

AVALIAÇÃO DO *BLACK CARBON* NO BIOMA PANTANAL

Anna Carolinna Albino Santos

Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG) – MT

Amanda Finger

Universidade Federal de Mato Grosso – MT

José de Souza Nogueira

In Memoriam

Universidade Federal de Mato Grosso – MT

RESUMO

O estudo avalia o black carbon (BC) no Bioma Pantanal, analisando suas concentrações e fontes, como queimadas e atividades antropogênicas, com medições por fotometria (MAAP) e reflectância, revelando picos sazonais intensos no período seco. As trajetórias atmosféricas (HYSPLIT) indicam transporte de aerossóis, influenciando o balanço radiativo e o clima regional.

Palavras-chave: Black Carbon. Queimadas.

1 INTRODUÇÃO

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

Os aerossóis de queimadas modificam o balanço radiativo na superfície, absorvendo e espalhando a radiação solar. Os aerossóis desempenham papéis importantes na atmosfera, com efeitos sobre o balanço radiativo, clima, química da atmosfera, formação de nuvens e ciclagem de nutrientes. Os estudos da química da atmosfera demonstram um cenário complexo dentro das mudanças climáticas, nos quais os materiais particulados têm impacto potencialmente importante no clima (IPCC, 2013; 2024).

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

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

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

2 OBJETIVO

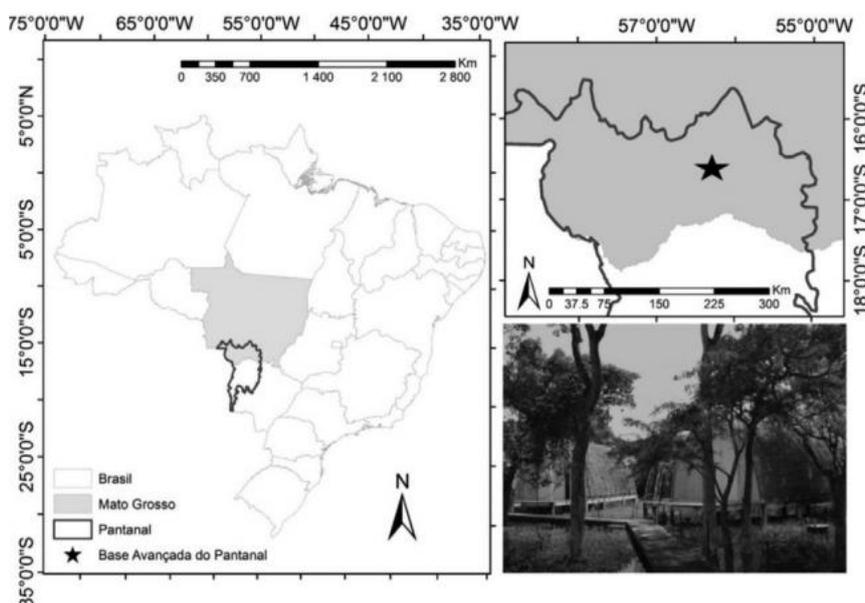
Avaliar o *black carbon* no Bioma Pantanal e suas características.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local deste estudo é conhecido como Baía das Pedras (Base Avançada de Pesquisas do Pantanal), unidade que pertence à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, no município de Poconé, Mato Grosso, a cerca de 160 km de Cuiabá (Figura 1) (DALMAGRO, 2012).

Figura 1 – Localização da área do estudo, no detalhe o Pantanal Brasileiro e a limitação da área de onde foram coletados os aerossóis.





A pesquisa foi conduzida em uma reserva natural protegida, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, a uma altitude de 111 m (16°39' S, 56°47' W), o clima é classificado como Aw-tropical úmido, segundo Köppen, quente e úmido com precipitação pluvial no verão. Na RPPN SESC Pantanal, a precipitação pluvial anual varia entre 1.000 e 1.500 mm, com máxima em janeiro e mínima em agosto. As temperaturas variam entre 23 °C com amplitude térmica de 5 °C, com temperaturas médias de 27-28 °C em janeiro e de 22-23 °C em julho (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).

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

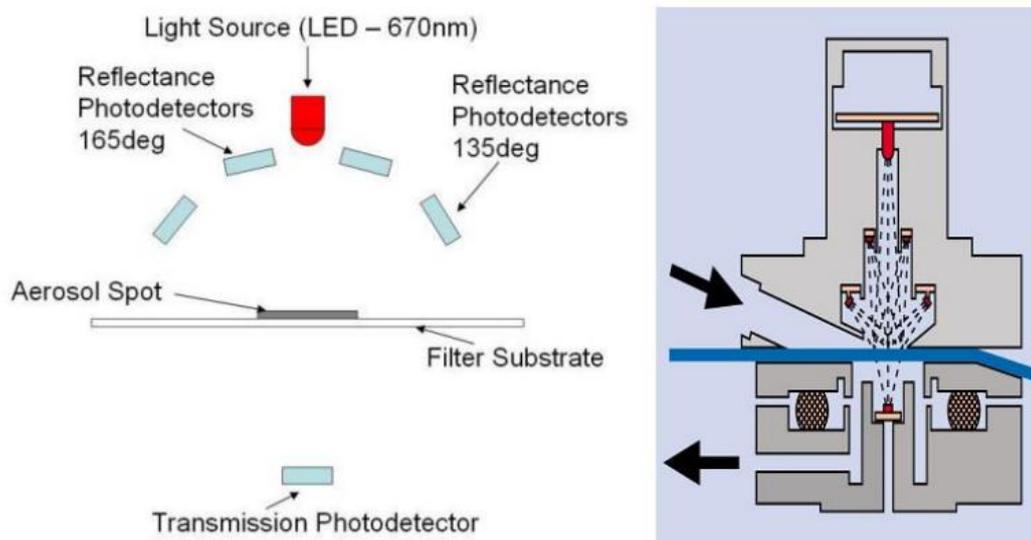
Este local tem como característica uma área de transição de vegetação mista entre floresta monodominante e pastagem natural que está sofrendo um processo de invasão por *Vochysia Divergens Phol* (*V. divergens*) (VOURLITIS, 2011). A topografia da várzea é predominantemente plana, causando grandes inundações durante a estação chuvosa (DA CUNHA E JUNK, 2000), que normalmente ocorre entre dezembro e maio, com níveis de água variando entre 1-2 m de profundidade (DA CUNHA E JUNK, 2004). Durante o período seco pode não haver precipitação mensurável e os recuos do nível de água ficam abaixo da superfície do solo.

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

3.2 MAAP – MEDIDAS DE ABSORÇÃO EM TEMPO REAL

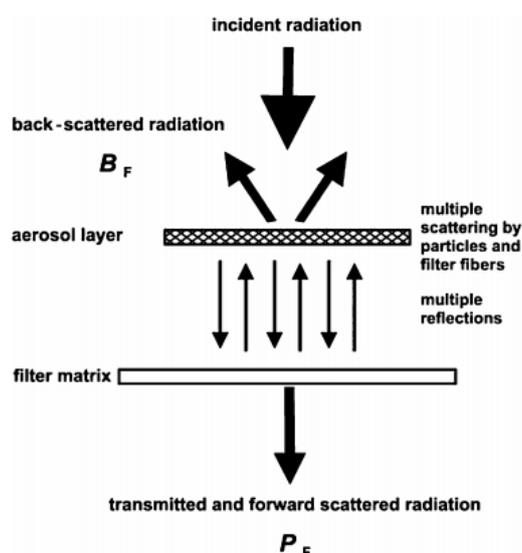
Foi realizada de acordo com Petzold et al. (2005) medidas de absorção utilizando o fotômetro MAAP (MultiAngle Absorption Photometry – Thermo Inc., Model 5012) de acordo com a Figura 2 que mostra o desenho esquemático.

Figura 2 – Desenho esquemático do princípio de funcionamento do MAAP e mostra o processo simultâneo da medida de absorção em um filtro de fibra de vidro e assim o espalhamento ótico é determinado e descontado por um algoritmo desenvolvido para o instrumento (HOLANDA, 2015; PETZOLD, 2005).



É um instrumento que reporta em tempo real a concentração de *black carbon* em 637 nm que é convertida para coeficientes de absorção assumindo um coeficiente mássico de absorção $MAC = 6,6 \text{ m}^2/\text{g}$ e mede simultaneamente a atenuação ótica e a reflexão de luz por partículas depositadas em um filtro para vários ângulos de detecção e assim fazer a medida exclusiva da absorção. O instrumento realiza o cálculo de transferência radiativa através do filtro contendo aerossóis e desconta o espalhamento ótico de acordo com a Figura 3, ilustração do funcionamento.

Figura 3 – Representação esquemática do funcionamento dos processos de radiação a ser considerado no sistema de duas camadas constituindo o aerossol considerando uma camada carregada no filtro com material particulado e a matriz de filtro livre de partículas (PETZOLD, 2005).



3.3 ANÁLISE DE *BLACK CARBON* POR REFLECTÂNCIA

A determinação das concentrações de *black carbon* (BC) foi feita pela técnica de refletância ótica antes e depois da coleta das partículas de aerossóis nos filtros. O processo se baseia na incidência de luz de uma lâmpada de tungstênio (W) na amostra, a qual reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de *black carbon* presente. Como as partículas de *black carbon* absorvem luz com alta eficiência, tanto maior a quantidade presente, menor será a intensidade de luz refletida e detectada pelo foto sensor. Sendo que o aparelho foi ajustado com os filtros brancos para 100 % de reflexão (RIZZO, 2002).

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

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

Sendo que:

R = Refletância (%);

A = Área do filtro (14,4 cm²);

V = Volume amostrado (m³).

O equipamento utilizado foi um refletômetro, marca “Diffusion Sistem Ltda” modelo “Smoke Stain Reflectometer – Model 43” (Figura 4).

Figura 4 – Refletômetro usado para a quantificação do black carbon (SANTOS, 2014).



3.4 MODELO DE TRAJETÓRIA HYSPLIT

O modelo Hysplit (do inglês, *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrate Trajectory Model*) é um sistema completa para calcular trajetórias simples de parcelas de ar, bem como transações complexas, dispersão, transformação química e simulações de deposição. HYSPLIT continua a ser um dos modelos de



transporte e dispersão atmosféricos mais utilizados na comunidade de ciências atmosféricas. Uma aplicação comum é uma análise de trajetória para determinar a origem das massas de ar e estabelecer relações fonte-receptor (DRAXLER e ROLPH, 2003).

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

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

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

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

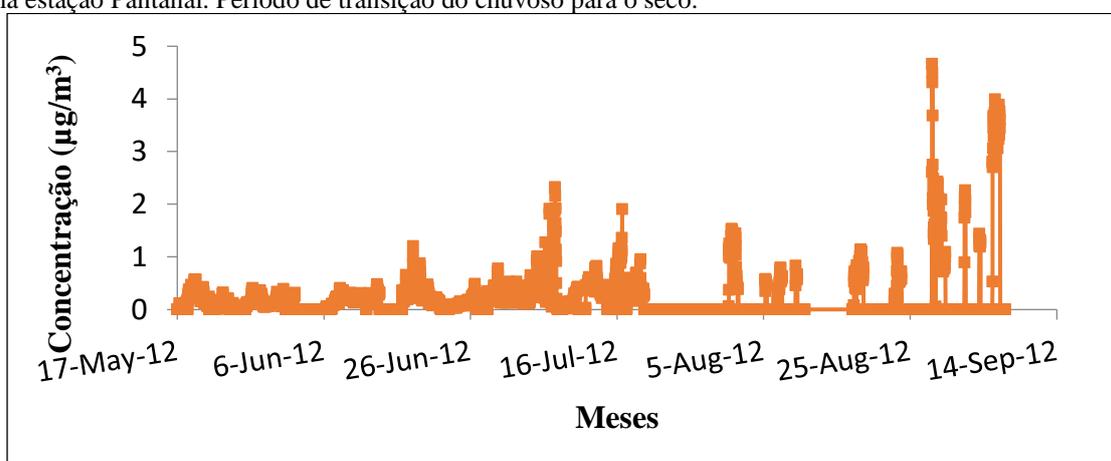
O modelo pode ser executado de forma interativa na Web pelo sistema ARL READY (site: <https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), ou o código executável e os dados meteorológicos podem ser baixados para um PC Windows ou Mac. A versão web foi configurada com algumas limitações para evitar a saturação computacional do servidor web ARL. A versão de PC registrada é completa sem restrições computacionais, exceto que os usuários devem obter seus próprios arquivos de dados meteorológicos. A versão não registrada é idêntica à versão registrada, exceto que as concentrações de pluma não podem ser calculadas com arquivos de dados de meteorologia de previsão. O modelo somente de trajetória não possui restrições e as trajetórias de previsão ou arquivamento podem ser computadas com qualquer uma das versões.

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

4 DESENVOLVIMENTO

A medida de absorção pelo MAAP demonstra as correções que são feitas internamente no instrumento (PETZOLD et al., 2005). A concentração de *black carbon* nos meses de maio a setembro de 2012, transição do período chuvoso para o período seco são apresentados na Figura 5.

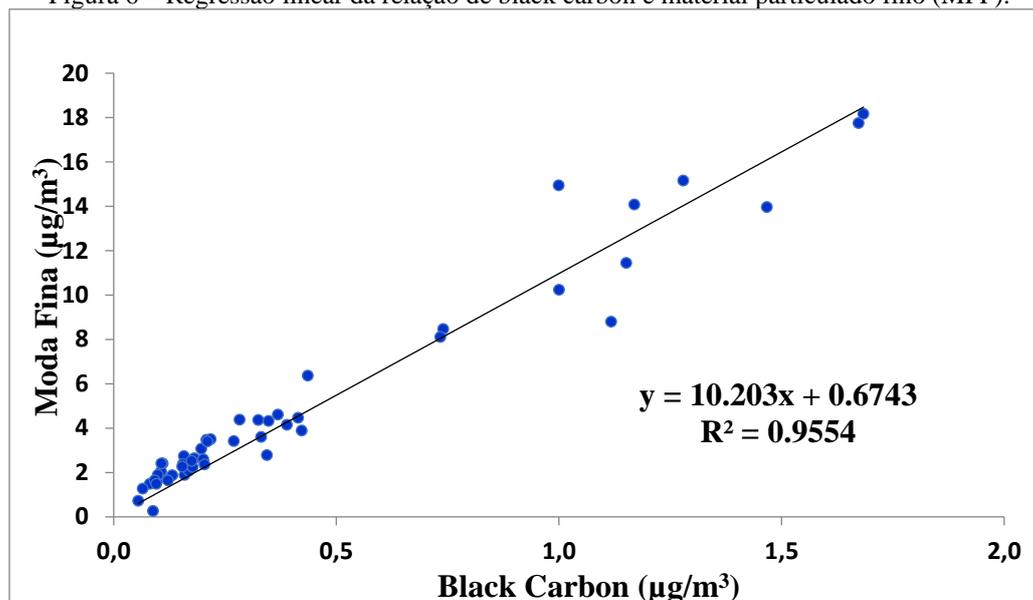
Figura 5 – Concentração de *black carbon*, medidas instantâneas a cada 30 minutos nos meses de maio a setembro de 2012 na moda fina na estação Pantanal. Período de transição do chuvoso para o seco.



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

A regressão na Figura 6 apresenta os valores medidos pela MAAP apresentou um coeficiente angular de 10,203 e mostrou alto coeficiente de determinação, material particulado fino – ($\text{PM}_{2.5}$ ($R^2= 0,9554$)).

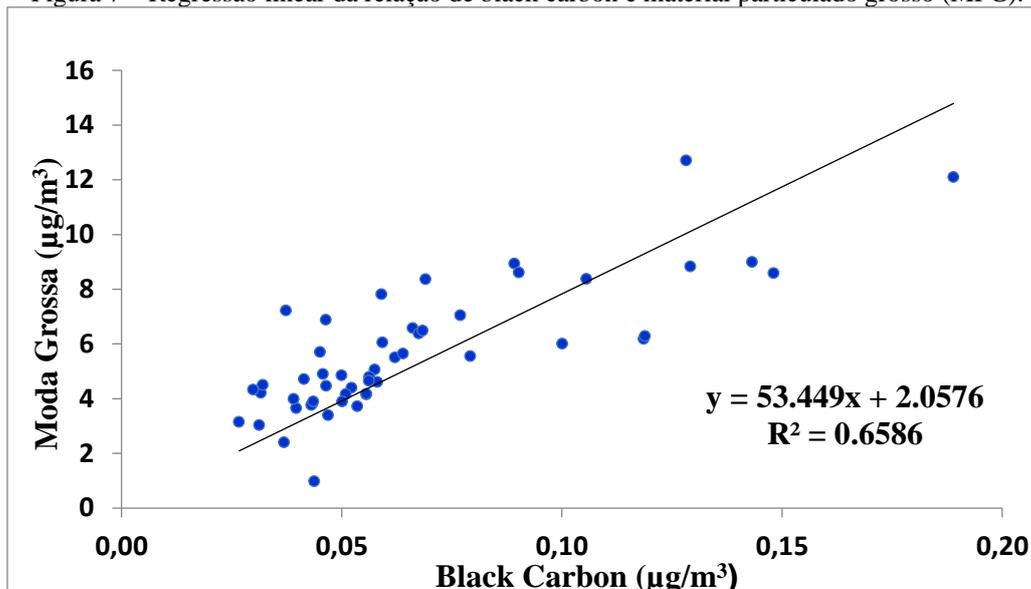
Figura 6 – Regressão linear da relação de black carbon e material particulado fino (MPF).



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

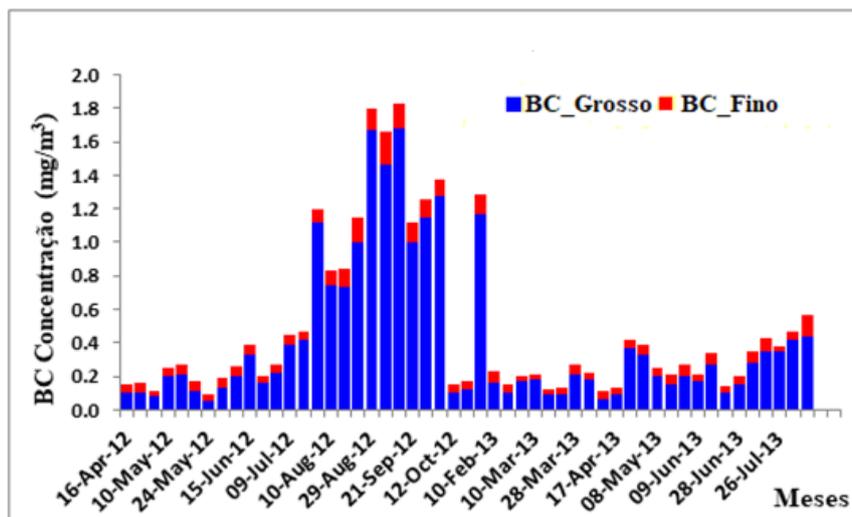
A regressão da Figura 7 apresentou os valores medidos pela MAAP apresentou um coeficiente angular de 53,449 e mostrou um bom coeficiente de determinação, material particulado grosso – (PM₁₀ (R²= 0,6586)).

Figura 7 – Regressão linear da relação de black carbon e material particulado grosso (MPG).



Para análise realizada em relação aos filtros em relação ao *black carbon* tem-se a Figura 8, que mostra a série temporal de concentração de BC nas modas fina e grossa dos aerossóis. Segundo Santos (2014), observa-se que há uma maior concentração de BC na fração fina do aerossol e a redução das médias de concentração de BC na moda grossa no período chuvoso é devido às chuvas que são frequentes nesse período.

Figura 8 – Concentração de black carbon na moda fina e grossa.



Ao se comparar a Figura 5 com a Figura 8, observa-se a relação para o BC_fino, pois correspondem a valores próximos do que foi medido pelo equipamento MAAP no Pantanal. Verifica-se que as maiores concentrações de BC fino e grosso foram de 1,7 e 1,6 µg/m³ durante o período seco e chuvoso no Pantanal e observa-se a transição do período chuvoso para o seco em que se teve um pico intenso no dia 12 de



setembro de 2012 e essas maiores concentrações são caracterizadas pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (período seco) com muitas queimadas nesse período.

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

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

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

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

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

Para Yamasoe (2000) e Echalar et al. (1998), estudos sobre a composição elementar do material particulado têm mostrado que a emissão de *black carbon* o qual se sabe ser majoritariamente fuligem proveniente de combustão e está associado aos elementos traços de emissões de queimadas como por exemplo: S, K, Cl, Ca e Zn na fração fina do material particulado e pode-se comparar com o Pantanal que apresenta elementos traços como: Br, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Fe e Zn provenientes da queima da biomassa, solo e emissão biogênica no Pantanal (SANTOS et al., 2016).

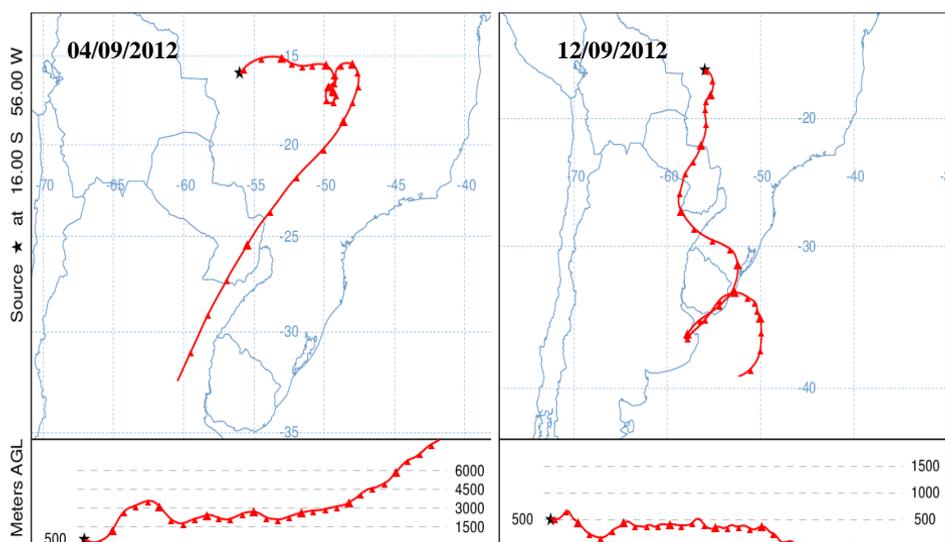
O intervalo de diâmetro médio onde se tem a maior concentração de *black carbon* é coincidente ao intervalo de comprimento de onda de radiação visível e, contribui para que as partículas de BC têm uma alta seção de choque na absorção da radiação solar (CASTANHO, 1999).

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

4.1 TRANSPORTE A LONGA DISTÂNCIA

Os processos de remoção sofrem interferência direta na caracterização climática local, uma vez que a caracterização dos períodos secos e chuvosos que podem se relacionar com as concentrações nas amostras do material particulado. Ao se referir ao Pantanal que apresenta dois períodos bem definidos, uma seca e outra chuvosa sendo importante conhecer quais os sistemas que interagem fornecendo tais características segundo a Figura 9 em que se se avaliará as trajetórias calculadas para o Pantanal mato-grossense nos dias de picos intensos devido ao período de queimadas na região (04 e 09 de setembro de 2012).

Figura 9 - Trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para a base de Pesquisas Avançadas no Pantanal Mato-grossense nos dias de pico intenso de aerossóis (04 e 12 de setembro de 2012) sendo feitas integrações para o cálculo de cada trajetória foi de 24 horas.



O vento passa pelo Pantanal, Paraguai e tem influência grande pelas frentes frias. O vento vindo do Sul com umidade menor aumentará a emissão de material particulado como se percebe no pico de OC/EC, de *black carbon* nos dias 04 e 12 de setembro de 2012 o que se observa na trajetória na Figura 9 e com isso há um aumento nas fontes de queimadas, ressuspensão do solo como se observa na caracterização elementar os elementos traços presentes no período seco.

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



Amazônia para o Sul e Sudeste. Essas características indicam aspectos de instabilidade atmosférica, com turbulência vertical e mistura de ar, favorecendo a dispersão dos poluentes e observam-se essas massas frias na região de estudo do Pantanal com dias “frios”, mas com forte presença de queimadas.

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

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

Houve aumento dos focos de queimadas nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste, em comparação com agosto passado do ano passado. Observou-se, também, um acréscimo de 22 % nos focos de calor em relação ao mesmo período de 2011 e observam-se os picos de *black carbon* acentuados no mês de setembro conforme a Figura 5 e observa-se o transporte a longa distância na Figura 9.

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

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

Este valor correspondeu a um aumento de 35 % em relação a agosto do ano passado, seguindo a tendência de maior uso de fogo na vegetação à medida que a estiagem se mantém na parte central do País e na Região Nordeste. Houve, também, um acréscimo de 22 % nos focos de calor em relação ao mesmo período de 2011, consistente com as anomalias negativas de precipitação e positivas de temperatura máxima e observam-se devido aos picos representados na Figura 9, os dias mais afetados por queimadas que foram dia 04 e 12 de setembro de 2012.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o equipamento MAAP, apresenta uma maior concentração de *black carbon* na moda fina no período das queimadas nos dias de 04 e 09 de setembro de 2012 e pode-se comparar com as trajetórias pelo modelo Hysplit e, observa-se uma redução na concentração de *black carbon* na moda grossa devido ao período chuvoso, que mede em tempo real as concentrações de *black carbon*.



Assim, pode-se avaliar a origem das trajetórias calculadas com o programa Hysplit para a base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense nos dias de pico intenso do material particulado, em que o vento vindo do Sul com umidade menor aumentará a emissão de aerossóis como observado nos dias 04 e 09 de setembro de 2012, pico intenso para a relação entre carbono orgânico/carbono elementar. Há um aumento nas queimadas, outras fontes relacionadas na base de Pesquisas Avançadas do Pantanal Mato-grossense como ressuspensão do solo, biogênica como observado na caracterização elementar presentes no período seco.

Com isso, observou-se a avaliação do *black carbon* no Pantanal Mato-grossense e suas possíveis fontes do material particulado.



REFERÊNCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basics*, 2024.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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