

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE AEROSSÓIS DE QUEIMADAS NO PANTANAL MATO-GROSSO

Anna Carolinna Albino Santos^{a,*}, Amanda Finger^b, José de Souza Nogueira^a, Leone Francisco Amorim Curado^a, Rafael da Silva Palácios^a e Vinicius Marcio Rodrigues Pereira^a

^aInstituto de Física, Universidade de Federal de Mato Grosso, 78060-900 Cuiabá – MT, Brasil

^bDepartamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade de Federal de Mato Grosso, 78060-900 Cuiabá – MT, Brasil

Recebido em 14/12/2015; aceito em 01/04/2016; publicado na web em 10/06/2016

ANALYSIS OF THE CONCENTRATION AND COMPOSITION OF AEROSOLS FROM FIRES IN THE MATO GROSSO WETLAND. The Earth's atmosphere has a large number of small solid and liquid particles which differ in size, shape and composition. One of the most obvious characteristics of the phenomena of air pollution is linked to the occurrence of atmospheric aerosol. The research was conducted in a protected nature reserve, Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Social Service of Commerce (SESC) Pantanal, at 111 m of altitude (16°39' S, 56°47' W) and is referred to here as SESC - Advanced Research Center of Wetland, located about 160 km from Cuiabá - MT. The sampling device consists of samplers fine and coarse particles, separating the fine fraction of the aerosol ($dp < 2.5 \mu\text{m}$) from the coarse fraction ($2.5 < dp < 10 \mu\text{m}$). In August 2012, concentrations of fine particles were up to nine times higher (up to $18 \mu\text{g m}^{-3}$) than that recorded in the rainy months of 2012 and 2013 (amounts around $2 \mu\text{g m}^{-3}$). The concentrations of coarse particles were up to three times higher in the dry season, compared to the rainy season.

Keywords: atmosphere; black carbon; seasonality.

INTRODUÇÃO

O Pantanal é caracterizado por ser uma planície intermitente e sazonalmente inundada. É a maior área alagável contínua existente e ocupa cerca de 1,6% do território brasileiro. É uma região de enorme importância ecológica e socioeconômica, que se destaca pela sua vasta biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar. A flutuação anual do nível da água - o pulso de inundação - regula os processos ecológicos que ali ocorrem.¹ As diferenças locais do regime hidrológico, somadas às variações da topografia e do solo, proporcionam zonas permanente e periodicamente alagadas (Aquatic/Terrestrial Transition Zones - ATTZ) e outras raramente alagadas.^{1,2}

A poluição atmosférica pode ser descrita como a presença de contaminantes ou de substâncias que poluem a atmosfera e pode ocasionar problemas na saúde humana, no bem-estar ou no meio ambiente. Adquiriu-se ao longo dos últimos anos uma grande importância na comunidade científica e na sociedade em geral, como nos níveis das alterações climáticas registradas ao longo do tempo como dos efeitos na saúde.³

As partículas ou aerossóis atmosféricos são misturas complexas e altamente variáveis de constituintes sólidos e/ou líquidos suspensos no ar, incluindo sais inorgânicos como nitratos, sulfatos e amônia, para além de conter inúmeros compostos de carbono (carbono elementar e carbono orgânico). As que apresentam um diâmetro superior a $2,5 \mu\text{m}$ representam a moda grossa, as partículas com diâmetro menor que $2,5 \mu\text{m}$ representam a moda fina e a moda ultrafina é representada pelas partículas com um diâmetro inferior a $0,1 \mu\text{m}$.⁴

O aerossol de fuligem ou *black carbon* é de grande interesse nos estudos de dispersão e identificação de fontes atmosféricas, pois é característico de emissões derivadas da combustão de carvão e diesel, seguido, em menor proporção, pela queima da biomassa. A concentração e características típicas emitidas são governadas, tanto pela quantidade de combustível consumido, quanto pela tecnologia de combustão. Em regiões remotas, a presença do aerossol de carbono

elementar na massa de ar pode ser usada como traçador de atividades antropogênicas responsáveis por sua formação. As partículas de *black carbon* são inicialmente formadas em altas concentrações, nos processos de combustão, como partículas com diâmetros de 5-20 nm. No entanto, elas coagulam rapidamente para formar agregados de tipo fractal que, no início, colapsarão para estruturas mais compactas, da ordem de 10 nm, devido às forças capilares de vapores condensados.⁵

O Pantanal do Mato Grosso carece de análises relacionadas à caracterização das propriedades físicas e químicas dos aerossóis atmosféricos, de forma que a análise da concentração e caracterização química dos constituintes atmosféricos nessa região é extremamente importante para a compreensão da dinâmica atmosférica local.

Balanço energético

As interações entre as partículas atmosféricas e o meio ambiente são complexas. Elas desempenham papel essencial no processo de formação de nuvens e no balanço energético do planeta, e podem causar efeitos adversos à saúde humana quando em altas concentrações.^{6,7} Os aerossóis atmosféricos afetam o clima diretamente, através da absorção e espalhamento da radiação solar, e indiretamente, alterando os mecanismos de formação de nuvens.⁸

O balanço de radiação é um componente crítico do sistema climático da Terra, e um aumento na concentração de aerossóis atmosféricos provoca uma alteração líquida no balanço de radiação, chamada radiação dos aerossóis.⁹⁻¹¹ Alterações importantes no balanço de radiação na superfície ocorrem como consequência da grande quantidade de partículas lançadas na atmosfera durante as queimadas¹²

Essas mudanças no balanço energético global são denominadas forçantes e são medidas em Watts por metro quadrado (W/m^2). As forçantes radiativas dos aerossóis dependem de vários parâmetros e as incertezas existentes na determinação dessas forçantes, inclusive de seus sinais, leva muitas vezes à omissão do importante papel dos aerossóis nos modelos climáticos.¹²

Alguns tipos de aerossóis como sulfatos, orgânicos, poeira, aerossol marinho, fuligem, entre outros, interceptam a entrada dos

*e-mail: anna.annilrac@gmail.com

raios solares, aumentando o espalhamento da radiação solar para o espaço e reduzindo o fluxo de energia que chega à superfície da terra, produzindo assim um resfriamento. Alguns aerossóis, como o *black carbon*, absorvem luz solar e, deste modo, aquecem a atmosfera, mas também resfriam a superfície.¹³

Os aerossóis interagem com a luz solar,¹⁴ influenciando o balanço de energia do sistema Terra-atmosfera. A interação direta dos aerossóis com a radiação solar na coluna atmosférica reduz a incidência de radiação na superfície e causa uma forçante climática negativa. Esse efeito é denominado efeito direto dos aerossóis.¹⁵

O efeito semidireto decorre do aquecimento de camadas atmosféricas causado pela presença de partículas absorvedoras de radiação solar, gerando uma camada atmosférica mais estável e seca e, conseqüentemente, inibindo a formação de nuvens.¹⁶ Aerossóis também interagem com nuvens, modificando suas propriedades. As nuvens modificadas, por sua vez, interagem com a radiação solar. Dessa forma, define-se a forçante indireta (i.e. mediada pela interação com nuvens) de aerossóis. As estimativas de forçante radiativa para os efeitos indiretos de aerossóis encontradas na literatura apresentaram uma ampla gama de valores. A maioria dos resultados tem sinal negativo, variando entre cerca de -9,5 a -0,02 W/m² para diferentes tipos de superfície, indicando condições de resfriamento climático (IPCC, 2007).¹⁷ Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar a concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato-Grossense.

EXPERIMENTAL

A pesquisa foi conduzida em uma área localizada na Base Avançada de Pesquisas do Pantanal – Baía das Pedras, pertencente a Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN SESC – Barão de Melgaço, (16°39' S; 56°47' O), localizado a cerca de 160 km de Cuiabá – MT, Pantanal Mato-grossense de acordo com a Figura 1.

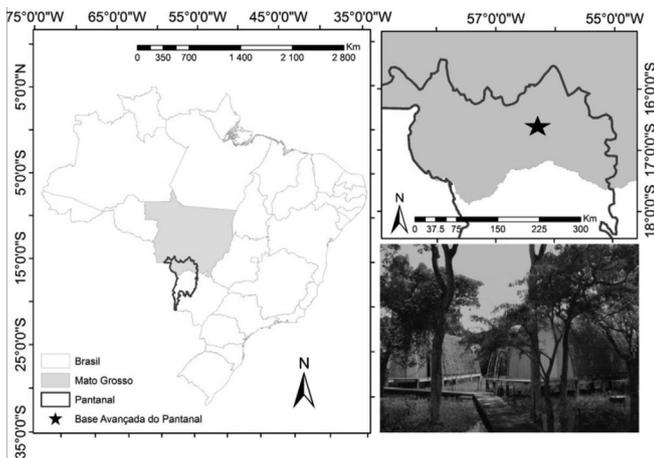


Figura 1. Centro Avançado de Pesquisas do Pantanal - Reserva Particular do Patrimônio Natural do Serviço Social do Comércio (SESC) – Baía das Pedras – Pantanal

O clima no Pantanal é do tipo Aw (Köppen), sendo quente e úmido, com uma estação seca no inverno pronunciada de maio a setembro e uma estação chuvosa no verão de outubro a abril. Os índices pluviométricos oscilam de 800 a 1.400 mm por ano, com 80% do total ocorrendo nos meses de novembro a março. O clima é fortemente sazonal, com temperatura média anual em torno de 25 °C, sendo nos meses de setembro a dezembro observadas as máximas temperaturas absolutas, ultrapassando os 40 °C. As temperaturas médias anuais variam entre máximas de 29 a 32 °C, e mínimas de

17 a 20 °C. O solo da região é classificado como Gleissolo Háplico Ta Distrófico típico e a fitofisionomia é de campo.¹⁸

Método de amostragem e caracterização de aerossóis

Amostragem e análise gravimétrica de aerossóis

A coleta de partículas de aerossóis utilizando filtros é um método simples e muito comum para amostragem de partículas de aerossóis. Os filtros permitem realizar análise elementar e iônica por uma série de técnicas. Os mecanismos pelos quais as partículas depositam-se nos filtros são a impactação, interceptação e difusão, que são função do fluxo de ar no filtro, do diâmetro dos poros e do tamanho das partículas.¹⁹

O material particulado atmosférico foi coletado pelo Amostrador de Particulado Fino e Grosso (AFG), que separa as partículas em duas frações de tamanhos de acordo com a Figura 2: uma fração fina (MP_{2,5}), definida por partículas com diâmetros menores que 2,5 µm, e uma fração grossa (MP₁₀), definida por partículas com diâmetros entre 2,5 e 10 µm, analisadas pelo Laboratório de Física Atmosférica - LFA - do Instituto de Física da Universidade de São Paulo - IFUSP.

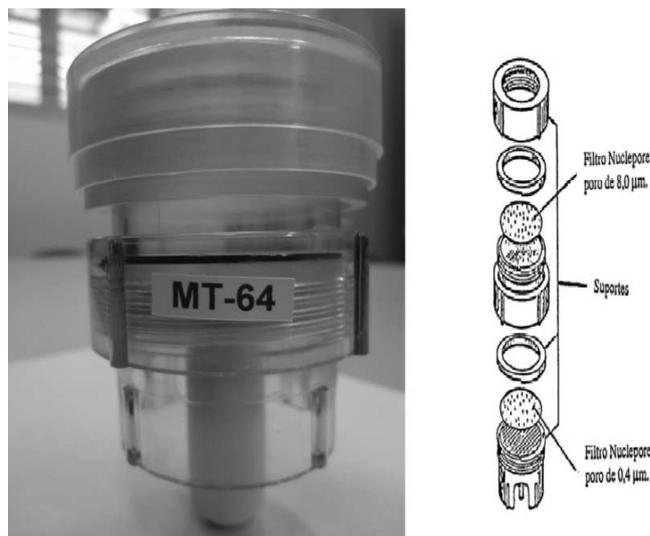


Figura 2. Amostrador de particulado fino e grosso (AFG)

O material particulado foi coletado por impactação inercial, em dois filtros de policarbonato da Nuclepore® dispostos em série. O primeiro estágio retém as partículas da fração grossa com a utilização de um filtro grosso com poros de 8 µm de diâmetro. As partículas da fração fina são retidas no segundo estágio, por meio de um filtro com poros de 0,4 µm de diâmetro. Ambos os filtros possuem 47 mm de diâmetro. O fluxo típico durante a amostragem foi de 14 litros por minuto. O tempo de integração de cada conjunto de filtros foi de aproximadamente 48 horas na estação seca e 72 horas na estação chuvosa. Foram coletadas 49 amostras de particulado no período de 2012-2013, sendo 40 na estação seca e 09 na estação úmida.

A massa dos aerossóis coletados nos filtros do AFG foi determinada através da análise gravimétrica, cujo princípio resume-se em medir a massa do filtro antes e após a amostragem, em balança analítica de alta precisão e sensibilidade, mantendo temperatura e umidade controlada. A diferença entre as massas é devida ao material depositado nos filtros. Conhecendo-se o volume de ar amostrado, pode-se determinar a concentração do particulado coletado nas frações fina e grossa correspondente a cada filtro.

A determinação gravimétrica foi realizada em uma balança (Mettler) com precisão nominal de 1 µg, capaz de quantificar a

variação de massa de cada filtro antes e após o processo de coleta. Os filtros de policarbonato foram expostos a uma fonte radioativa de polônio (^{210}Po) por 24 horas antes de cada pesagem. Esse processo foi realizado para neutralizar as cargas elétricas estáticas agregadas a superfície de cada filtro, de forma que essas cargas não influenciassem os resultados da pesagem. O local onde o procedimento foi realizado manteve a temperatura controlada em 20 °C e a umidade em valores menores que 40%.

Análise do teor de black carbon por refletância e Análise Elementar das amostras

As concentrações de carbono elementar foram obtidas após a medida da refletância dos filtros, utilizando o Smoke Stain Refletometer M43D (Diffusion Systems).

Após a obtenção dos dados gravimétricos e de *black carbon*, os filtros foram submetidos à análise química elementar através da fluorescência de raios-X (EDX – Energy Dispersive X-ray Fluorescence). Os filtros fino e grosso de todas as amostras de *AFG*, num total de 49, foram analisados para as concentrações de *black carbon* e de 25 elementos (Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sb e Pb) e os limites de detecção para cada elemento segundo a Tabela 1. A análise se baseia na medida das intensidades dos raios-X que são emitidos pelos componentes dos elementos químicos da amostra quando ela é devidamente excitada. Por sua vez, estes emitem linhas espectrais com energias características dos elementos e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração de cada elemento.²⁰

Tabela 1. Limite de Detecção dos elementos

	Limite de Detecção(ng cm ⁻²)
Na	38
Mg	47
Al	15
Si	7
P	4
S	4
Cl	2
K	2
Ca	2
Ti	5
V	3
Cr	2
Mn	3
Fe	4
Ni	2
Cu	2
Zn	2
As	4
Se	9
Br	5
Rb	4
Sr	12
Cd	28
Sb	20
Pb	9

Análise Multivariada: Fatoração de Matriz Positiva (PMF)

A análise multivariada é uma ferramenta que permite a interpretação de uma base de dados com um número grande de variáveis por meio de tratamentos estatísticos. Para o estudo da poluição do ar, os modelos receptores são importantes para determinação de padrões de variação temporal e espacial dos poluentes e na quantificação de suas fontes. A fatoração de matrizes que representam conjuntos de dados multidimensionais complexos é à base de várias técnicas comumente aplicadas para reconhecimento de padrões e de agrupamento não supervisionado.

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo PMF 3.0 desenvolvido pela EPA dos EUA,²¹ para repartir a fontes de material particulado. A partir da concentração das espécies e respectivas incertezas, o programa calcula a quantidade de fontes, os tipos, perfis, contribuições relativas e a série temporal. PMF tem sido utilizada recentemente em diversos estudos, constituindo uma ferramenta confiável para localizar e estimar fontes²² e pode ser considerada um aperfeiçoamento das técnicas multivariadas aplicadas na área de poluição do ar, pois incorpora as incertezas das variáveis associadas às medidas como peso e ainda força todos os valores na solução dos perfis e das contribuições a serem não negativos.

Existe um software disponível na internet que faz os cálculos do PMF, disponível no endereço: <http://www.epa.gov/air/basic.html>, a partir do qual se pode baixar o programa, sendo que a versão utilizada EPA PMF 3.0 exige dois arquivos de entrada: uma para a concentração medida da espécie e uma para a incerteza estimada da concentração.^{23,24}

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos na análise gravimétrica e da análise de refletância, na Figura 3, em que a escala no eixo x não é linear e marca o início e o término da amostragem dos filtros que foi de 16 de abril de 2012 a 10 de agosto de 2013, somando um total de 15 meses.

De acordo com a Figura 3, nota-se que as concentrações de BC fino acompanharam as variações das concentrações de material particulado fino, tanto no período seco como chuvoso. O máximo de concentração de *black carbon* foi de 1,68 µg/m³ e a fração de partículas finas foi de 18,2 µg/m³ observada no dia 12 de setembro de 2012, no período seco. As maiores concentrações, tanto do material particulado fino, ocorreram de julho a início de outubro de 2012. Esses períodos são caracterizados pela baixa taxa de precipitação e pela diminuição da eficiência dos processos de remoção (período seco), com muitas queimadas nessa estação.

As concentrações de BC grosso acompanharam as variações das concentrações de material particulado grosso, tanto período seco como chuvoso. O máximo de concentração de *black carbon* foi de 0,189 µg/m³ no dia 04 de setembro de 2012 e a fração de partículas grosseiras foi de 12,7 µg/m³ no dia 10 de agosto de 2013. As maiores concentrações, tanto do material particulado fino e grosso, ocorreram de agosto a início de outubro de 2012. Observa-se que as concentrações de BC grosso e MP₁₀ diminuem a partir de outubro de 2012 devido à alta taxa de precipitação e um aumento de umidade, caracterizando o período chuvoso no Pantanal de acordo com a Figura 4.

Durante o período seco até 90 % da concentração de *black carbon* está na fração fina do aerossol, resultados semelhantes foram encontrados na cidade de Cuiabá.²⁵ No mês de agosto/2012 as concentrações de MP_{2,5} foram até nove vezes superiores (chegando a 18 µg m⁻³) do que o registrado nos meses de chuvosos tanto de 2012 quanto 2013 (valores em torno de 2 µg m⁻³). Para o MP₁₀, esse aumento foi de até três vezes no período seco.

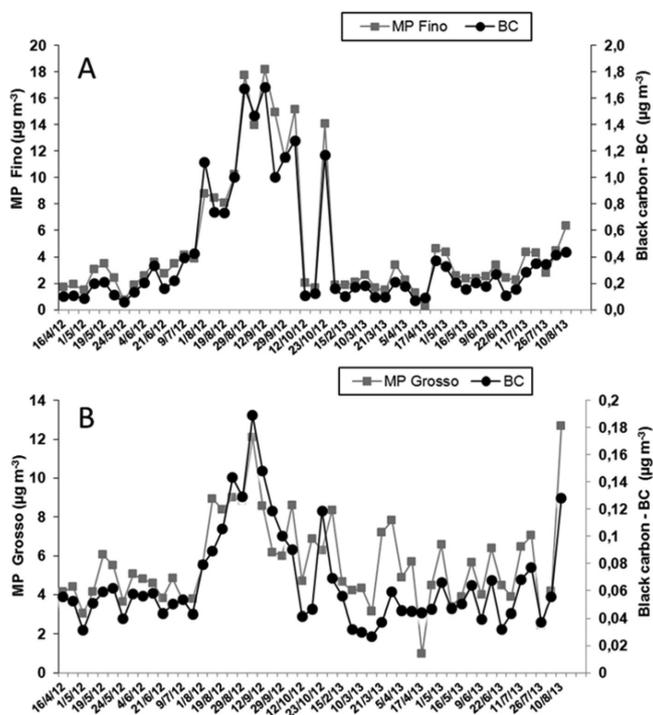


Figura 3. Variação da concentração de material particulado fino - MP Fino (A) e material particulado grosso - MP Grosso (B), e suas respectivas concentrações de black carbon (BC) medidas na Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal entre 16/abril a 23/outubro de 2012 e 10/fevereiro a 10/agosto de 2013

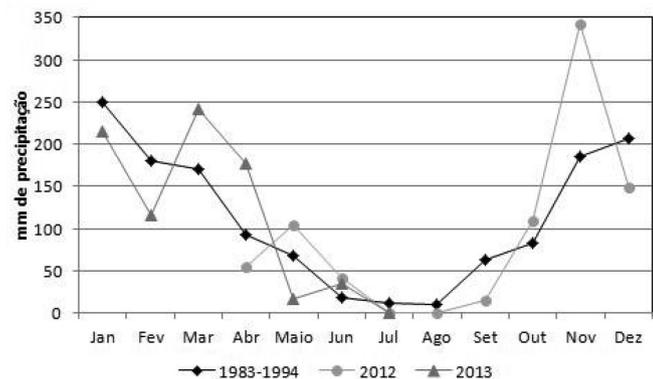


Figura 4. Variação da precipitação durante o período de amostragem em 2012 e 2013 e precipitação registrada pelo INMET entre os anos de 1983-1994 na região de Porto Cercado

Para o padrão nacional de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 03/1990,²⁶ o material particulado foi separado em dois tipos de padrão de qualidade: primário e secundário, em que o padrão primário para as partículas totais em suspensão amostrados em 24 h é de $240 \mu\text{g m}^{-3}$ e para o padrão secundário é de $150 \mu\text{g m}^{-3}$.²⁶

Pela Organização Mundial da Saúde (OMS),¹³ a média anual para o $\text{MP}_{2,5}$ é de $10 \mu\text{g m}^{-3}$ e no período de 24 h é de $25 \mu\text{g m}^{-3}$. Pela legislação internacional da United States Environmental Protection Agency (USEPA),¹⁴ o padrão de 24 horas para $\text{MP}_{2,5}$ passou de $65 \mu\text{g m}^{-3}$ para $35 \mu\text{g m}^{-3}$ e manteve o padrão anual de $15 \mu\text{g m}^{-3}$.^{27,28}

Observou-se que a estação Pantanal está dentro dos padrões de qualidade nacional estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 03/1990¹² e pela OMS,²⁶ e mesmo para o padrão internacional, ainda que apresentando um pico alto na época do período seco, que foi de $18,2 \mu\text{g m}^{-3}$ para a concentração de $\text{MP}_{2,5}$, não ultrapassou os padrões de qualidade do ar.^{26,27}

Para o MP_{10} , o padrão brasileiro estabelece concentração média anual de $50 \mu\text{g m}^{-3}$, quando o ideal segundo a OMS é de $20 \mu\text{g m}^{-3}$; e para concentração de 24 horas o padrão nacional é de $150 \mu\text{g m}^{-3}$, enquanto o estabelecido pela organização é de $50 \mu\text{g m}^{-3}$. O padrão anual para MP_{10} foi revogado devido à falta de evidências que ligam problemas de saúde a exposição em longo prazo pela USEPA.²⁷ Observou-se que a estação Pantanal está dentro dos padrões de qualidade nacional estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 03/1990²⁶, pela OMS²⁷ e está de acordo com o padrão internacional, mesmo apresentando um pico alto na época da estação seca, que foi de $12,7 \mu\text{g m}^{-3}$. No dia 10 de agosto de 2013 não ultrapassou os padrões de qualidade do ar. As maiores concentrações do material particulado grosso ocorreram de agosto a início de outubro de 2012. Observa-se que as concentrações MP_{10} diminuem a partir de outubro de 2012 devido à alta taxa de precipitação e um aumento de umidade, caracterizando o período chuvoso no Pantanal que está demonstrado na Figura 4.^{26,28}

Considerando o número de focos de queimadas registrados em Mato Grosso disponibilizados pelo Monitoramento Orbital e Risco de Fogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, foram registrados 26.017 focos de calor em 2012 e 17.823 focos no ano de 2013. De maneira geral reflete a variação sazonal da precipitação no estado, que, em geral, apresenta uma estação seca entre abril e setembro, sendo que neste período se concentrou o maior número de focos, sendo 21.531 em 2012 e 13.119 em 2013. Entre alguns dos motivos para a realização da queimada, deve ser considerado que se trata de um método barato para a limpeza de áreas que serão destinadas posteriormente a atividades de pecuária e agricultura.²⁹

Em Mato Grosso essa realidade não foge à regra, uma vez que o intenso e constante desmatamento e consequente queima da vegetação causam fortes impactos ao ecossistema regional. Os incêndios afetam diretamente a biologia e físico-química dos solos, além de provocar a deterioração da qualidade do ar, levando até o fechamento de aeroportos por falta de visibilidade, reduzindo a biodiversidade e prejudicando a saúde humana. Ao fugir do controle atinge o patrimônio público e privado (cercas, construções, florestas, linhas de transmissão e de telefonia, entre outras). As queimadas alteram a química da atmosfera e influem negativamente nas mudanças globais, tanto no efeito estufa como no aumento da concentração de partículas de aerossóis, O_3 , CO , e outros gases como CO_2 (dióxido de carbono), CH_4 (metano) e N_2O (óxido nitroso).^{30,31}

A queima da biomassa é uma das mais importantes fontes antropogênicas de aerossóis e de emissão de gases traços para a atmosfera. Ocorrem principalmente no ecótono entre a floresta tropical e o Cerrado, onde o processo de desmatamento é mais intenso.³²

Como resultado dessa inclusão, esses produtos podem ser transportados à longa distância e propagarem, assim, o impacto dessas emissões a uma escala global, resultando em uma persistente camada de fumaça espacialmente distribuída sobre uma extensa área, ao redor de 4 milhões de km^2 , em muito superior à área onde estão distribuídas as queimadas.³³⁻³⁵

As queimadas e incêndios florestais nas regiões equatorial e tropical, durante a estação seca, lançam para a atmosfera grandes quantidades de fumaça e fuligem provenientes da combustão da biomassa.²⁵ Estudos sobre a composição elementar do material particulado têm mostrado que a emissão de BC, o qual se sabe ser majoritariamente fuligem proveniente da combustão, está associado a conhecidos elementos traços de emissões de queimadas como por, exemplo: S, K, Cl, Ca e Zn, na fração fina do material particulado.^{36,37}

Esses componentes podem alterar as propriedades da atmosfera, sendo que as partículas são eficientes tanto no espalhamento (devido à presença de compostos orgânicos condensados, o qual se refere como carbono orgânico), quanto na absorção de radiação solar devido ao

conteúdo de BC. Outro fator importante é que as partículas de fumaça atuam como núcleos de condensação de nuvens e podem alterar as propriedades físicas e óticas nas nuvens, como a distribuição do tamanho das gotas e no albedo.^{38,39}

Durante a estação seca, em virtude da emissão de aerossóis para a atmosfera, as regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil ficam cobertas por espessa camada de fuligem. No entanto, as elevadas temperaturas envolvidas nas regiões e turbulências geradas durante a queimada são responsáveis por lançarem as partículas e gases para altas altitudes e sua inclusão na circulação geral troposférica.⁴⁰

Modelo Receptor por Análise de Fatoração de Matriz Positiva (PMF)

O PMF é o conjunto de elementos agrupados num mesmo fator que determina a fonte. Assim, um único elemento pode contribuir para a classificação de diversas fontes. Sendo assim, na Tabela 2, moda fina (estação seca), no Fator 1, notam-se baixas concentrações MP_{2,5}, BC_F, Br, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Fe e Zn provenientes da queima da biomassa, solo e emissão biogênica no Pantanal que são indicadores característicos de emissões de queimadas.^{38,41-43}

Tabela 2. Percentual de participação das espécies (ng m⁻³) nos fatores identificados no PMF na moda fina na estação seca. * MP_{2,5} e BC (µg m⁻³). As atribuições dessas fontes estão discutidas detalhadamente no texto. **Fator 1:** Queima da biomassa, solo e emissão biogênica; **Fator 2:** Queima da biomassa; **Fator 3:** Solo e queima da biomassa; **Fator 4:** Combustíveis fósseis. Os elementos representados (_F) são da moda fina

Elementos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
MP _{2,5}	0.4430	0.1771	0.1954	0.0370
BC_F	0.0064	0.0017	0.0020	0.0002
Na_F	0.0000	0.0000	0.1031	5.0200
Mg_F	1.3812	0.1389	0.0901	0.0782
Al_F	11.3400	0.0000	0.0087	0.8551
Si_F	16.5880	0.1569	0.2202	1.1708
P_F	0.0353	0.4686	0.4104	0.0000
S_F	0.6012	0.2329	0.0000	1.5054
Cl_F	0.0000	0.0000	4.7921	0.2338
K_F	2.3462	1.3599	1.3690	0.2153
Ca_F	1.5109	0.2028	0.1779	0.0614
Ti_F	1.0749	0.0034	0.0000	0.0782
Fe_F	12.8790	0.1961	0.1605	1.0286
Zn_F	0.0242	0.0084	0.0108	0.0010
Br_F	0.0000	0.7740	0.0000	0.1865

No Fator 2, os percentuais dos elementos MP_{2,5}, BC_F, P, S, K e Br são provenientes da queima da biomassa no Pantanal.⁴¹ *Black carbon*, S, K, Br, I e massa de MP_{2,5} foram as variáveis associadas com a componente principal I que pode ser classificado como fonte de queima da biomassa, uma vez que a presença de BC, K e S na moda fina do aerossol durante a estação seca é indicativo característico de emissões de queimadas.^{36,41-43}

No Fator 3, os percentuais dos elementos Al, Si, Ca e Fe, provenientes de ressuspensão do solo, podem ser associados às proximidades do site e a presença de tráfego veicular nas proximidades da área de estudo. As partículas procedentes de ressuspensão do solo, sejam pelo tráfego veicular ou pelo vento, apresentam, como elementos característicos, Al, Si, Fe, Ca, K, Ti.^{41,44-46}

No Fator 4 notam-se altas porcentagens dos elementos Na e S, que podem ser provenientes de combustíveis fósseis, e para uma melhor compreensão necessita-se de mais dados, pois não se trabalhou a parte de trajetórias de vento.⁴¹

Na Tabela 3, moda grossa (estação seca), no Fator 1, há presença P, S, BC_G provenientes da queima da biomassa no Pantanal.

Tabela 3. Percentual de participação das espécies (ng m⁻³) nos fatores identificados no PMF na moda grossa na estação seca. * MP₁₀ e BC (µg m⁻³). As atribuições dessas fontes estão discutidas detalhadamente no texto. **Fator 1:** Queima da biomassa; **Fator 2:** Ressuspensão do solo e queima da biomassa; **Fator 3:** Emissão biogênica; **Fator 4:** Emissão biogênica. Os elementos representados (_G) são da moda grossa

Elementos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
MP ₁₀	1.494	2.240	1.793	0.000
BC_G	0.022	0.022	0.015	0.006
Na_G	2.465	0.000	0.000	9.284
Mg_G	9.844	19.649	2.151	2.201
Al_G	61.981	179.680	2.761	4.600
Si_G	114.940	227.640	0.000	7.511
P_G	3.583	0.000	14.215	0.000
S_G	12.690	2.335	4.956	0.958
Cl_G	0.000	0.597	2.797	2.237
K_G	23.539	29.669	41.322	0.000
Ca_G	13.321	17.358	4.165	4.317
Ti_G	5.204	18.152	0.562	0.029
Fe_G	58.196	212.210	12.876	3.627
Zn_G	0.346	0.210	0.214	0.032
Br_G	0.456	0.000	0.000	0.000

No Fator 2 há presença de Al, Si, Ca, Ti e Fe, provenientes da poeira do solo, e BC_G, S, K, Br, provenientes da queima da biomassa no Pantanal. No Fator 3 e 4 há presença de S, P, K e Zn, provenientes de emissão biogênica no Pantanal.⁴¹

CONCLUSÃO

Utilizando metodologias analíticas e de amostragem, foi possível obter a caracterização do material particulado de queimadas *black carbon*, MP_{2,5}, MP₁₀.

Foram identificadas três principais fontes de emissão de aerossol pela Matriz de Fatoração Positiva (PMF), na moda fina no período seco: emissão biogênica, ressuspensão do solo e queima da biomassa. O objetivo desse estudo foi a análise da concentração e composição de aerossóis de queimadas no Pantanal Mato-Grosso observando que no período seco ocorre um aumento na concentração de *black carbon* e na moda fina o que indica a influência das queimadas caracterizada por essa estação. A fração do material particulado grosso na estação seca se deve a contribuição da ressuspensão de poeira do solo, porém pode ter influência da queima da biomassa também, em que a fração grossa pode ter origem de quebra mecânica e ressuspensão de poeira. Portanto, a região do Pantanal apresenta resultados que estão dentro dos padrões nacional e internacional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos (Fabio, Fernando, Alcides, Ana Lúcia) do Laboratório de Física Atmosférica da Universidade

de São Paulo pelo suporte na amostragem e análise dos dados experimentais usados no trabalho. Os autores agradecem ao Prof. Paulo Eduardo Artaxo Netto do Laboratório de Física Atmosférica da Universidade de São Paulo, à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa AEROCLIMA FAPESP 2008/58100-2, ao PRONEX pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa processo n. 823971/2009, à Pró-reitora de Pesquisa (Propeq) da Universidade Federal de Mato Grosso na pessoa do Sr. Ciríaco por colaborar na instalação, cessão de veículo e acompanhamento do experimento e ao Sr. Adolfo e à Sr.^a Maria do Carmo pelo suporte durante a estadia na BAPP-UFMT.

REFERÊNCIAS

- Merino, E. D.; Assine, M. L.; Pupim, F. N.; *Revista Brasileira de Geomorfologia* **2013**, *14*, 127.
- Nunes da Cunha, C.; Junk, W. J.; *Applied Vegetation Science* **2004**, *7*, 103.
- Cançado, J.; Braga, A.; Pereira, L.; Arbex, M. A.; Saldiva, P. H. N.; Santos, U. P.; *J. Bras. Pneumol.* **2006**, *32*, 5.
- Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N.; *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*, John Wiley & Sons: New York, 2006, cap. 4.
- Rosasco, F. V.; Mariani, R. L.; Martins, M. P. P.; Pereira, E. B.; *Geochim. Bras.* **2011**, *25*, 25.
- Barbosa, A. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil, 2007.
- Oliveira, P. H.; Artaxo, P.; Pires, C.; De Lucca, S.; Procópio, A.; Holben, B.; Rocha, H. R.; *Tellus, Ser. B* **2007**, *59*, 338.
- Almeida Filho, E. O.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil, 2006.
- Ramanathan, V.; Crutzen, P. J.; Kiehl, J. T.; Rosenfeld, D.; *Science* **2001**, *294*, 2119.
- Kaufman, Y. J.; Fraser, R. S.; *Science* **1997**, *277*, 1636.
- Procópio, A. S.; Artaxo, P.; Kaufman, Y. J.; Remer, L. A.; Schafer, J. S.; Holben, B. N.; *Geophys. Res. Lett.* **2004**, *31*.
- Artaxo, P.; Oliveira, P. H.; Lara, L. L.; Pauliquevis, T. M.; Rizzo, L. V.; Junior, C. P.; Paixão, M. A.; Longo, K. M.; Freitas, S.; Correia, A.; *Revista Brasileira de Meteorologia* **2006**, *21*, 168.
- Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Costa, A. A.; Frank, G. P.; Longo, K. M.; Silva-Dias, M. A. F.; *Science* **2004**, *303*, 1337.
- Andreae, M. O.; Crutzen, P. J. E.; *Science* **1997**, *276*, 1052.
- Haywood, J.; Boucher, O.; *Rev. Geophys.* **2000**, *38*, 513.
- Koren, I. Y.; Kaufman, Y. J.; Remer, L. A.; Martins, J. V.; *Science* **2004**, *303*, 1342.
- Intergovernmental Panel on Climate Change; *Climate Change 2007: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel of Climate Change*; Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M. M. B.; Miller Jr., H. L.; Chen, Z., eds.; Cambridge University Press: New York, 2007.
- Silva, M. P.; Mauro, R.; Mourão, G.; Coutinho, M.; *Rev. Bras. Bot.* **2000**, *143*.
- Hinds, W. C.; *Aerosol Technology: properties, behavior and measurement of airborne particles*, John Wiley & Sons: New York, 1999, cap. 3.
- Espinosa, A. A.; Reyes-Herrera, J.; Miranda, J.; Mercado, F.; Veytia, M. A.; Cuautle, M.; Cruz, J. I.; *Instrum. Sci. Technol.* **2012**, *40*, 603.
- Norris, G.; Wade, K.; Foley, C.; EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 3.0 Fundamentals & User Guide, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, **2008**.
- Morishita, M.; Keeler, G. J.; Kamal, A. S.; Wagner, J. G.; Harkema, J. R.; Rohr, A. C.; *Atmos. Environ.* **2011**, *45*, 1627.
- Paatero, P.; Tapper, U.; *Environmetrics* **1994**, *5*, 111.
- Paatero, P.; *Chemom. Intell. Lab. Syst.* **1997**, *37*, 23.
- Marques, R.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2011.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) - Resolução Nº 003/1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial da União. 22 de agosto de 1990.
- Pope III, C. A.; Dockery, D. W.; *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **2006**, *56*, 709.
- EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 3.0. Fundamentals and User Guide, USEPA Office of Research and Development, **2008**.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Monitoramento de focos ativos por estado: Mato Grosso – Brasil. 2013.
- Hao, W. M.; Liu, M. H.; *Global Biogeochem. Cycles* **1994**, *4*, 495.
- Andreae, M. O.; Anderson, B. E.; Blake, D. R.; Brad Shaw, J. D.; Collins, J. E.; Gregory, G. L.; Sachse, G. W.; Shipham, M. C.; *J. Geophys. Res.* **1994**, *99*, 12793.
- Crutzen, P. J. E.; Andreae, M. O.; *Science* **1990**, *4988*, 1669.
- Andreae, M. O.; Artaxo, P.; Fischer, H.; Freitas, S. R.; Gregoire, J. M.; Hansel, A.; Hoor, P.; Kormann, R.; Krejci, R.; Lange, L.; Lelieveld, J.; Lindenger, W.; Longo, K.; Peters, W.; de Reus, M.; Scheeren, B.; Silva Dias, M. A. F.; Strom, J.; van Velthoven, P. F. J.; Williams, J.; *Geophys. Res. Lett.* **2001**, *28*, 951.
- Gerab, F.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 1996.
- Longo, K. M.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 1999.
- Yamasoe, M. A.; Artaxo, P.; Miguel, A. H.; Allen, A. G. *Atmos. Environ.* **2000**, *34*, 1641.
- Echalar, F.; Artaxo, P.; Martins, J. V.; Yamasoe, M.; Gerab, F.; Maenhaut, W.; Holben, B.; *J. Geophys. Res.: Atmos.* **1998**, *103*, 31.849.
- Echalar, F.; Artaxo, P.; Martins, J. V.; Yamasoe, M.; Gerab, F.; Maenhaut, W.; Holben, B.; *J. Geophys. Res.* **1998**, *103*, 31.849.
- Pope III, C. A.; Dockery, D. W.; *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2006**, *56*, 709.
- Crutzen, P. J.; Andreae, M.; *Publ. Am. Assoc. Adv. Sci.* **1990**, *4988*, 1669.
- Santos, A. C. A.; Nogueira, J. S.; *Revista Brasileira de Meteorologia* **2015**, *30*, 254.
- Guyon, P.; Graham, B.; Roberts, G. C.; Bracero, O. L. M.; Maenhaut, W.; Artaxo, P.; Andreae, M. O.; *Atmos. Environ.* **2004**, *38*, 1039.
- Maenhaut, W.; Fernández-Jiménez, M. F.; Rajta, I.; Artaxo, P.; *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* **2002**, *189*, 1.
- Lara, L. L.; Artaxo, P.; Martinelli, L. A.; Camargo, P. B.; Victoria, R. L.; Ferraz, E. S. B.; *Atmos. Environ.* **2005**, *39*, 4627.
- Miranda, R. M.; Andrade, M. F.; Worobiec, A.; Van Grieken, R.; *Atmos. Environ.* **2002**, *36*, 345.
- Pozza, S. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, Brasil, 2005.