entre o $\sigma(ATN)_{(\lambda)}$ a fim de se obter o $b(\lambda, s)_{abs}$ do material particulado.

O Aetalômetro AE33 afere a concentração de carbono preto em sete canais espectrais ($\lambda = 370, 470, 520, 590, 660, 880$ e 950 nm), cada canal de medida exige a calibração dessas por meio da $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ encontrada pela Equação 15. Obtendo assim, sete valores de $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ que são dependentes diretamente do comprimento de onda da fonte de radiação analisada pelo equipamento, tal como exposto na Tabela 02.

Tabela 02 - Seção de choque de absorção ótica $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ expressada em unidades de $m^2 g^{-1}$.

$\lambda \text{ (nm)}$	370	470	520	590	660	880	950
$\alpha(ATN)_{(\lambda)}$	39.527	31.117	28.125	24.788	22.159	16.619	15.394

Proposto por Weingartner, et al. (2003) o parâmetro mensurado diretamente pelo Aetalômetro pode ser convertido diretamente no $b(\lambda, s)_{abs}$. Portanto, os efeitos radiativos decorrentes do processo de interação da radiação eletromagnética, em determinado comprimento de onda (λ), com o material amostrado na fita do Aetalômetro devem ser levados em consideração no processo de calibração das informações disponibilizadas diretamente pelo Aetalômetro.

No trabalho desenvolvido por Schmid, et al (2006) são apresentados fatores de calibração, o efeito de espalhamento múltiplo (C) e o efeito de sobrecarga de partículas depositadas na fita cuja amostra de ar é depositada (R). A Equação 16 expressa o processo de correção das medidas, considerando as ressalvas propostas pelos trabalhos citados anteriormente.

$$b(\lambda, s)_{abs} = \sigma(ATN)_{(\lambda)} \times \frac{I}{C \times R} \quad \text{Equação 16}$$

Reagrupando as relações anteriores, o $b(\lambda, s)_{abs}$ do material particulado em suspensão na região de estudo pode ser expresso pela seguinte relação:

$$b(\lambda, s)_{abs} = BC_{(\lambda)} \times \alpha(ATN)_{(\lambda)} \times \frac{I}{C \times R} \quad \text{Equação 17}$$

Na Equação 17 $BC_{(\lambda)}$ é uma variável reportada diretamente pelo Aetalômetro em $\mu \times g \times m^{-3}$, nos comprimentos de onda 370, 470, 520, 590, 660, 880 e 950 nm, e mensuradas a cada 10 minutos, bem como $b(\lambda, s)_{abs}$ é expresso em unidade de Mm^{-1} .

No desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os dados amostrais do Aetalômetro no comprimento de onda de 520 nm, bem como a $\alpha(ATN)_{(520 \text{ nm})}$ (estimada pela relação expressa na Equação 15). Os parâmetros C e R foram tomados como constantes na presente análise e obtidos para o comprimento de onda de 520 nm, segundo o trabalho desenvolvido por Romera (2019), sendo respectivamente $5,15 \pm 1 \times 10^{-1}$ e $1,02 \pm 6 \times 10^{-2}$. Os valores de $\alpha(ATN)_{(\lambda)}$ são expressados na Tabela 02, foi utilizado na estimativa de $b(\lambda, s)_{abs}$ o $\alpha(ATN)_{(520 \text{ nm})}$ sendo este de aproximadamente $28.125 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$.

Com a finalidade de obter uma análise padronizada das propriedades dos aerossóis é necessário que o cálculo dessas esteja sob a mesma faixa espectral. Sendo assim o $b(\lambda, s)_{abs}$ será estimado pela Equação 17, no comprimento de onda de 520 nm ($b(520 \text{ nm}, s)_{abs}$), posteriormente será interpolado para o comprimento de onda de 525 nm sendo a faixa de operação do modelo do Nefelômetro utilizado neste trabalho. A Equação 18 expressa o processo de interpolação entre comprimentos de onda distintos, o parâmetro $\alpha(370, 590)$ equivale ao coeficiente angstrom de absorção, calculado nos comprimentos de onda de 370 nm a 590 nm.

$$b(525 \text{ nm}, s)_{abs} = b(520 \text{ nm}, s)_{abs} \times \left(\frac{525}{520}\right)^{-\alpha(370-590)} \quad \text{Equação 18}$$

3.2.1.2. Coeficiente de espalhamento.

Anderson e Ogren (1998) apresentam um estudo teórico para a correção das medidas de espalhamento aferidas pelo Nefelômetro, indicando fatores de ajuste devido as características de dispersão da radiação eletromagnética usualmente tomados como erros de truncagem. De acordo com Sheridan, et al (2002) os erros associados as medidas de espalhamento são devidas ao ruído do instrumento, varia de 0,13% a 5%, a incerteza na calibração de 7% e a incerteza associada à correção e erros de truncagem em 2,2% para partículas finas e 28% para partículas grossas.

Na análise do espalhamento da radiação, no comprimento de onda de 550 nm , assume-se um fator de correção constante de aproximadamente 0,982 (ANDERSON e OGREN, 1998). O modelo M9003 utilizado neste trabalho oferece o espalhamento da radiação eletromagnética em um comprimento de onda, sendo este de 525 nm . Ressalta-se as correções sugeridas por Anderson e Ogren (1998), necessitam de aferições em mais de um comprimento de onda do mesmo material amostrado. O coeficiente de espalhamento ($b(525 \text{ nm})_{esp}$) explorado neste trabalho, equivale aos valores reportados diretamente pelo Nefelômetro em operação durante os anos de estudo, e são expressados em unidades de Mm^{-1} .

$$b(525 \text{ nm})_{esp} = b_{Nefelômetro \text{ M9003}} \quad \text{Equação 19}$$

3.2.1.3. Coeficiente de extinção.

Por meio dos coeficientes de absorção ($b(525 \text{ nm})_{abs}$) e espalhamento ($b(525 \text{ nm})_{esp}$), o coeficiente de extinção ($b(525 \text{ nm})_{ext}$) será mensurado pela Equação 04 em unidades de Mm^{-1} .

3.2.1.4. Profundidade ótica de extinção.

Conforme exposto nas seções anteriores, a profundidade ótica de extinção $AOD_{ext}(\lambda)$ é definida em termos do coeficiente de extinção, expressada pela Equação 08. Obtendo o $b(525\text{ nm})_{ext}$, a $AOD_{ext}(\lambda)$ pode ser mensurada em determinado caminho ótico. A atenuação da radiação solar devido aos constituintes atmosféricos ocorre em todas as camadas da atmosfera, desde o topo até a superfície terrestre. Stull (1998), reporta a baixa troposfera como a camada da atmosfera onde os processos da superfície terrestre a influencia diretamente, tal como transferência de calor, evaporação e transpiração, emissão de poluentes dentre outros. A espessura desta camada é bastante variável no tempo e no espaço, variando em ordem de grandeza de metros a alguns quilômetros.

Conforme o trabalho de Procópio (2005), assumiu-se que o material particulado é distribuído de maneira homogênea na vertical da baixa troposfera, com espessura constante de 1600 metros de altitude. Desta forma, $AOD_{ext}(\lambda)$ será obtida no mesmo comprimento de onda de $b(525\text{ nm})_{ext}$ e será calculada tal como a Equação 20.

$$AOD(525\text{ nm}) = m \int_0^{1600} b_{ext,525\text{ nm}} ds \quad \text{Equação 20}$$

3.2.1.5. Albedo de espalhamento simples.

O albedo de espalhamento simples ($SSA_{525\text{ nm}}$) pode ser estimado pela razão entre o coeficiente de extinção e o coeficiente de espalhamento, do mesmo modo como expresso pela Equação 10.

3.2.1.6. Coeficiente angstrom de absorção.

Os valores do coeficiente de absorção em dois comprimentos de onda distintos, ($\lambda_1 = 370\text{ nm}$ e $\lambda_2 = 590\text{ nm}$) serão submetidos a Equação 11 a fim de se estimar o coeficiente angstrom de absorção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. VARIABILIDADE TEMPORAL E SAZONAL DAS PROPRIEDADES ÓTICAS DE AEROSSÓIS.

As propriedades óticas dos aerossóis estão relacionadas ao tipo de material em suspensão na atmosfera, do tamanho desses, da forma de transporte, tal como o tempo de permanência. O comportamento dos coeficientes de absorção e de espalhamento é crucial para se avaliar o impacto da camada de aerossóis no balanço radiativo global. A Figura 07 reúne as séries temporais do coeficiente de extinção (b_{ext}), calculadas a partir dos coeficientes de absorção (b_{abs}) e de espalhamento (b_{esp}) medidos na altura do dossel, bem como as séries temporais de profundidade ótica de extinção (AOD) no Pantanal Mato-grossense, ressaltando desde já que o período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.

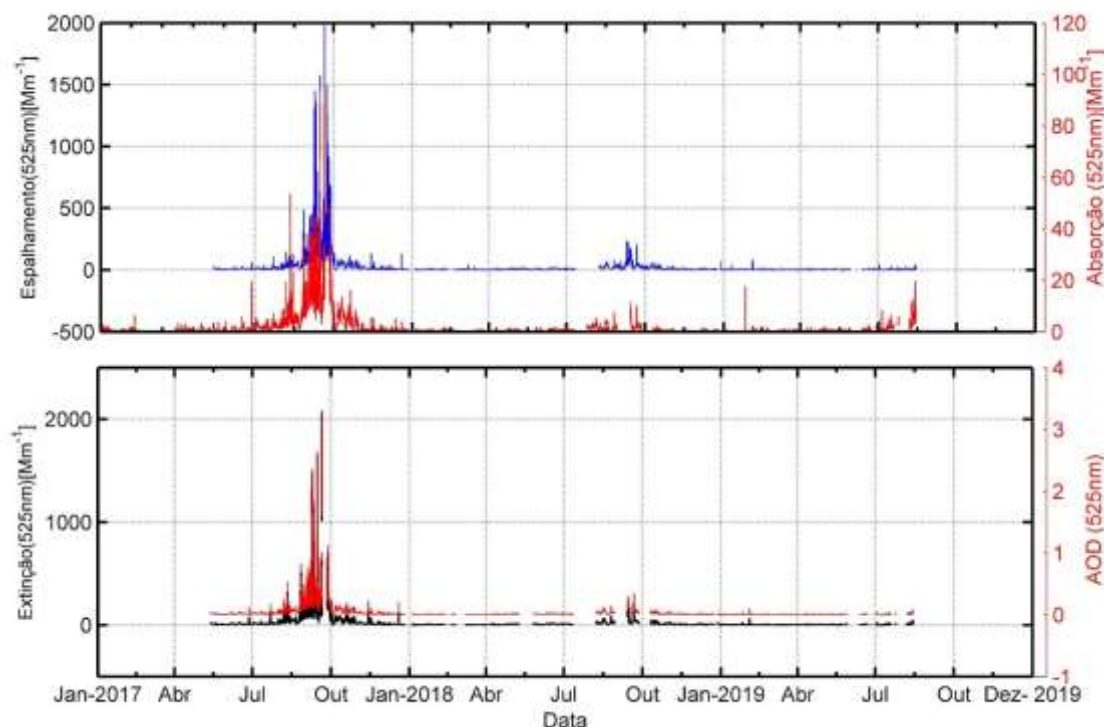


FIGURA 07 - Variabilidade temporal das propriedades extensivas dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense. Na primeira caixa os grafos destacados em vermelho representa o $b_{abs,525nm}$ e em azul o $b_{esp,525nm}$, já na segunda caixa o $b_{ext,525nm}$ está destacado pelo grafo em preto e AOD (525nm) em vermelho.

FONTE: Elaborada pela autora.

Os meses de julho, agosto, setembro e outubro é característico de um aumento nas propriedades óticas ao longo dos três anos investigados, infere-se que estes meses constituem o período seco da região. Ao analisarmos o comportamento dos coeficientes de $b_{esp,525nm}$ e $b_{abs,525nm}$ no Pantanal, é possível observar que esses são mais acentuadas durante o período seco enquanto que no período chuvoso estas propriedades são atenuadas e menos variáveis. O comportamento ameno das propriedades óticas durante o período chuvoso pode ser característico da atmosfera do Pantanal Mato-grossense.

Observa-se uma elevada amplitude dos parâmetros para o ano de 2017 em comparação ao mesmo intervalo de tempo nos anos de 2018 e 2019, infere-se que este aumento é devido à contribuição antropogênica acentuada neste ano. Os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro são considerados como representativos para o período de queima de biomassa no sítio Baía das Pedras, devido a intensificação dos focos de queimadas e, portanto, sob condições de atmosfera mais carregada.

O período seco 2017 apresentou valores médios dos coeficientes de absorção e de espalhamento de aerossóis, respectivamente 180,26% e 877,78% maiores do que os valores observados no período seco 2019 (Tabela 03). Isso pode ser um resultado do aumento da ocorrência de focos de incêndio em municípios e em distritos localizados próximo a região de estudo durante o ano de 2017, em comparação com 2019. O fato da média de $b_{esp,525nm}$ ser mais elevados do que o $b_{abs,525nm}$ em 2017 pode ser inesperado a princípio. No entanto, sugere-se que no período seco as massas de ar que chegam ao local das medições são compostas de fumaça de distintos estágios e idades de chama. É razoável que os coeficientes de espalhamento e absorção de partículas variem de acordo com diferentes fatores, dependendo das características da pluma e das condições atmosféricas. Ressalta-se o período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.

No ano de 2018 durante o período seco, o $b_{abs,525nm}$ apresentou valor médio de aproximadamente $1.275 \pm 0.018 \text{ Mm}^{-1}$ enquanto que no mesmo período a média de $b_{esp,525nm}$ foi de $21.455 \pm 0.284 \text{ Mm}^{-1}$. Os valores médios apresentados por $b_{abs,525nm}$ e $b_{esp,525nm}$ durante o período seco do ano de 2018 indicam uma

predominância de aerossóis espalhador da radiação solar. Reid et al. (2005) afirma que os incêndios de desmatamento ficam no estágio de brasa por um tempo significativo, emitindo material particulado com elevada taxa de emissividade o que acomete a atmosfera uma redução nos processos de absorção e um aumento no espalhamento da radiação, concomitante ao pequeno teor de carbono negro. Os valores de $b_{esp,525nm}$ são mais elevados do que o $b_{abs,525nm}$ durante o período seco, segundo Reid et al. (2005) esta discrepância entre os parâmetros podem estar associada ao processo de queima de biomassa nas regiões do Pantanal. A pluma emitida a atmosfera em grandes queimadas acentua o processo de espalhamento da radiação eletromagnética do que em relação ao processo de absorção, porém ressalta-se que ambos ocorrem de forma concomitante.

Durante o período chuvoso do ano de 2017 observa-se que o valor médio do $b_{abs,525nm}$ foi de $0.648 \pm 0.005 Mm^{-1}$, enquanto o $b_{esp,525nm}$ alcançou a média de aproximadamente $8.873 \pm 0.094 Mm^{-1}$. Os valores observados para o período chuvoso de 2017 do $b_{abs,525nm}$ e $b_{esp,525nm}$ são 1,98 e 2,47 vezes maior do que os valores observados no mesmo período para o ano de 2019. O período chuvoso do ano de 2018 apresentou valores médios do $b_{abs,525nm}$ de aproximadamente $0.403 \pm 0.003 Mm^{-1}$, enquanto o $b_{esp,525nm}$ foi de $5.741 \pm 0.042 Mm^{-1}$, sendo estes valores respectivamente 1,23 e 1,59 vezes maiores do que os valores observados durante o ano de 2019.

De acordo com os trabalhos de Andreae et al., (2015) e Holanda, (2015), durante a período chuvoso as propriedades óticas de aerossóis em ambiente de floresta nativa apresentam menor variabilidade em razão a baixas concentrações de material particulado na atmosfera. Os estudos desenvolvidos na floresta Amazônica reportam semelhante tendência de variação sazonal do $b(\lambda, s)_{abs}$ mensurado no comprimento de onda de 670 nm, para o ano de 2014 com média de $3.41 Mm^{-1}$ durante o período seco, em contraste a média de $b_{abs,670 nm}$ para o período chuvoso foi de $0.52 Mm^{-1}$. Neste mesmo estudo, o coeficiente de espalhamento mensurado no comprimento de onda de 550 nm alcançou a média de $23 \pm 11 Mm^{-1}$ durante o período seco enquanto no período chuvoso a média do $b_{esp,550 nm}$ foi equivalente a $6.4 \pm 6.5 Mm^{-1}$.

Tabela 03 - Variabilidade sazonal ano a ano dos coeficientes de absorção ($b_{abs,525nm}$) e espalhamento ($b_{esp,525nm}$) referentes a banda espectral de 525 nm, para os períodos chuvoso e seco dos aerossóis no Pantanal Mato-grossense (*média ± erro padrão*). *período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.

Período	$b_{abs,525nm} [Mm^{-1}]$	$b_{esp,525nm} [Mm^{-1}]$
Seco 2017	5.31 ± 0.12	43.18 ± 1.30
Seco 2018	1.27 ± 0.01	21.45 ± 0.28
Seco 2019*	1.89 ± 0.05	4.42 ± 0.12
Chuvoso 2017	0.65 ± 0.005	8.87 ± 0.09
Chuvoso 2018	0.41 ± 0.003	5.74 ± 0.042
Chuvoso 2019	0.32 ± 0.003	3.59 ± 0.030

Os resultados encontrados no Pantanal Mato-grossense corroboram com a estimativa de que a sazonalidade apresentada pelos coeficientes de absorção e espalhamento é influenciada pelo processo de remoção de aerossóis por deposição úmida durante o período chuvoso e durante o período seco pela intensificação da queima de biomassa.

A interação das partículas presentes na atmosfera com a radiação solar pode ser avaliada pelo albedo de espalhamento simples (SSA), uma propriedade intrínseca ao aerossol. O SSA é um parâmetro comumente utilizado como um indicativo das contribuições, devido ao aerossol, na extinção da radiação eletromagnética, seja este, a capacidade em espalhar ou absorver. SSA com valor próximo a 1 é um indicativo da presença de aerossóis espalhadores enquanto valores de 0,1 a 0,6 indicam a predominância de partículas absorvedoras.

O SSA foi estimado na faixa espectral de 525 nm, apresentando valor médio de todo o triênio de 0.89 ± 0.12 para o período chuvoso e de 0.87 ± 0.02 para o período seco. Comportamento semelhante do $SSA_{525\text{ nm}}$ foi constatado no trabalho desenvolvido por Romera (2019), a qual obteve média de 0.91 ± 0.03 para o período chuvoso, enquanto que no período seco a média de $SSA_{525\text{ nm}}$ foi de 0.88 ± 0.04 para o ano de 2017. Avalia-se por meio do $SSA_{525\text{ nm}}$ que durante o período chuvoso ocorre de forma predominante o processo de espalhamento da radiação solar enquanto no período seco verifica-se a intensificação dos processos absorptivos.

A Figura 08 reporta o ano característico dos coeficientes de absorção, espalhamento tal como o comportamento conjunto do albedo de espalhamento simples do aerossol, ressalta-se que os valores são distintos tanto por período quanto por ciclo anual e que o ciclo anual de 2019 está incompleto sob o viés periódico, o qual neste período seco os parâmetros são contabilizados até o dia 14 de setembro.

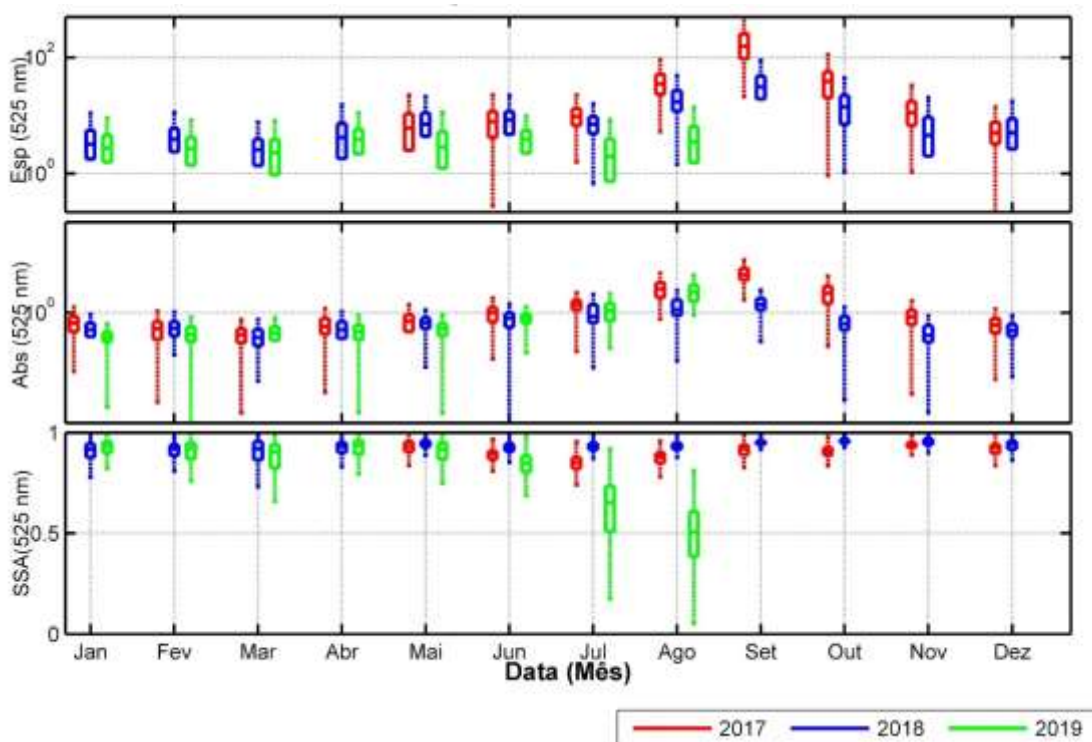


FIGURA 08 - Ano característico dos coeficientes $b_{esp,525nm} [Mm^{-1}]$, $b_{abs,525nm} [Mm^{-1}]$ e $SSA_{525\text{ nm}}$. Os grafos destacados em vermelho, azul e verde são referentes aos anos de 2017, 2018 e 2019 respectivamente. **FONTE:** Elaborada pela autora.

Observa-se que durante os meses do período seco (julho, agosto, setembro e outubro), os valores médios de $SSA_{525\text{ nm}}$ possui tendência em diminuir de magnitude em relação aos demais meses anuais. Holanda et al., (2019) constatou tendência semelhante nas observações realizadas na Amazônia central, o qual encontrou uma população de aerossóis fortemente absorvedor durante o mês de agosto, com SSA de 0.85 ± 0.02 , posteriormente durante o período chuvoso há um aumento no potencial em espalhar, bem como nos valores de SSA , para o mês de novembro foi encontrando valores de SSA de 0.90 ± 0.03 .

Durante o ano de 2017 o $SSA_{525\text{ nm}}$ diminuiu em valor no mês de junho, retornando para valores próximos a 1 durante o mês de setembro, esta queda é ligeiramente menos acentuada para o ano de 2018. Em relação ao ano de 2019, o $SSA_{525\text{ nm}}$ possui uma queda abrupta observada a partir do mês de julho e perpetuando a queda no comportamento para o mês de agosto.

$SSA_{525\text{ nm}}$ no período seco 2017 foi 52% superior em relação ao mesmo período de 2019, para o período chuvoso deste mesmo ano o $SSA_{525\text{ nm}}$ foi aproximadamente 6% superior em relação aos valores encontrados para $SSA_{525\text{ nm}}$ no período chuvoso 2019. O comportamento do $SSA_{525\text{ nm}}$ para o período seco 2018 foi 63% superior em relação ao encontrado para o mesmo período seco 2019. Foi observado durante o período chuvoso 2018 um aumento de 4,4% de $SSA_{525\text{ nm}}$ em relação ao mesmo período do ano de 2019.

A elevação do $SSA_{525\text{ nm}}$ entre os anos fica evidenciado que o período seco é o mais suscetível a variações enquanto no período chuvoso há uma modificação singular. Pesquisas desenvolvidas para a bacia Amazônica reportam comportamento semelhante para o $SSA_{525\text{ nm}}$ durante os meses de período seco. Artaxo et al. (2009) atribui este efeito aos aerossóis emitidos em queimadas, como a fuligem da combustão de biomassa, sendo este um material particulado fortemente absorvedor de radiação.

Saturno et al., (2018) enfatizam que a elevada taxa absorptiva é devido a presença de aerossóis do tipo *brown carbon* oriundos do processo de queima de

biomassa na região central da Amazônia. Constata-se certa predominância de material particulado de tipo *brown carbon* no período seco para a região de estudo, sendo necessário uma investigação específica acerca dos estágios de combustão de biomassa, bem como o tempo de permanência desses na atmosfera local (WONG et al., 2019). Estudos anteriores, realizados na região do Pantanal, reportam valores médios de $SSA_{440\text{ nm}}$ de 0.85 ± 0.09 durante os meses de seca e 0.81 ± 0.14 para o período chuvoso (PALÁCIOS, 2017)

Os valores médios por período são apresentados na Tabela 04 o qual pode-se inferir a pequena variabilidade sazonal de $SSA_{525\text{ nm}}$ para o ano de 2018, reporta-se que neste ano o material particulado presente na atmosfera possui característica distinta entre os períodos chuvoso-seco, sendo superior em número durante o período seco. Entretanto, fica evidente que o ano de 2019 ao longo do período seco, a atmosfera sofreu significativas influência de partículas fortemente absorvedoras, em relação aos demais anos de análise, o valor máximo encontrado para $SSA_{525\text{ nm}}$ foi de 0.88 e mínimo de 0.02.

Tabela 04 - Valores médios do albedo de espalhamento simples na faixa espectral de 525nm e respectivos desvios padrão (*média $\pm$ erro padrão*).

	2017		2018		2019	
Período:	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
$SSA_{525\text{ nm}}$	0.9142 ± 0.0015	0.8842 ± 9.69 $\times 10^{-4}$	0.9017 ± 0.0025	0.9454 ± 6.83 $\times 10^{-4}$	0.8637 ± 0.0037	0.5802 ± 0.0116

Estimativas da quantidade de material opticamente ativo presente na coluna atmosférica é de suma importância na avaliação do impacto dessas no balanço radiativo, devido a relação direta entre a carga de partículas e a interação com a radiação nos efeitos de espalhamento e absorção, bem como na extinção da radiação. A profundidade ótica é um parâmetro derivado da estimativa do coeficiente de extinção (b_{ext}) dos aerossóis, integrado a altura vertical da baixa troposfera.

Ao longo de todo o período analisado constata-se que $AOD(525\text{ nm})$ possui uma sazonalidade muito bem delineada ao comportamento de $b_{ext,525nm}$, com picos de máximas observados no ano de 2017. Estudos realizados em ambiente de floresta (ARTAXO et al., 2009) retratam que a variabilidade na composição da atmosfera refletem de forma direta no comportamento da $AOD(525\text{ nm})$, sendo intensificada em períodos classificados pela queima de matéria orgânica e atenuado com a deposição úmida do material particulado devido a ação da precipitação. Os valores médios sazonais e interanuais do $b_{ext,525nm}$ tal como de $AOD(525\text{ nm})$, estão dispostos na Tabela 05.

Tabela 05 - Valores médios do coeficiente de extinção ($b_{ext,525nm}$)[Mm^{-1}] e da profundidade ótica de extinção (AOD)[*adimensional*] na faixa espectral de 525 nm (*média $\pm$ erro padrão*).

Ano:	2017		2018		2019	
Período:	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
$b_{ext,525nm}$	9.4714 ± 0.0957	37.1658 ± 1.3370	6.4101 ± 0.0497	19.4903 ± 0.3229	3.9369 ± 0.0347	5.5711 ± 0.1994
$AOD(525nm)$	0.0133 ± 2.1047 $\times 10^{-4}$	0.0695 ± 0.0033	0.0085 ± 8.655 $\times 10^{-4}$	0.0282 ± 8.1400 $\times 10^{-4}$	0.0057 ± 5.568 $\times 10^{-5}$	0.0084 ± 3.3157 $\times 10^{-4}$

O período seco 2017 apresentou valores médios de $b_{ext,525nm}$ e da $AOD(525nm)$, respectivamente 6,67 e 8,27 vezes maiores que os valores observados no período seco 2019 (Tabela 05). Durante o ano de 2018 o período seco apresentou um comportamento médio do coeficiente de extinção e $AOD(525nm)$ de aproximadamente 3,4 vezes maior do que os valores observados para o mesmo período no ano de 2019 (Tabela 05). O período seco em 2017 possui a maior média sazonal em relação aos demais anos investigados, atribui este resultado a provável intensificação de queima de biomassa ocorrida neste ano, acarretando uma elevada extinção da radiação solar em decorrência da população de aerossóis presente na coluna atmosférica. Nesse sentido buscamos comparar as variações no registro de AOD da rede AERONET no site Cuiabá-Miranda, a 190 km da área de estudo com a

série estimada de *AOD in situ*. Na Figura 09 observa-se que as duas séries temporais de *AOD* possuem tendências semelhantes, com período seco de elevados registros em relação ao período chuvoso, em todo o triênio explorado neste estudo.

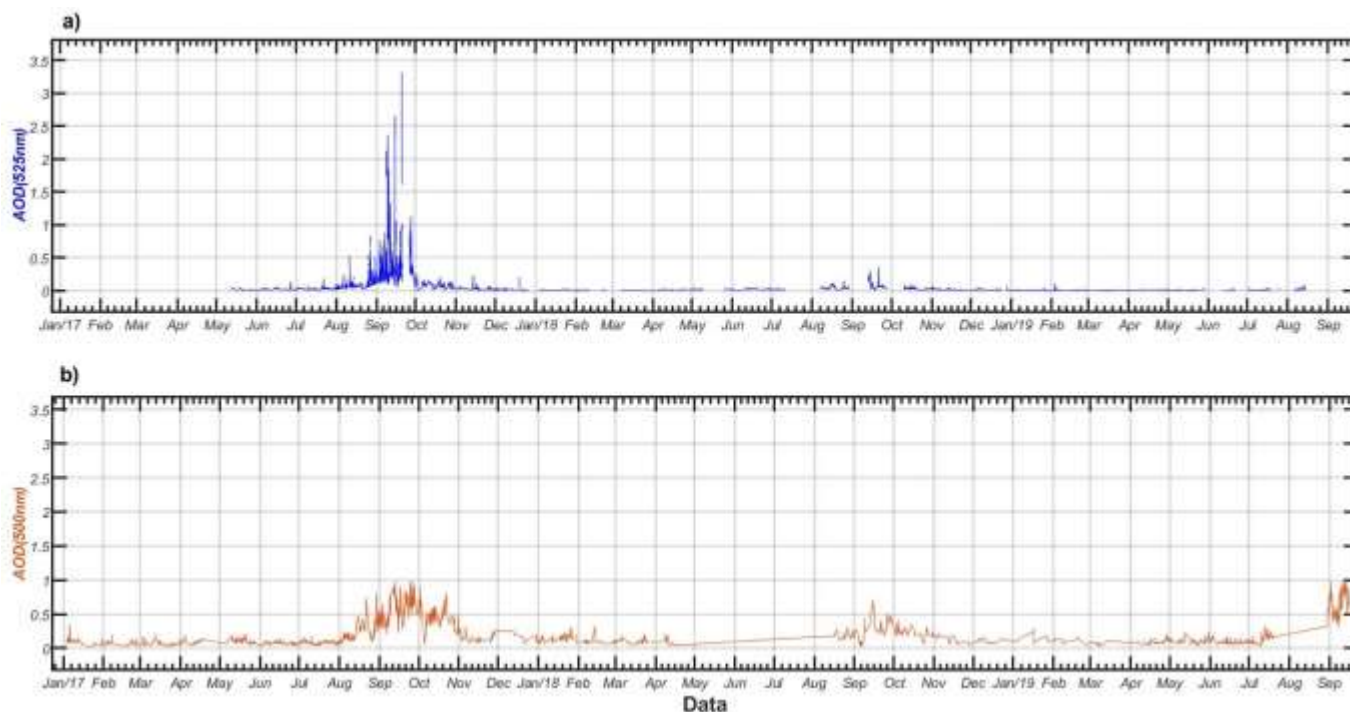


FIGURA 09 -Séries temporais da profundidade ótica. a) *AOD* (525 nm) calculada *in situ*. b) *AOD* (500 nm) disponibilizada pela AERONET site Cuiabá-Miranda.

Buscou-se analisar a influência dos parâmetros óticos do material particulado em suspensão na atmosfera no processo de atenuação da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR - 400 – 700 nm) em superfície. A Figura 10 apresenta as médias semanais da *AOD* (525 nm) tal como da PAR incidente em todo o período estudado, concomitante a variabilidade destes. Na análise do comportamento de PAR incidente em superfície da área de estudo o particionamento entre dias claros e dias nublados não foi realizado, sendo considerado os dados reportados diretamente pelo Sensor Quantum modelo LI190SB da Campbell Scientific.

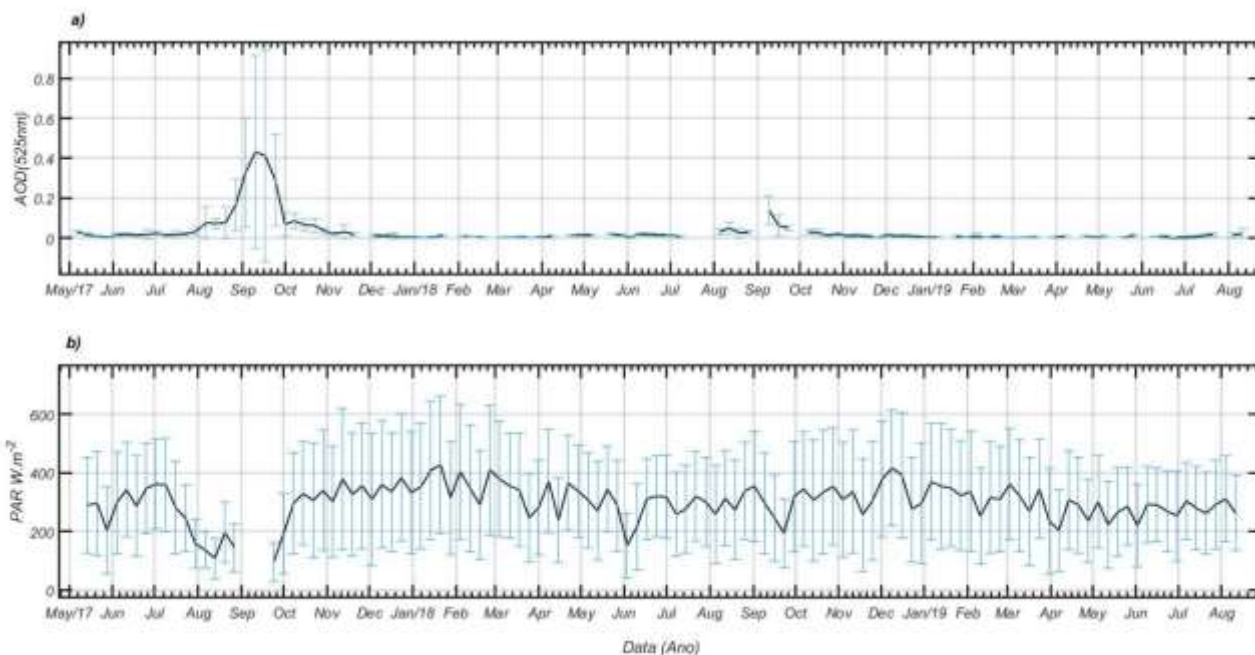


FIGURA 10 - Série histórica com médias semanais e respectivos valores de desvio padrão da, a) Profundidade ótica de extinção $AOD(525\text{ nm})$ e b) Radiação fotossinteticamente ativa - PAR. **FONTE:** Elaborada pela autora.

Observa-se uma relação inversa entre a $AOD(525\text{ nm})$ e a PAR incidente na superfície do Pantanal Mato-grossense. Eck et al., (1998) enfatiza que os principais parâmetros óticos dos aerossóis que influenciam no processo de atenuação da radiação solar é a AOD bem como o SSA . O comportamento desses devem ser levados em consideração na análise dos efeitos radiativos decorrentes da presença de material particulado na coluna da atmosfera do Pantanal Mato-grossense.

A máxima de $AOD(525\text{ nm})$ foi de 3.31 apurada durante o período seco 2017, neste mesmo período o comportamento médio de $SSA_{525\text{ nm}}$ foi 0.88. Observa-se que na transição do período seco-chuvoso o processo de atenuação da PAR é reduzido, concomitante ao comportamento do $SSA_{525\text{ nm}}$ que é elevado de 0.8 para 0.9. Ressalta-se que o comportamento médio do $b_{ext,525\text{ nm}}$ na transição entre períodos seco-chuvoso é coerente ao processo observado na Figura 10, pois este decai de 37.1 Mm^{-1} para 9.4 Mm^{-1} no ano de 2017. Nos demais anos, observa-se que o decaimento no $b_{ext,525\text{ nm}}$ são menos acentuados em relação a 2017 entre os períodos seco-chuvoso.

Semelhante relação de atenuação da PAR durante o período seco (01 de agosto - 30 de setembro de 1995) foi encontrada em uma região próxima ao local de estudo (15.50" S, 56.00°W), uma redução estimada entre 20% a 32% para $SSA_{550\text{ nm}}$ equivalente a 0.80, enquanto que um aumento em $SSA_{550\text{ nm}}$ acarreta um decréscimo na redução da PAR (ECK et al., 1998). Regiões cuja média de AOD é elevada ocorre uma redução em até 45% na PAR enquanto locais cuja atmosfera é menos carregada, com valores inferiores de AOD, observa-se uma redução de 23% na PAR (ECK et al., 1998). Ressalta-se a necessidade de investigações mais profundas acerca da interferência direta entre a carga de aerossóis e os processos de interação da PAR no Pantanal Mato-grossense, visto que nuvens são agentes no processo de atenuação da PAR bem como plumas de fumaça gerada no processo de queima de biomassa.

O coeficiente angstrom de absorção $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ é um parâmetro comumente utilizado na investigação da dependência espectral do coeficiente de absorção ($b_{abs, \lambda}$) ao tipo de aerossol em razão de suas propriedades físicas e químicas. Foi utilizado o $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$ a fim de obter uma estimativa dos tipos de aerossol absorvedor por meio da equação 08, com $\lambda_1 = 370\text{ nm}$ e $\lambda_2 = 590\text{ nm}$ (Tabela 06).

Tabela 06 - Valores médios do coeficiente angstrom de absorção $\alpha(370, 590)$ e respectivos desvios padrão (*média $\pm$ erro padrão*). *O período seco 2019 é referente a amostra de informações coletadas até o dia 14 de setembro.

Período:	2017		2018		2019	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	*Seco
$\alpha(370, 590)$	1.4547 ± 0.0117	1.8319 ± 0.0106	1.4731 ± 0.0116	1.6358 ± 0.0081	1.4146 $\pm$ 0.0135	1.7932 ± 0.0182

Durante todo o período chuvoso o $\alpha(370, 590)$ apresentou valor médio equivalente a 1.44 ± 0.0071 , enquanto em todo o período seco a média foi de 1.74 ± 0.0066 . A relação sazonal reportada pelo comportamento médio do $\alpha(370, 590)$ aponta que durante o triênio investigado, o material particulado presente na atmosfera do local de estudo sofre significativas modificações. Infere-se a presença de *brown*

carbon, ao longo do período seco, corroborada pela predominância de queima de matéria orgânica, enquanto a redução em $\alpha(370,590)$ para o período chuvoso se deve a presença de material particulado de origem biogênica. A Figura 11 apresenta um histograma de frequência de $\alpha(370,590)$ no período chuvoso e seco de todos os anos investigados.

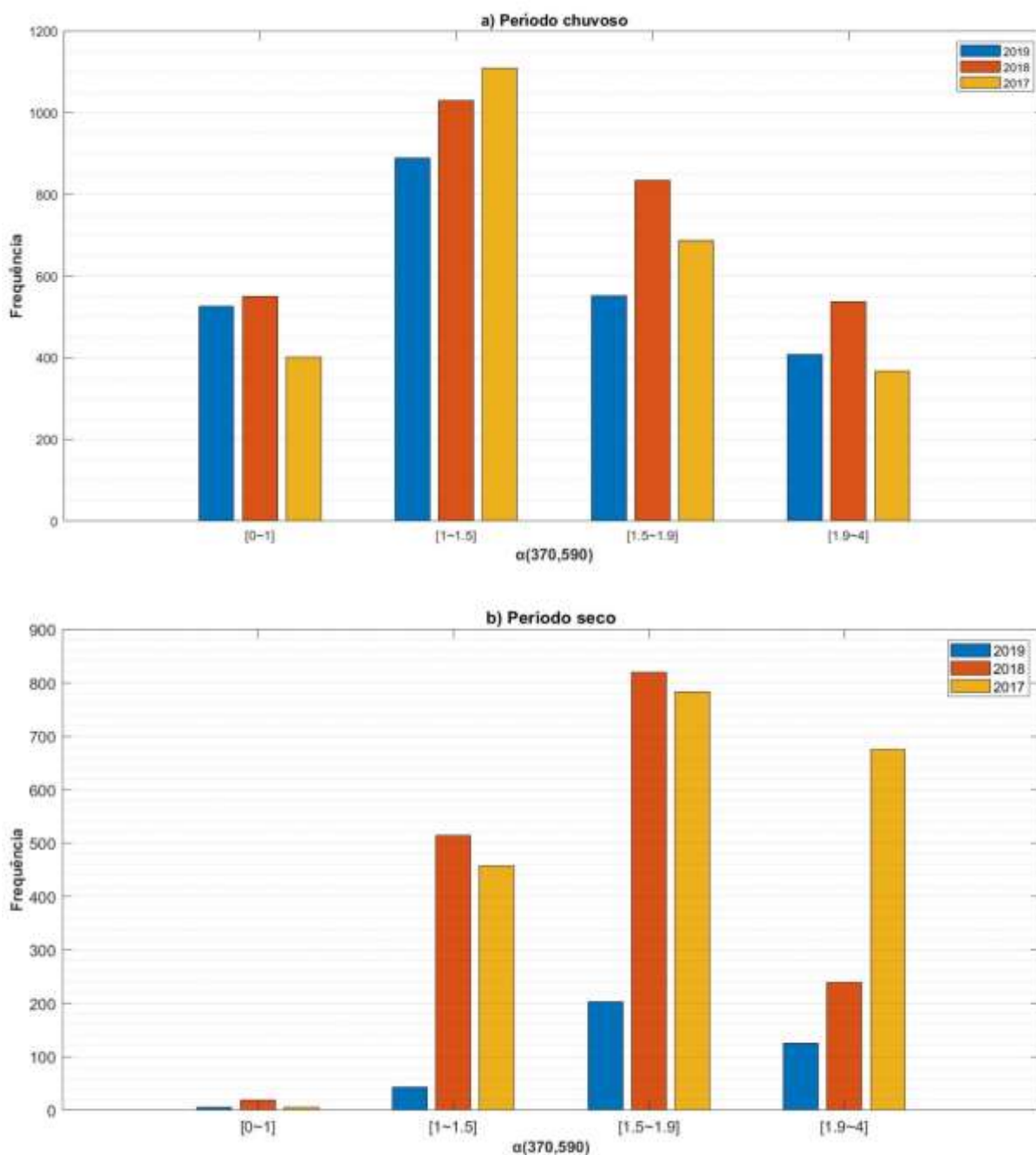


FIGURA 11 – Histograma de frequência de $\alpha(370,590)$ durante o período chuvoso (a) e durante o período seco (b). As barras amarelas, laranjadas e azuis representam os anos de 2017, 2018 e 2019 respectivamente.

Semelhante relação foi constatada na margem sudoeste da Bacia Amazônica, com valores de $\alpha(450,615)$ durante o período seco de 1.9 ± 0.5 enquanto no período chuvoso (úmido) 1.6 ± 0.7 (RIZZO et al., 2011), sendo justificado pela variação local do regime micrometeorológico o qual há reduções significativas na emissão e transporte de aerossóis de queima de matéria orgânica do período seco para o chuvoso. Rizzo et al., (2011) ressalta a ocorrência na variabilidade dos valores de $\alpha(\lambda_1, \lambda_2)$, pois este parâmetro possui forte dependência com a faixa espectral da radiação em análise, podendo haver uma maximização em até 10%.

No ano de 2017, o $\alpha(370,590)$ apresentou valores em média para o período chuvoso de 1.45 ± 0.01 , enquanto o período seco deste mesmo ano a média encontrada foi de 1.83 ± 0.01 . Durante o período chuvoso do ano de 2018, $\alpha(370,590)$ alcançou o valor médio de 1.47 ± 0.01 , ao passo que no período seco a média de $\alpha(370,590)$ foi de 1.63 ± 0.008 . Para o ano de 2019, o valor médio $\alpha(370,590)$ foi equivalente a 1.41 ± 0.01 para o período chuvoso e no período seco alcançou a média de 1.79 ± 0.01 . Os valores de $\alpha(370,590)$ interanuais durante o período seco apontam um aumento de 2.1 % em 2017 em relação ao mesmo período do ano de 2019. As variações interanuais para o período chuvoso apresentaram um aumento de 2.8% para 2017 e 4,2% para 2018 em relação ao mesmo período do ano de 2019.

4.2. INFLUÊNCIA DE FATORES EXÓGENOS.

A atmosfera terrestre é um sistema dinâmico interligado aos processos que ocorrem em superfície. Busca-se avaliar o comportamento de fatores influenciadores na população de material particulado presente na atmosfera da região de estudo. Foi realizado um estudo paralelo ao comportamento das propriedades óticas de aerossóis do regime micrometeorológico tal como de fatores antropológicos, visando incrementar em discussão os resultados de caracterização ótica de aerossóis.

No monitoramento dos parâmetros micro meteorológicos da área de estudo, foram utilizados dados reportados por sensores e equipamentos, disponíveis na BAAP-UFMT descritos na Tabela 01. O estudo de fatores antropológicos foi realizado com as informações disponíveis pelo sistema de monitoramento de focos de queimada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. O INPE, por meio do Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios, mensura a quantidade de focos de queimada (FQ), disponibilizando dados e boletins técnicos no endereço eletrônico disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Foram utilizados neste trabalho informações acerca da quantidade de FQ registrados no estado de Mato Grosso durante os meses do ano de 2017, 2018 e 2019, ressalta-se que as informações coletadas do ano de 2019 são referentes até o dia 14 do mês de setembro.

4.2.1. Fatores ecossistêmicos.

A Figura 12 apresenta o comportamento do escoamento atmosférico em intensidade e direção predominante durante os períodos chuvoso e seco dos anos de 2017, 2018 e 2019. Uma média de quatro horas foi realizada nos dados de velocidade e direção do vento para as análises de escoamento do vento.

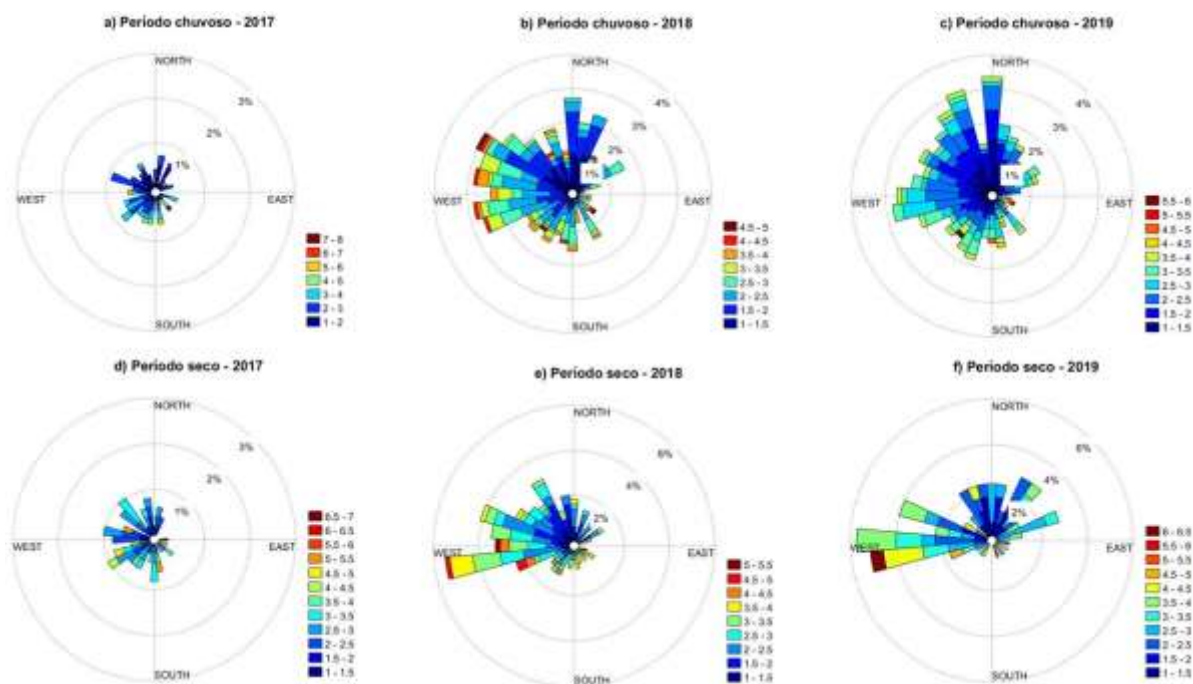


FIGURA 12 - Rosa dos ventos. Valores médios a cada 4 horas (m/s) e direção do vento. a) e d) Período chuvoso e seco do ano de 2017 respectivamente. b) e e) Período chuvoso e seco de 2018 respectivamente. c) e f) Período chuvoso e seco de 2019 respectivamente. **FONTE:** Elaborada pela autora.

Na região de estudo a intensidade dos ventos foi inferior em magnitude no ano de 2017 em relação aos outros anos. A direção do vento durante o período chuvoso de 2017 foi de forma predominante de Noroeste/Oeste, ressalta-se a presença de picos de elevada intensidade oriundos a Sudeste. Para o período seco de 2017 a predominância do vento é na direção Oeste/Noroeste. O escoamento atmosférico do ano de 2018 foi mais intensificado em relação ao ano anterior, visto que alcançou magnitudes de 4.5 - 5 metros por segundo (m/s). A seca de 2018 foi característica de ventos a Oeste, com influências a Noroeste. O perfil do vento no período chuvoso do ano de 2019 foi distinto da seca deste mesmo ano, visto que a predominância na seca foi de fortes ventos a Oeste enquanto no período chuvoso foi a Norte com intensidade média de 3.5 a 4 m/s.

O comportamento da direção do vento durante os três anos de estudo é marcado pela variação sazonal entre chuvoso e seco. Durante o período chuvoso a região está sob influência de ventos de distintas direções o que favorece o processo de dispersão

do material particulado presente na atmosfera bem como na influência de massas de ar de regiões diferentes. Enquanto, no período seco a região é influenciada por massas de ar oriundas predominantemente a Oeste, sendo necessário investigações posteriores acerca do transporte de partículas oriundas a Noroeste da região de estudo bem como simulações de trajetória de massas de ar em diferentes alturas da atmosfera local.

O comportamento médio mensal da temperatura e umidade relativa do ar estão dispostos na Figura 13 bem como a precipitação acumulada durante o triênio investigado. Ressalta-se que o período sazonal classificado nesta análise por período chuvoso é coeso ao comportamento médio da distribuição de chuvas durante o triênio, sendo estas intensificadas nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho. Infere-se que o processo de precipitação acarreta em uma diminuição efetiva na concentração de material particulado na atmosfera, por conseguinte os parâmetros óticos dos aerossóis possuem pequenas oscilações durante o período chuvoso em relação ao período seco, em todos os anos investigados.

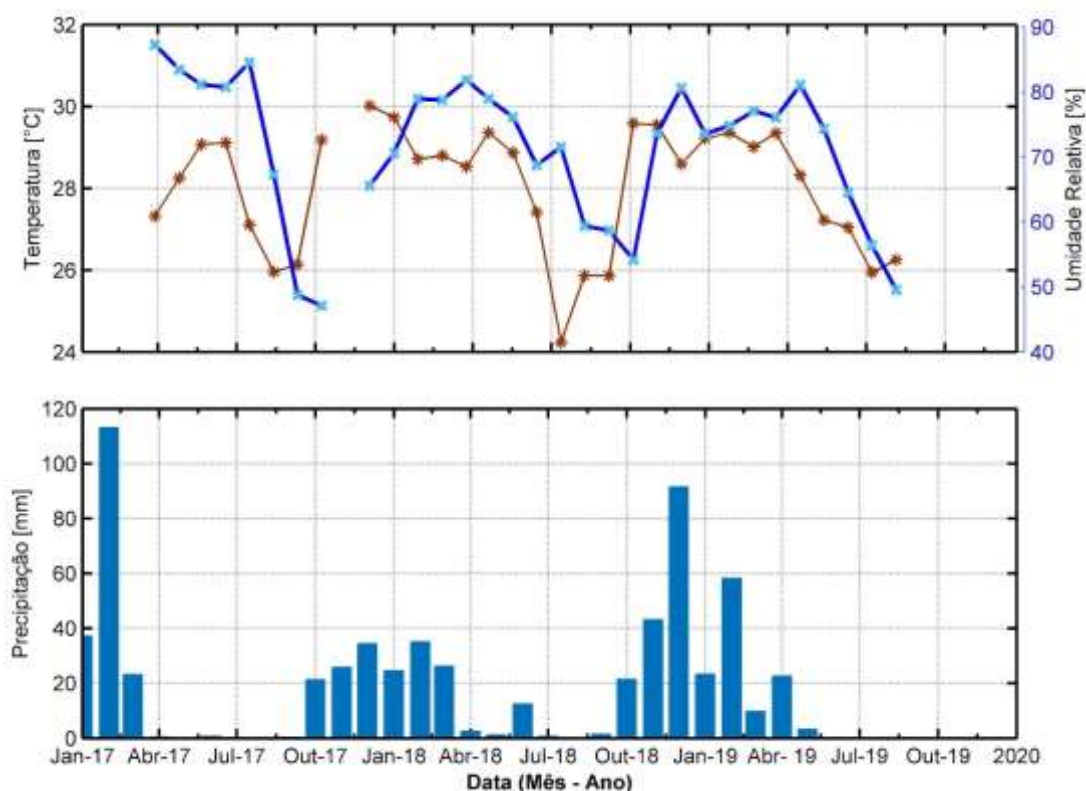


FIGURA 13 - Variáveis micrometeorológicas, referente a 01 de janeiro de 2017 a 14 de setembro de 2019. **FONTE:** Elaborada pela autora.

A precipitação média mensal possui tendência em suprimir no mês de abril, para os anos de 2017 e 2019, voltando a ocorrência de chuvas em outubro. Para o ano de 2018 o período chuvoso teve um atraso de um mês em relação aos demais anos, contudo, os valores de precipitação em 2018 reportam a um acumulado anual inferior aos demais anos, assim como o $b(525\text{ nm})_{esp}$ (Figura 07) e o $SSA_{525\text{ nm}}$ (Tabela 04).

O comportamento da umidade relativa do ar foi peculiar para o período seco de 2018, em relação ao mesmo período nos outros anos do triênio, o qual apresentaram uma variação mensal mais acentuada. Os valores mínimos foram encontrados durante o período seco e os valores máximos de umidade relativa do ar, durante o período chuvoso. A temperatura do ar sofreu significativas modificações durante o período seco com amplitudes elevadas em relação ao período chuvoso, infere-se que este comportamento seja em virtude da capacidade reguladora da molécula de água.

O comportamento das propriedades óticas dos aerossóis no Pantanal esteve sob influência sazonal do regime micrometeorológico, podendo inferir que durante o período chuvoso o regime de emissão de material particulado na atmosfera é diretamente influenciado pelas condições naturais do ecossistema (Figura 07 e 10). O comportamento de $SSA_{525\text{ nm}}$ foi anômalo para o período seco de 2019, obtendo a menor média em todo o triênio. Associa-se o comportamento de $SSA_{525\text{ nm}}$ observado no mês de julho em 2019 (Figura 08) à contribuição de aerossóis de pluma vulcânica. Intensa atividade vulcânica registrada na Zona Vulcânica dos Andes Centrais (ZVC) culminou na erupção do vulcão Ubinas ($16^{\circ}20'24.0''\text{S}$ $70^{\circ}53'24.0''\text{W}$).

Segundo o Instituto Geofísico do Peru o processo evolutivo de erupção do Ubinas se iniciou no dia 18 de junho com a intensificação de abalos sísmicos de até 154 terremotos ao dia (DEL CARPIO e TABERA, 2019). No dia 24 do mesmo mês foi registrado as primeiras emissões de cinzas, gases e vapor de água que atingiram quase 1 km acima da cratera do vulcão. No dia 19 de julho foi observado três erupções que lançaram magma e plumas vulcânicas a 7 km de altura atmosférica.

As plumas do Ubinas se deslocaram pela América Latina ao longo do mês de julho e princípio de agosto, alcançando a região centro-oeste brasileira nos primeiros dias de erupção, posteriormente atingindo a região sudeste. Na cidade de Cuiabá – MT

(a 150 km da área de estudo e a 2.281 km do Ubinas), alguns voos foram cancelados devido à má visibilidade atmosférica e possíveis danos a estrutura das aeronaves.

A influência de plumas vulcânicas na Amazônia foi explorada por Saturno et al., (2018a), os quais encontraram contribuições das emissões do vulcão Nyamuragira no leste do Congo nas propriedades e na população dos aerossóis. Os resultados deste estudo apontaram que a pluma vulcânica está associada a grandes emissões de dióxido de enxofre (SO_2), o qual sofre um processo de oxidação na atmosfera sendo convertido em ácido sulfúrico gasoso e posterior aerossol de sulfato.

As propriedades dos aerossóis foram substancialmente modificadas no ambiente de floresta nativa, constatando uma menor média de $SSA_{637\text{ nm}}$ durante períodos influenciados pela atividade do Nyamuragira (SATURNO et al., 2018a). Semelhante relação na propriedade intrínseca aos aerossóis foi constatada na região de estudo. O comportamento anômalo de $SSA_{525\text{ nm}}$ no período seco de 2019 (Tabela 04) bem como no mês de julho e agosto (Figura 08) aponta que a atmosfera no Pantanal foi influenciada pelo transporte de partículas lançadas no processo eruptivo do Ubinas, Peru.

4.2.2. Eventos antropogênicos.

Além dos fatores ecossistêmicos analisados anteriormente há fatores antropogênicos capazes de modificar a composição da atmosfera, bem como as características físicas e químicas dos aerossóis. Um dos principais fatores associados a mudança e uso da terra está o uso do fogo para limpeza de terrenos agrícolas. Incêndios florestais são eventos característicos de emissão de aerossóis de queima de biomassa a atmosfera terrestre.

A Figura 14 reporta a quantidade mensal de FQ no estado de Mato Grosso durante o período investigado. Observa-se que os registros de FQ foram amenizados no período em que a média mensal da umidade relativa do ar foi superior a 60% e índice pluviométrico de 20 mm, concomitantes ao período chuvoso na análise sazonal das propriedades óticas. Constatou-se que o período de intensa queima de biomassa

foi concomitante ao período seco, a baixa umidade relativa do ar e elevados registros de temperatura do ar (Figura 14), fatores que favorecem a propagação de incêndios. A máxima mensal de FQ ocorreu durante o mês de setembro, alcançando acumulado mensal de 14840 para o ano de 2017, 6638 em 2018 e 10747 em 2019 (Figura 14).

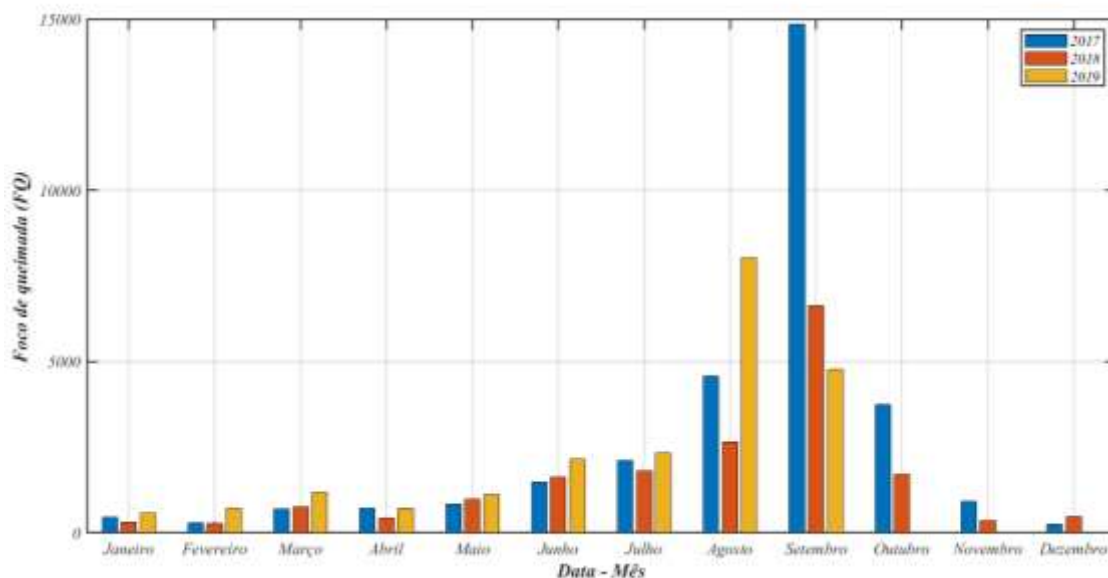


FIGURA 14- Acumulado mensal de focos de queimada para o estado de Mato Grosso durante o triênio (2017-2018-2019). **FONTE:** Dados disponíveis pelo INPE em <http://www.inpe.br/queimadas>.

O processo de queima de matéria orgânica lança na atmosfera aerossóis de composição química e física distintas das condições naturais do ecossistema. As propriedades óticas dos aerossóis foram substancialmente modificadas entre os períodos chuvoso - seco de cada ano analisado. Os coeficientes de espalhamento, de absorção, bem como de extinção dos aerossóis foram mais acentuados durante o período seco do ano 2017.

Durante o período seco de 2017 ocorreu os maiores registros de queima de biomassa no estado de Mato Grosso. Neste mesmo período foi estimado para a região de estudo um valor médio de $\alpha(370,590)$ equivalente a 1.8, indicando a presença de um aerossol fortemente absorvedor de radiação (BERGSTROM et al., 2007; RIZZO et al., 2011; SATURNO et al., 2018). As variações no comportamento das propriedades óticas dos aerossóis indicam que eventos de queima de biomassa emitem na atmosfera aerossóis que ao interagirem com a radiação solar produzem de forma

predominante o processo de extinção em superfície. A Figura 15 apresenta o acumulado mensal AOD estimado para o triênio investigado.

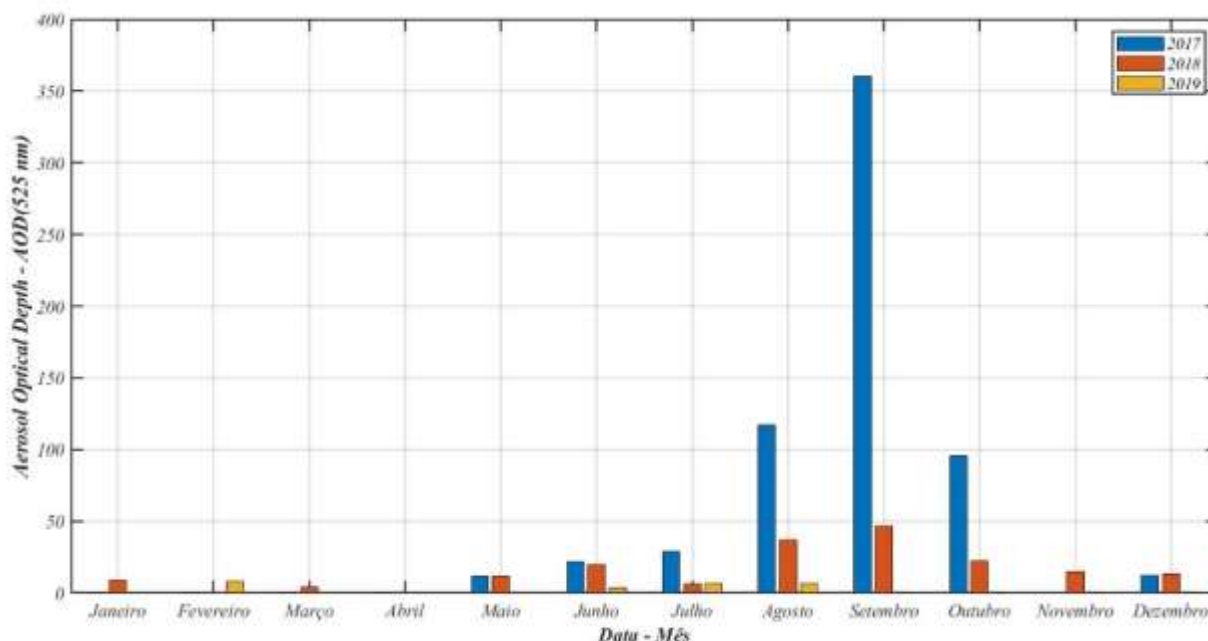


FIGURA 15 - Acumulado mensal de *AOD* (525 nm) durante o triênio (2017-2018-2019). **FONTE:** Elaborada pela autora.

Observa-se que AOD possui tendência em intensificar durante o período seco de cada ano, segundo o trabalho desenvolvido por Artaxo et al, (2009) esta tendência é atribuída ao aumento de FQ. O valor máximo do total de *AOD* (525 nm) ocorreu durante o mês de setembro, alcançando acumulado mensal de 360.4 para o ano de 2017, 46.8 em 2018, em 2019 o conjunto de dados estimados não encontrou valor significativo para este mês. Constatou-se que os meses de grandes registros de FQ para o estado de Mato Grosso refletiu de forma significativa para a detecção de aerossóis ativos no processo de atenuação da radiação solar, sendo o período seco 2017 o período mais coerente (Figura 13, 14 e 15). Estima-se que durante o período seco 2017 devido ao elevado registrado de FQ durante todo o triênio os aerossóis emitidos no processo de queima de biomassa influenciaram no processo de atenuação da PAR incidente na superfície da área de estudo (Figura 10).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram utilizadas medidas do coeficiente de espalhamento obtidas por um Nefelômetro e estimou-se o coeficiente de absorção derivado das medidas de atenuação ótica mensuradas pelo Aetalômetro, conforme os pressupostos apresentados por Weingartner et al., (2003), Schmid et al., (2006) e Souza Romera (2019), com a finalidade de avaliar o comportamento das propriedades óticas dos aerossóis na atmosfera do Pantanal Mato-grossense. As propriedades óticas de aerossóis exploradas neste trabalho foram o coeficiente de espalhamento ($b_{esp,\lambda}$), de absorção ($b_{abs,\lambda}$), de extinção ($b_{ext,\lambda}$), tal como a profundidade ótica de extinção (AOD), albedo de espalhamento simples (SSA) analisados na faixa espectral de 525 nm, bem como o coeficiente angstrom de absorção $\alpha(370\text{ nm}, 590\text{ nm})$.

Durante todo o triênio investigado o $b_{esp,525nm}$ apresentou uma média de 5.72 Mm^{-1} para o período chuvoso enquanto no período seco a média encontrada foi de 27.61 Mm^{-1} . O comportamento médio do $b_{abs,525nm}$ foi de 0.47 Mm^{-1} para o período chuvoso e de 3.16 Mm^{-1} para o período seco. Além da variação entre os períodos chuvoso a seco, as propriedades $b_{esp,525nm}$ e $b_{abs,525nm}$ sofreram variações interanuais influenciadas pelo regime micrometeorológico da região bem como no registro de focos de queimada no estado.

Em todo o triênio o $SSA_{525\text{ nm}}$ apresentou valor médio de 0.89 ± 0.12 para o período chuvoso e de 0.87 ± 0.02 para o período seco. Conclui-se, por meio do $SSA_{525\text{ nm}}$, que durante o período chuvoso ocorre de forma predominante o processo de espalhamento da radiação solar enquanto no período seco verifica-se a intensificação dos processos absorptivos. Durante todo o período chuvoso o $\alpha(370, 590)$ apresentou valor médio equivalente a 1.44 ± 0.62 , enquanto em todo o período seco a média foi de 1.74 ± 0.41 . A relação sazonal reportada pelo comportamento médio do $\alpha(370, 590)$ aponta a presença de *brown carbon*, ao longo do período seco, corroborada pela predominância de queima de matéria orgânica. Durante o período chuvoso foi observado uma redução em $\alpha(370, 590)$ podendo ser atribuída a presença de material particulado de origem biogênica.

Constatou-se durante todo o triênio que as estimativas de $b_{ext,525nm}$ seguiram tendência de variação sazonal entre os períodos chuvoso-seco. Durante todo o triênio, a média para o período chuvoso de $b_{ext,525nm}$ foi aproximadamente $6.30 Mm^{-1}$ enquanto no período seco foi de $25.89 Mm^{-1}$. A média estimada de $AOD(525nm)$ para o período chuvoso foi de aproximadamente 8.4×10^{-3} enquanto no período seco de 44.6×10^{-3} . O acumulado mensal de $AOD(525nm)$ possui uma sazonalidade muito bem delineada ao comportamento mensal do registro de foco de queimada no estado de Mato Grosso, bem como da precipitação acumulada registrada na área de estudo. Infere-se um aumento de 430% na média estimada de $AOD(525nm)$ entre os períodos chuvoso-seco. A variação de $AOD(525nm)$ refletiu nas medidas da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente em superfície. Detectou-se uma redução média de até 45% na PAR durante o período seco, período de intensificação de queima de biomassa, enquanto no período chuvoso esta redução é inferior a 23%.

As séries temporais das propriedades óticas apresentaram variações sazonais, com máximos atingidos durante períodos de elevados registros de focos de queimadas (período seco), enquanto durante o período chuvoso os parâmetros apresentam menor variabilidade. Os valores estimados para os períodos chuvoso e seco das propriedades óticas exploradas neste trabalho ao longo dos três anos de estudo encontra-se disponível na seção ANEXO.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar as alterações nos fluxos radiativos superficiais em decorrência das ações antrópicas, tal como eventos de queima de biomassa.
- Calcular a forçante radiativa direta dos aerossóis no Pantanal Matogrossense levando em conta a eficiência de forçante radiativa, tal como as propriedades óticas espectrais destes aerossóis.
- Parametrização da forçante radiativa direta dos aerossóis de queimadas em função da profundidade ótica dos aerossóis.

7. BIBLIOGRAFIAS

ABDON, M. D. M.; SILVA, J. D. S. V. D.; SOUZA, Í. D. M.; ROMON, V. T.; RAMPAZZO, J.; FERRARI, D. L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1566/1/APDesmatamentoAbdone tal2007.pdf>.

ANDERSON, L.; OGREN, A. Determining aerosol radiative properties using the TSI 3563 integrating nephelometer. **Aerosol Science and Technology**, v. 29, n. 1, p. 57-69, 1998. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02786829808965551>

ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DA PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; FACCO, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1227-1234, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2012000900007

ANDREAE, M.O.; ACEVEDO, O. C.; ARAÚJO, A.; ARTAXO, P.; BARBOSA, C. G. G.; BARBOSA, H. M. J.; BRITO, J.; CARBONE, S.; CHI, X.; CINTRA, B. B. L.; DA SILVA, N. F.; DIAS, N. L.; DIAS-JÚNIOR, C. Q.; DITAS, F.; DITZ, R.; GODOI, A. F. L.; GODOI, R. H. M.; HEIMANN, M.; HOFFMANN, T.; KESSELMEIER, J.; KÖNEMANN, T.; KRÜGER, M. L.; LAVRIC, J. V.; MANZI, A. O.; LOPES, A. P.; MARTINS, D. L.; MIKHAILOV, E. F.; MORAN-ZULOAGA, D.; NELSON, B. W.; NÖLSCHER, A. C.; SANTOS NOGUEIRA, D.; PIEDADE, M. T. F.; PÖHLKER, C.; PÖSCHL, U.; QUESADA, C. A.; RIZZO, L. V.; RO, C.-U.; RUCKTESCHLER, N.; SÁ, L. D. A.; DE OLIVEIRA SÁ, M.; SALES, C. B.; DOS SANTOS, R. M. N.; SATURNO, J.; SCHÖNGART, J.; SÖRGEL, M.; DE SOUZA, C. M.; DE SOUZA, R. A. F.; SU, H.; TARGHETTA, N.; TÓTA, J.; TREBS, I.; TRUMBORE, S.; VAN EIJK, A.; WALTER, D.; WANG, Z.; WEBER, B.; WILLIAMS, J.; WINDERLICH, J.; WITTMANN, F.; WOLFF, S.; YÁÑEZ-SERRANO, A. M. The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) in the remote Amazon Basin: overview of first results from ecosystem ecology, meteorology, trace gas, and aerosol measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, 15(8), pp.11599–11726. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/15/10723/2015/acp-15-10723-2015-discussion.html>.

ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; PAIXÃO, M.; DE LUCCA, S.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; WIEDEMANN, K. T.; ANDREAE, M. O.; HOLBEN, B.; SCHAFER, J.; CORREIA, A. L.; PAULIQUEVIS, T. M. Aerosol particles in Amazonia: their composition, role in the radiation balance, cloud formation, and nutrient cycles. Amazonia and global change. **American Geophysical Union**, Washington, DC, 2009, 233-250. Disponível em: http://lfa.if.usp.br/ftp/public/Publications_Paulo_Artaxo/2010/LBA_Amazonia_Book_Chapter_B6_Aerosol_Particles_in_Amazonia_Artaxo.pdf

BAHADUR, R.; PRAVEEN, P. S.; XU, Y.; RAMANATHAN, V. Solar absorption by elemental and brown carbon determined from spectral observations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 43, p. 17366-17371, 2012. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/pnas/109/43/17366.full.pdf>

BERGSTROM, R. W.; PILEWSKIE, P.; RUSSELL, P. B.; REDEMANN, J.; BOND, T. C.; QUINN, P. K.; SIERAU, B. Spectral absorption properties of atmospheric aerosols. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 7, n. 23, p. 5937-5943, 2007. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/7/5937/2007/>.

BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; DE ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. D. A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. D. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112-124, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314003189>.

BRANDÃO, L. G.; ANTAS, P. D. T. Z.; OLIVEIRA, L. F. B. D.; PÁDUA, M. T. J.; PEREIRA, N. D. C.; VALUTKY, W. W. **Plano de Manejo da Reserva Particular de Patrimônio Natural do SESC Pantanal**. 2ª ed. Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional, 2011. 148p. (Conhecendo o Pantanal; 3).

BRASIL, M. M. A. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. **Ministério do Meio Ambiente**. 76p. 2011. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/legislacao/areas-protegidas.html?download=1206:sistema-nacional-de-unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-snuc-e-pnap>

DEL CARPIO, J. A.; TAVERA, H. **Evaluación del proceso eruptivo del volcán Ubina de julio 2019**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4685>

ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; SLUSTESKER, I.; SETZER, A. Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. 1998, v. 103, p. 31865-31878. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/98JD00399%4010.1002/%28ISSN%292169-8996.SCRBRAZ1>.

GUNDEL, L. A.; DOD, R. L.; ROSEN, H.; NOVAKOV, T. The relationship between optical attenuation and black carbon concentration for ambient and source particles, **Sci. Total Environ.**, 36, 197–202, 1984. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048969784902663>.

HANSEN, A. D. A.; SCHNELL, R. C. The aethalometer. **Magee Scientific Company, Berkeley, California, USA**, p. 1-209, 2005. Disponível em: https://sirta.ipsl.fr/parisfog/images/stories/parisfog2010/Doc_Instruments/Aethalometer_book.pdf

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. O clima da RPPN Sesc Pantanal. 2003. **Relatório técnico**. Disponível em: http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Relatorios/2003/Hasenack_et_al_2003_Clima_rppn_sesc_pantanal.pdf.

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

HOLANDA, B. A.; PÖHLKER, M. L.; SATURNO, J.; SÖRGEL, M.; DITAS, J.; DITAS, F.; WANG, Q.; DONT, T.; ARTAXO, P.; BARBOSA, H. M. J.; BRAGA, R.; BRITO, J.; CHENG, Y.; DOLLNER, M.; FRANCO, M. A.; KAISER, J.; KLIMACH, T.; KNOTE, C.; KRÜGE, O. O.; FÜTTERER, D.; LAVRIČ, J. V.; MA, N.; MACHADO, L. A. T.; MING, J.; MORAIS, F.; PAULSEN, H.; SAUER, D.; SCHLAGER, H.; SU, H.; WEINZIERL, B.; WALSER, A.; WALTER, D.; WENDISCH, M.; ZIEREIS, H.; ZÖGER, M.; PÖSCHL, U.; ANDREAE, M. O.; PÖHLKER, C. Influx of African biomass burning aerosol during the Amazonian dry season through layered transatlantic transport of black carbon-rich smoke. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**. 2019. doi:10.5194/acp-2019-775. Disponível em: <http://hdl.handle.net/21.11116/0000-0004-9853-3>.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. **Mapa dos biomas do Brasil: primeira aproximação**. 2004a. Disponível em: http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/metadata.show?id=7135&currTab=simple.

LEITE, E. F.; CARVALHO, E. M. D.; SILVA, J. L. D. C.; RODRIGUES, L. P. Dinâmica da cobertura vegetal e do uso e ocupação da terra na sub-região da Nhecolândia, Pantanal/MS. **Geoambiente On-Line**, n. 31, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/51974>.

MAPBIOMAS, projeto. In: COLEÇÃO 4 DA SÉRIE ANUAL DE MAPAS DE COBERTURA E USO DO SOLO DO BRASIL. **MapBiomas**. 2018. Disponível em: <http://plataforma.mapbiomas.org/map#transitions>.

PALÁCIOS, R. S. **Interação entre a radiação solar direta e os aerossóis atmosféricos na Amazônia**. 2017. 159 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2017. Disponível em: <http://www.pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/teses/376-rafael-da-silva-pal%C3%A1cios-1/file>.

PROCÓPIO, A.S. **Forçante radiativa direta dos aerossóis na Região Amazônica devido à queima de biomassa**. 2005. 224 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PROGRAM, Air Quality. Ecotech Nephelometer Operating Procedure. **Washington State Department of Ecology** 2009. Disponível em: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/summarypages/0902005.html>.

REID, J. S.; ECK, T. F.; CHRISTOPHER, S. A.; KOPPMANN, R.; DUBOVİK, O.; ELEUTERIO, D. P.; HOLBEN, B. N.; REID, E. A.; ZHANG, J. A review of biomass burning emissions part III: intensive optical properties of biomass burning particles. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 5, n. 3, p. 827-849, 2005. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/5/827/2005/>.

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**, v. 11, p. 8899-8912, 2011. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/11/8899/2011/acp-11-8899-2011.pdf>.

ROMERA, K. S. **Dependência espectral de absorção e propriedades óticas de aerossóis no Pantanal Mato-grossense**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019. Disponível em: http://www.pgfa.ufmt.br/index.php/br/utilidades/dissertacoes?sort=created_on&direction=desc.

SATURNO, J.; HOLANDA, B. A.; PÖHLKER, C.; DITAS, F.; WANG, QIAOQIAO.; MORAN-ZULOAGA, D.; BRITO, J.; CARBONE, S.; CHENG, Y.; CHI, X.; DITAS, J.; HOFFMANN, T.; ANGELIS, I. H.; KÖNEMANN, T.; LAVRIC, J. V.; MA, N.; MING, J.; PAULSEN, H.; PÖHLKER, M. L.; RIZZO, L. V.; SCHLAG, P.; SU, H.; WALTER, D.; WOLFF, S.; ZHANG, Y.; ARTAXO, P.; PÖSCHL, U.; ANDREAE, M. O. Black and brown carbon over central Amazonia: long-term aerosol measurements at the ATTO site. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 18, n. 17, p. 12817-12843, 2018. Disponível em: https://pure.mpg.de/rest/items/item_2511620_8/component/file_2640349/content.

SATURNO, J.; DITAS, F.; DE VRIES, M. P.; HOLANDA, B. A.; PÖHLKER, M. L.; CARBONE, S.; WALTER, D.; BOBROWSKI, N.; BRITO, J.; CHI, X.; GUTMANN, A.; DE ANGELIS, I. H.; MACHADO, L. A. T.; MORAN-ZULOAGA, D.; RÜDIGER, J.; SCHNEIDER, J.; SCHULZ, C.; WANG, Q.; WENDISCH, M.; ARTAXO, P.; WAGNER, T.; PÖSCHL, U.; ANDREAE, M. O.; PÖHLKER, C.: African volcanic emissions influencing atmospheric aerosols over the Amazon rain forest. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.18, n. 14, p. 10391–10405, 2018a.

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 and Physics**, v. 6, n. 11, p. 3443-3462, 2006. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/6/3443/2006/>.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, N. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change, John Wiley & Sons. Inc., New York, 2006.

SHERIDAN, P. J.; JEFFERSON, A.; OGREN, J. A. Spatial variability of submicrometer aerosol radiative properties over the Indian Ocean during INDOEX. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D19, p. INX2 10-1-10-17, 2002. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2000JD000166>

SILVA, J. D. S. V. D.; ABDON, M. D. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/5064/1/073-pant.pdf>.

STULL, ROLAND. B. An introduction to boundary layer meteorology, **Kluwer Academic Publishers**, 1988. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-009-3027-8.pdf>

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, n. 10, 1445–1463, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850203003598>.

WONG, J. P.; TSAGKARAKI, M.; TSIODRA, I.; MIHALOPOULOS, N.; VIOLAKI, K.; KANAKIDOU, M.; WEBER, R. J. Atmospheric evolution of molecular-weight-separated brown carbon from biomass burning. **Atmospheric Chemistry and Physics**. 2019. v11. p 7319-7334. Disponível em: <https://www.atmos-chem-phys.net/19/7319/2019/acp-19-7319-2019.pdf>.

8. ANEXO

Ano	2017					
CHUVOSO	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
média:	0.6486	8.8736	9.4714	0.0133	0.9142	1.4547
máximo:	3.7843	65.1617	43.8897	0.2111	1	4.8831
mínimo:	0	0.0317	0.1302	2.08E-04	0.4491	6.85E-04
desvio padrão	0.4996	6.6692	6.4735	0.0113	0.0532	0.5965
SECA	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
média:	5.3111	43.1796	37.1658	0.0695	0.8842	1.8319
máximo:	109.2933	1.98E+03	2.07E+03	3.3156	0.9814	3.4023
mínimo:	0.0694	0.9233	1.2358	0.0028	0.7257	0.038
Desvio	7.7787	88.7346	78.6647	0.154	0.0399	0.4627

Ano	2018					
CHUVOSO	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
média:	0.4039	5.7414	6.4101	0.0085	0.9017	1.4731
máximo:	2.1202	34.0417	34.2687	0.0548	1	4.9119
mínimo:	0	0	0.0454	7.26E-05	0.0024	0.003
Desvio	0.3026	4.4035	4.621	0.0067	0.1242	0.6293
SECA	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
Média	1.2754	21.4551	19.4903	0.0282	0.9454	1.6358
máximo:	11.7495	201.225	210.8563	0.3374	0.9981	3.7389
mínimo:	0.0025	0.105	0.7428	0.0012	0.8417	0.2484
Desvio	1.123	18.9152	17.7101	0.0315	0.0229	0.3227

Ano	2019					
CHUVA:	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
média:	0.3272	3.5936	3.9369	0.0057	0.8637	1.4146
máximo:	7.3173	23.084	24.861	0.0398	1	4.6123
mínimo:	0	0	0.0231	3.69E-05	0.0155	0.0012
Desvio	0.2806	2.6826	2.7825	0.004	0.1576	0.6578
SECA	$b_{abs,525nm}$	$b_{esp,525nm}$	$b_{ext,525nm}$	$AOD(\lambda)$	SSA_{525nm}	$\alpha(370,590)$
média:	1.8951	4.4163	5.5711	0.0084	0.5802	1.7932
máximo:	15.0451	43.695	51.0841	0.0817	0.8882	2.8321
mínimo:	0.0888	0.0083	0.1263	2.02E-04	0.0219	0.0306
Desvio	1.8415	5.6757	6.2238	0.0097	0.1962	0.3542