

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Guilherme Ferreira Santa Cecília

**ESTUDO PARA OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE ESPALHAMENTO DE MASSA PARA
AS COMPONENTES DE AEROSSOIS AMAZÔNICOS NA ESTAÇÃO SECA DE 2014**

**Uberlândia – MG
2018**

GUILHERME FERREIRA SANTA CECÍLIA

**ESTUDO PARA OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE ESPALHAMENTO DE MASSA PARA
AS COMPONENTES DE AEROSSOIS AMAZÔNICOS NA ESTAÇÃO SECA DE 2014**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Samara Carbone

Uberlândia – MG

2018

RESUMO

Por se tratar de uma região de extrema importância científica e biológica, inúmeros estudos são realizados na Floresta Amazônica, a fim de entender seus processos naturais e qual influência de acontecimentos externos em suas interações entre atmosfera e biosfera. Nesse contexto, foi criado o programa GoAmazon e instalada a estação Amazonian Tall Tower Observatory (ATTO) para monitoramento e coleta de dados referentes aos principais aerossóis presentes na bacia central amazônica. Paralelamente a medição do espalhamento da radiação solar incidente na região foi observados o comportamento dos seguintes aerossóis: orgânicos, sulfato, nitrato, amônio, cloreto e *black carbon* (BCe). Existem várias pesquisas que apresentam e correlacionam o espalhamento da radiação a uma massa de material particulado (MP) medida, porém são escassos os trabalhos que conseguem de forma efetiva separar os constituintes desse material particulado e encontrar os coeficientes específicos para cada um de seus componentes. Dessa maneira, esse estudo procura entender e avaliar a aplicabilidade da metodologia de regressão linear múltipla (MLR, do inglês) para a determinação desses coeficientes de espalhamento individuais. Foi observado que a aplicação desse método estatístico para cada componente separadamente, não leva em consideração as propriedades físicas dos aerossóis, ou seja, são necessários ajustes e agrupamentos de elementos semelhantes para que o resultado obtido seja fisicamente razoável. Durante o estudo também foram observados episódios externos à floresta que influenciaram na concentração total de material particulado e de seus componentes isolados, visto que em setembro de 2014, houve a influência de uma erupção vulcânica africana nessas características.

Palavras-chave: aerossóis, Amazônia, espalhamento, radiação, regressão linear múltipla

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo Geral	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1. Floresta Amazônica.....	3
3.2. Aerossóis.....	4
3.3. Propriedades óticas dos aerossóis.....	6
4. METODOLOGIA	8
4.1. Área de estudo	8
4.2. Obtenção e análise dos dados	8
4.3. Regressão Linear Múltipla.....	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	11
6. CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma grande mobilização da comunidade científica e da população em geral para o melhor entendimento das reações ocorrentes na atmosfera referentes ao aquecimento global, assim como seus agravantes e consequências, impactos na saúde humana e no meio biótico. Devido a isso, diversos estudos estão sendo realizados com referência aos aerossóis, porque estes possuem diversos efeitos ainda pouco conhecidos nos problemas citados anteriormente. Por exemplo, de acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, em inglês) 2014, enquanto certas componentes do aerossol possuem um efeito de espalhar a radiação solar, outras podem absorver, contribuindo assim, para a alteração do balanço de energia do planeta.

Uma região de extrema importância para esses estudos é a Amazônia, pois além de sua enorme biodiversidade e extensão tropical, possui fortes mecanismos de interação entre a floresta e atmosfera, o que afeta não somente o clima regional, mas também global. (Andreae and Rosenfeld, 2008; Andreae et al., 1990; Artaxo et al., 2013; Formenti et al., 2001). Regionalmente, as interações biológicas da Floresta Amazônica controlam inúmeros processos considerados críticos para a precipitação local, assim como o controle da concentração de gases e partículas na atmosfera. (Davidson and Artaxo, 2004).

Nesse cenário, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Departamento de Energia Americana (Department of Energy of the United States of America, DoE) financiaram o projeto Green Ocean Amazon (GoAmazon, Martin et al., 2016), no qual foram realizadas medidas intensivas de gases, aerossóis atmosféricos, parâmetros meteorológicos, entre muitas outras, em três sítios de observação na Bacia Amazônica de Fevereiro de 2014 a Dezembro de 2015, compreendendo 22 meses de medições ininterruptas. Entre os objetivos do GoAmazon estão a avaliação do processamento da pluma de poluentes antropogênicos e sua interação com as emissões biogênicas da floresta, entre outros.

Devido a enorme base de dados gerada pelo projeto citado, os dados necessitam de análise e interpretação para que seja compreendida a dinâmica atmosférica da floresta. Dentre esses estudos está a investigação das propriedades físicas e químicas dos aerossóis em um dos sítios de observação que não possui influência da atividade antropogênica provinda da cidade de Manaus.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Utilizar a regressão linear múltipla para entendimento da relação entre as propriedades dos aerossóis, além de analisar e interpretar as limitações da utilização dessa metodologia.

2.2. Objetivos específicos

- Relacionar as propriedades químicas (concentração de massa de aerossóis) e físicas (coeficiente de espalhamento) dos aerossóis.
- Estimar os valores dos coeficientes de espalhamento de massa de aerossóis para as componentes individuais do mesmo.
- Avaliar eventos isolados e sua influência no panorama de espalhamento da radiação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Floresta Amazônica

Responsável por cerca de 20% da descarga mundial de água doce nos oceanos, a bacia Amazônica é considerada a maior bacia hidrológica do mundo. Além de ocupar 5,5 milhões de km² no território brasileiro, equivalente a 61% da área total do Brasil, também estende-se em partes do território do Peru, Colômbia, Bolívia, Venezuela, Guiana, Suriname, Equador e Guiana Francesa (Lentini et al., 2005), conforme mostrado na Figura 1. Em decorrência disso, exerce um papel de extrema importância para a biodiversidade da flora e fauna local, além de regular o clima em escala global e regional, o ciclo hidrológico, ao alimentar a circulação atmosférica global, o transporte de calor e umidade para áreas continentais (Artaxo et al., 2005).



Figura 1. Extensão da Floresta Amazônica. Fonte: World Atlas, 2003.

Ao analisar climatologicamente a bacia Amazônica, é possível perceber dois períodos distintos, denominados chuvoso e seco. Uma forma de defini-los é como os quatro meses consecutivos com maior e menor taxa de precipitação acumulada, respectivamente (Satyamurty

et al., 2010).

A produção de grande quantidade de vapor d'água e núcleos de condensação de nuvens a partir de emissões florestais, garante para a região um forte ciclo hidrológico. Porém, a grande expansão da agropecuária se tornou um agente de mudança na bacia Amazônica, visto que são utilizadas queimadas para limpar o local. Essas ações são agravadas no período de seca, o que torna mais fácil atear fogo nos remanescentes da floresta devido à menor umidade comparada ao período de chuvas. As alterações na composição atmosférica da região decorrem principalmente dessas queimadas, pois estão diretamente relacionadas ao aumento na concentração de gases e partículas. Em função disso, existe um acréscimo de poluentes às emissões biogênicas naturais, o que impacta diretamente no balanço radioativo da região e do mundo (Andreae et. al., 2012).

3.2. Aerossóis

Aerossóis são partículas líquidas ou sólidas suspensas em um gás na atmosfera, as quais podem variar de alguns nanômetros (3 nm) até dezenas de micrômetros (100 μm). Eles podem ser de origem primária, quando são liberados diretamente pela fonte como partículas, ou secundária, quando são formados a partir da conversão de gases para partículas. Também são classificados conforme a sua emissão, sendo naturais, como partículas liberadas por erupções vulcânicas, sal proveniente do mar, ou areia do deserto; ou antrópicas, a partir da queima de combustíveis ou biomassa (Seinfeld & Pandis, 2006).

Existem dois mecanismos principais que removem as partículas na atmosfera, a deposição seca, na superfície da terra, em plantas, solo, construções; e a deposição úmida, incorporação em gotículas de nuvens durante sua formação e precipitação. Como a deposição seca e úmida levam os aerossóis a um tempo de residência na troposfera muito curto, de alguns dias até algumas semanas, e porque a distribuição geográfica das fontes emissoras é pouco uniforme, aerossóis troposféricos variam muito em concentração e composição ao redor da Terra (Seinfeld & Pandis, 2006).

As partículas finas possuem maior poder de penetração nos organismos, sendo seu indicador mais comum o $\text{MP}_{2,5}$, que consiste nas partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 μm . São provenientes principalmente de emissões diretas a partir de processos de combustão (origem primária), como o uso veicular de diesel e gasolina, queima de carvão e madeira para geração de energia, e processos industriais, tais como fundições, fábricas de papel,

cimento e aço. Podem também ser derivadas a partir de produtos de outras reações (origem secundária), incluindo partículas de nitrato e sulfato, os quais são gerados pela conversão de emissões primárias de enxofre e óxido de nitrogênio e secundárias de aerossóis orgânicos a partir da emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs).

Grande importância tem sido dada ao estudo dos processos que levam a formação destas partículas na atmosfera de ambientes naturais perturbados, tais como a floresta Amazônica, qual tem sido alvo de desflorestamento e constantes queimadas florestais (Artaxo et al., 2013; Bateman et al., 2016; Gilardoni et al., 2011).

A combustão incompleta da matéria orgânica presente na vegetação ocorre quando a queima dessas florestas, leva a emissão de compostos diferentes de CO₂ e H₂O, produto da combustão completa. São exemplos de produtos da combustão incompleta carbono elementar (CE), comumente denominado de fuligem, COVs (compostos orgânicos voláteis), CO (monóxido de carbono) e MP_{2.5} (material particulado menor que 2,5 µm). Em regiões como a floresta amazônica as mudanças climáticas são evidentes devido ao constante desmatamento e queimadas realizadas para retirada de grandes árvores e vegetação nativa para a utilização da terra para a agronegócio (Ramathan & Carmichael, 2008).

Na floresta Amazônica, devido as suas estações distintas, as concentrações dos aerossóis também o são. É possível observar um aumento desse fator em 30 vezes da estação chuvosa para a seca. (Artaxo et al., 2005; Kuhn et al., 2010). Além disso, a concentração em massa desses componentes também aumenta significativamente de uma estação para a outra (Martin et al., 2010). Por outro lado, a composição química em termos de fração da massa não sofre grandes alterações, visto que 70 a 90% são de origem orgânica, seguidos por 6 a 12% sulfatados (Chen et. al, 2009, 2015).

Devido à diferença das fontes de emissão de aerossóis e mecanismos para remoção dos mesmos, é possível notar essa mudança em suas concentrações. Isso ocorre pois a predominância de remoção por deposição úmida ocorre na estação chuvosa, pois a umidade relativa do ar se mantém aproximadamente em 80%. É possível identificar, nesta época, aerossóis de origem marinha, poeira do deserto do Saara e aerossóis orgânicos secundários (Andreae et al., 1990; Martin et al., 2010; Pöhlker et al., 2012; Yáñez-Serrano et al., 2015).

Durante a estação chuvosa, a bacia Amazônica é mais influenciada por massas de ar do hemisfério norte, visto que a zona de convergência intertropical (ITCZ, do inglês), encontra-se

deslocada na direção do hemisfério sul (Martin et al., 2010).

3.3. Propriedades óticas dos aerossóis

Estudos mostram que em altas concentrações os aerossóis inibem a visibilidade e podem causar problemas à saúde humana. Inúmeras pesquisas apontam um aumento significativo na mortalidade humana relacionado ao aumento dos níveis de aerossóis na troposfera (Oliveira et al., 2015). Também é pouco conhecido a real influência dos aerossóis da floresta Amazônica com o espalhamento e radiação solar. É conhecido e evidenciado que a precipitação regional é alterada pelo balanço de radiação da floresta (Andreae, 2014). Porém, estudos detalhados da interação dos aerossóis atmosféricos finos com a radiação solar ainda são escassos na literatura.

Uma forma de investigar tal interação é através da obtenção dos coeficientes de espalhamento e de absorção de massa (CEM e CAM, respectivamente). Estes indicam o quão eficiente os aerossóis são em absorver e espalhar a radiação solar. Além disso estimativas acuradas destes valores são importantes nos módulos de modelos de circulação global e de transporte de espécies químicas para o estudo da forçante radiativa dos aerossóis (Hand & Malm, 2007).

O comprimento de onda da radiação incidente e o tamanho da partícula do aerossol são os principais parâmetros determinantes para o espalhamento e absorção da radiação solar. As partículas finas, com diâmetro entre 0,1 μm e 1 μm , são as mais eficientes para espalhamento da radiação. As nuvens cobrem cerca de 60% da superfície da Terra e são afetadas indiretamente pelas partículas de aerossóis, visto que estas influenciam no balanço radioativo. As nuvens mais baixas e espessas refletem a radiação solar de volta para o espaço, e as mais altas e finas transmitem a radiação solar, mas bloqueiam a passagem da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre (Artaxo et al., 2005).

Estudos de propriedades óticas na bacia Amazônica identificaram valores dos coeficientes de espalhamento e de absorção (CE e CA) dos aerossóis atmosféricos. Por exemplo, um estudo durante as estações chuvosa e seca na bacia Amazônica central apontou que o valor de CE aumentou de 6,3 para 22 Mm^{-1} para o comprimento de onda 550 nm. O mesmo estudo também observou que o valor de CA aumentou de 0,5 para 2,8 Mm^{-1} da estação chuvosa para a seca (Rizzo et al., 2013). Este aumento nos coeficientes é devido a grande emissão proveniente da queima da floresta durante a estação seca (Artaxo et al., 2005). Através dos valores de CE, CA e a massa de MP_{10} , os autores determinaram os coeficientes de espalhamento e de absorção de massa

(CEM, CAM). Da estação chuvosa para a seca o valor de CEM aumentou de 0,9 para 2,6 m^2g^{-1} , enquanto que o valor de CAM passou de 0,09 para 0,24 m^2g^{-1} na bacia Amazônica.

No entanto, estes estudos anteriores, limitaram-se a investigar propriedades de espalhamento e absorção dos aerossóis como um todo, sem identificar a contribuição de cada componente química constituinte do aerossol. Por exemplo, a fração orgânica do aerossol fino pode apresentar grande variabilidade no valor de CEM e CAM (Moise, Flores, & Rudich, 2015), especialmente em um ambiente onde a este componente é dominante e as fontes emissoras variam drasticamente da estação chuvosa para a seca (70-90%) (Martin et al., 2010).

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

As medidas estudadas foram realizadas na Tall Tower Amazonian Observatory (ATTO, Andreae et al., 2015), entre Agosto e Dezembro de 2014, o que totalizou 5 meses de dados contínuos de propriedades químicas e óticas das partículas. A estação é denominada de T0a (Figura 2) durante o projeto GoAmazon e encontra-se localizada a 150 km a nordeste da cidade de Manaus, Amazonas, um dos principais centros industriais do Brasil, localizado dentro da floresta. O fato da direção predominante dos ventos no decorrer do ano ser de nordeste comprova o fato que as massas de ar que passam pelo sítio analisado não possuem significativa interferência da poluição emitida pela metrópole (Andreae et al., 2015).

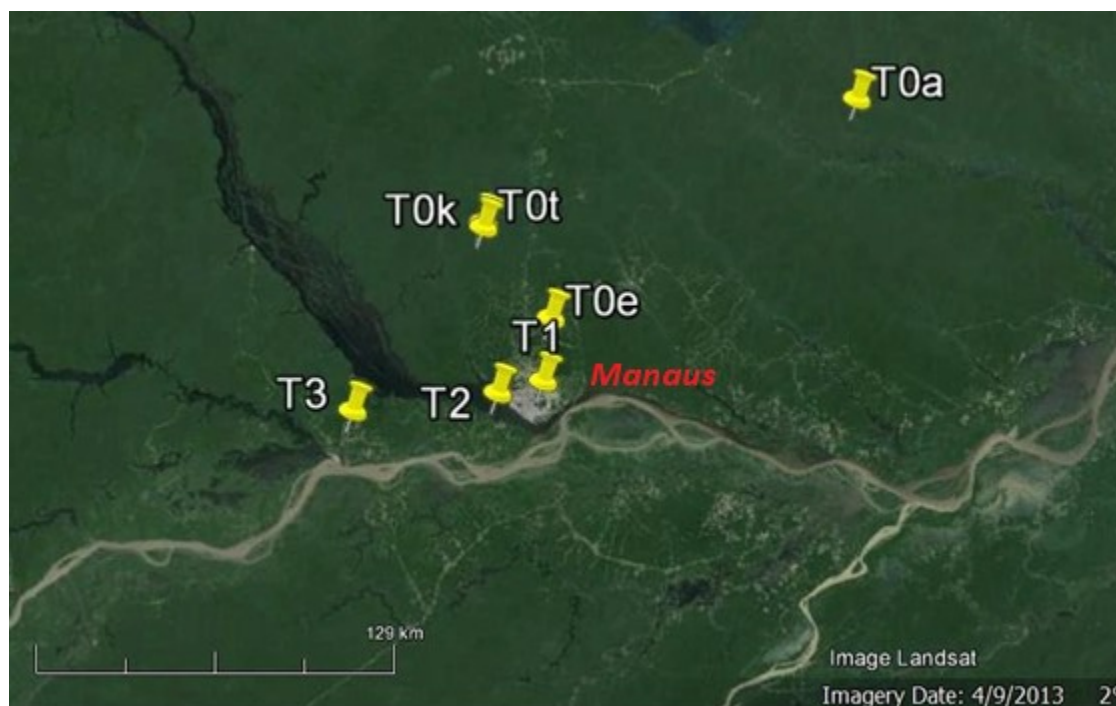


Figura 2. Localização das torres de monitoramento. (Fonte: Google Earth)

O projeto conjunto entre Alemanha e Brasil foi lançado em 2009 e coordenado pelo Max *Plank Insitute for Chemistry* e pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. As medições coletadas durante o período do GoAmazon são referentes à duas torres de 60 e 80 m de altura instaladas no local, o que garante as observações das características das partículas presentes próximas a copa das árvores. Neste estudo, todos os dados utilizados foram medidos na torre de 60m.

4.2. Obtenção e análise dos dados

Dentre outros equipamentos que operam no T0a, nesse estudo foram utilizados principalmente os dados do Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM), o Nefelômetro e o Multi-Angle Absorption Photometer (MAAP). Todos os dados utilizados neste estudo passaram por um pre-tratamento a fim de remover medidas com elevada incerteza. A validação dos dados foi feita pelos membros do Laboratório de Física da Atmosfera da USP.

O ACSM consiste em um espectrômetro de massa de aerossóis que permite a caracterização do material particulado não-refratário menor que $1\mu\text{m}$ (MP_1), também conhecidos como aerossóis atmosféricos finos, tais como material orgânico, sulfato, nitrato, amônio e cloreto (Ng et al., 2011). Este instrumento fornece dados com resolução de tempo de 30 minutos.

As medidas obtidas por esse equipamento correspondem às primeiras de longa data feitas na Bacia Amazônica Central. Medidas anteriores foram realizadas durante 2 meses em Rondônia, parte oeste da floresta (Brito et al., 2014). Neste estudo foi indicado a presença de aerossóis característicos de emissões de queima de biomassa com duas frações distintas de aerossóis orgânicos, uma mais processada e outra mais fresca.

O fotômetro MAAP supre a carência de medição de outro constituinte importante dos aerossóis atmosféricos, não medido pelo ACSM, o *black carbon* equivalente (BCe). Este equipamento converte a medida da absorção dos aerossóis atmosféricos no comprimento de onda de 637 nm em concentração de massa de BCe com a utilização de um coeficiente de absorção de massa (CAM, $6,6\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$). Ou seja, através do método da absorção, o BCe refere-se a medida de carbono elementar. Este equipamento fornece dados em tempo real, de aproximadamente um minuto.

Por fim, o Nefelômetro (Ecotech, Aurora 3000) foi utilizado para complementar a obtenção de dados referentes as propriedades óticas dos aerossóis, além de possuir sensores de temperatura e umidade do ar. Este equipamento opera em três comprimentos de onda, sendo eles 450, 525 e 635 nm e permite obter o coeficiente de espalhamento relacionado aos aerossóis, denominado de σ_{scat} . Seu fornecimento de dados também se dá em tempo real, de aproximante um minuto.

Os dados medidos e pré-tratados foram adquiridos no servidor da Universidade de São Paulo e suas modelagens, regressões e tabelas foram realizadas com o auxílio do *software* IGOR Pro.

4.3. Regressão Linear Múltipla

A análise de regressão linear múltipla consiste em um método estatístico bastante utilizado para explicar a relação entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes (Barnett, 2004). No estudo de propriedades óticas este método tem sido aplicado com êxito para explicar a contribuição de cada componente química individual no processo de espalhamento da radiação solar pelos aerossóis atmosféricos (Hand & Malm, 2007; Sciare et al., 2005; Washenfelder et al., 2015). Neste método a variável dependente (y) será o coeficiente de espalhamento obtido através do Nefelômetro (scat ou σ) e as variáveis independentes (x_1, x_2, \dots, x_p) serão a concentração de massa das componentes dos aerossóis atmosféricos: orgânicos, sulfato, nitrato, amônio, cloreto e BCe. A regressão linear múltipla será utilizada para estimar os valores dos coeficientes da Equação 1 (B_0, B_1, \dots, B_p), os quais representam os coeficientes de espalhamento de massa de aerossóis finos.

$$y_i = B_0 + B_1x_{i1} + B_2x_{i2} + \dots + B_px_{ip} + E \quad (1)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a verificação da utilização da metodologia referente à Regressão Linear Múltipla (MLR), foram realizados histogramas de frequência para verificar a normalidade da distribuição dos dados e independência dos resíduos para os seguintes componentes dos aerossóis: orgânicos, sulfato, nitrato, amônio, cloreto e *black carbon equivalente* (BCe), conforme exemplos da Figura 3, onde o eixo “x” corresponde a concentração da componente em $\mu\text{g m}^{-3}$.

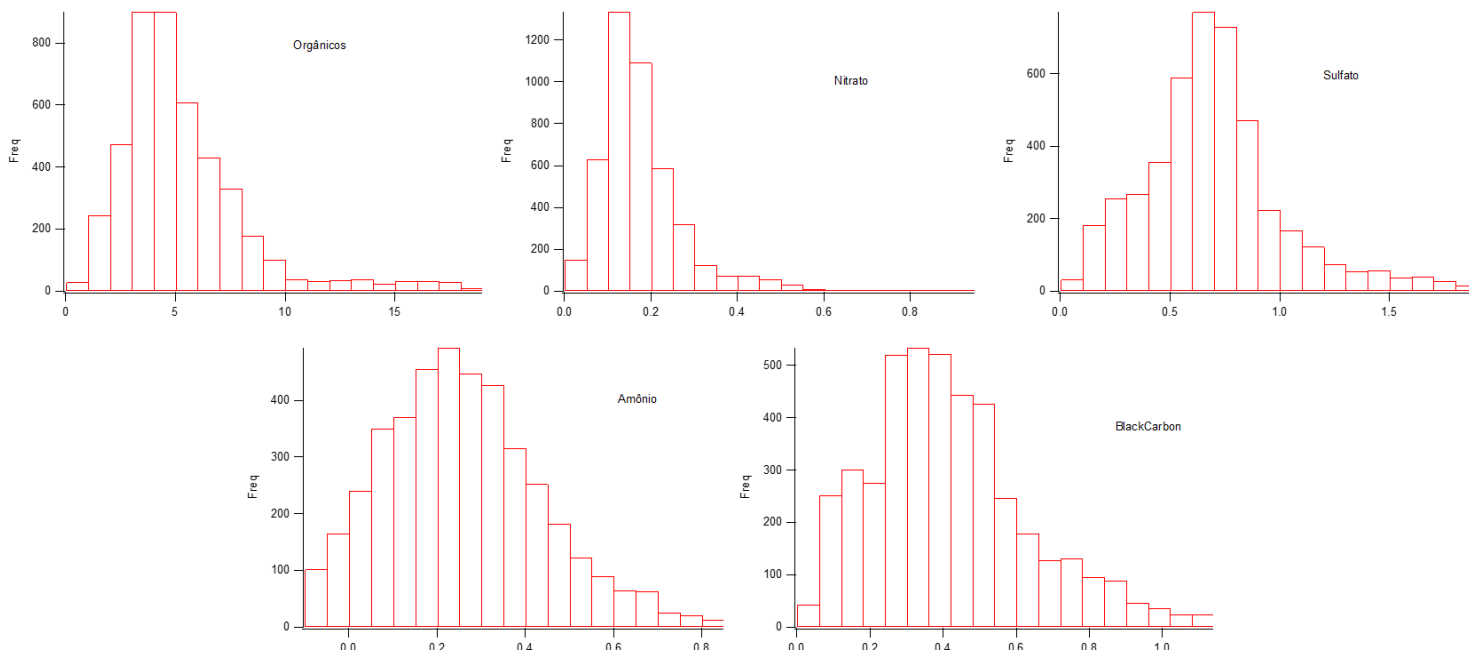


Figura 3. Histogramas realizados para verificação da distribuição normal dos dados analisados.

Observa-se que todas as componentes dos aerossóis apresentaram distribuição normal, com exceção do cloreto, Figura 4. O histograma do cloreto apresenta distribuição não-normal, provavelmente devido a sua baixa concentração atmosférica e o baixo limite de detecção do aparelho para esse composto. No entanto, foi possível verificar a normalidade para sequência de dados analisada. Isso possibilitou a continuidade na utilização da metodologia selecionada.

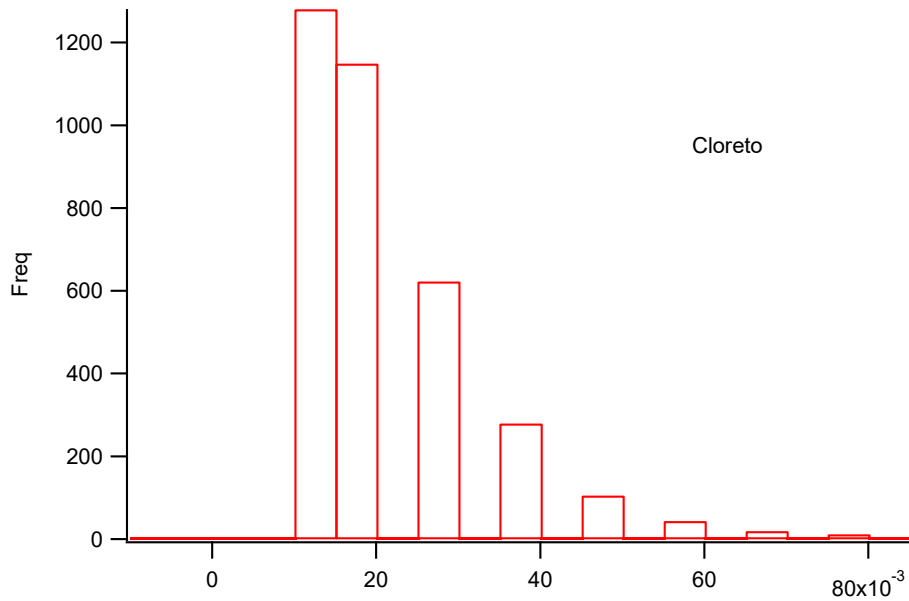


Figura 4. Histograma referente à distribuição de frequência dos dados de cloreto.

A série temporal dos dados utilizados neste estudo está representada na Figura 5. Nota-se que a concentração média de MP_1 , soma dos principais componentes do aerossol, neste período foi de $7,28713 \mu\text{g m}^{-3}$, e que a fração dos orgânicos foi a maior com 77%. Uma relação linear é observada entre as variáveis coeficiente de espalhamento e MP_1 , Figura 6. No entanto, verifica-se duas situações onde os pontos estão fora da inclinação apresentada pela maioria dos dados. Estes pontos representam um episódio em Agosto (18-22) e outro no final do mês de Setembro (22-29). Estas situações foram destacadas na Figura 7.

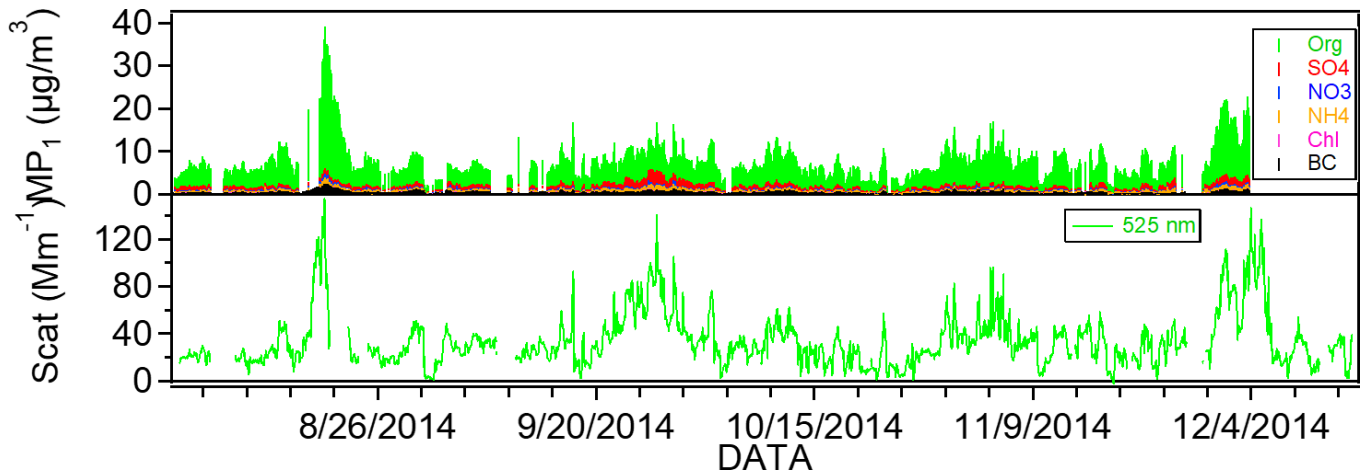


Figura 5. Série temporal dos dados analisados.

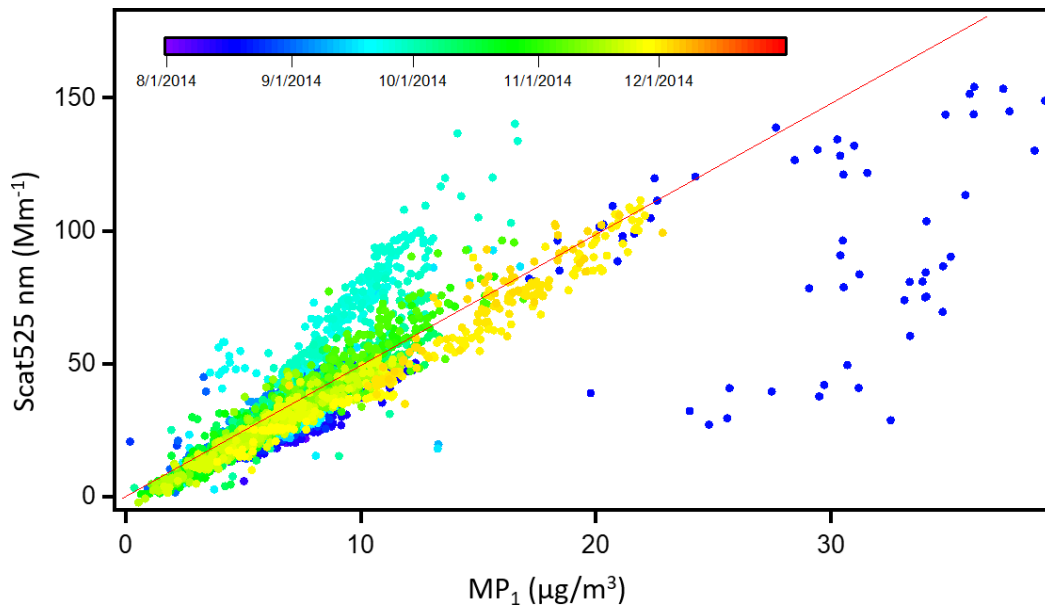


Figura 6. Relação entre Scat525 e MP_1 durante a estação seca de 2014, considerando todos os dados obtidos.

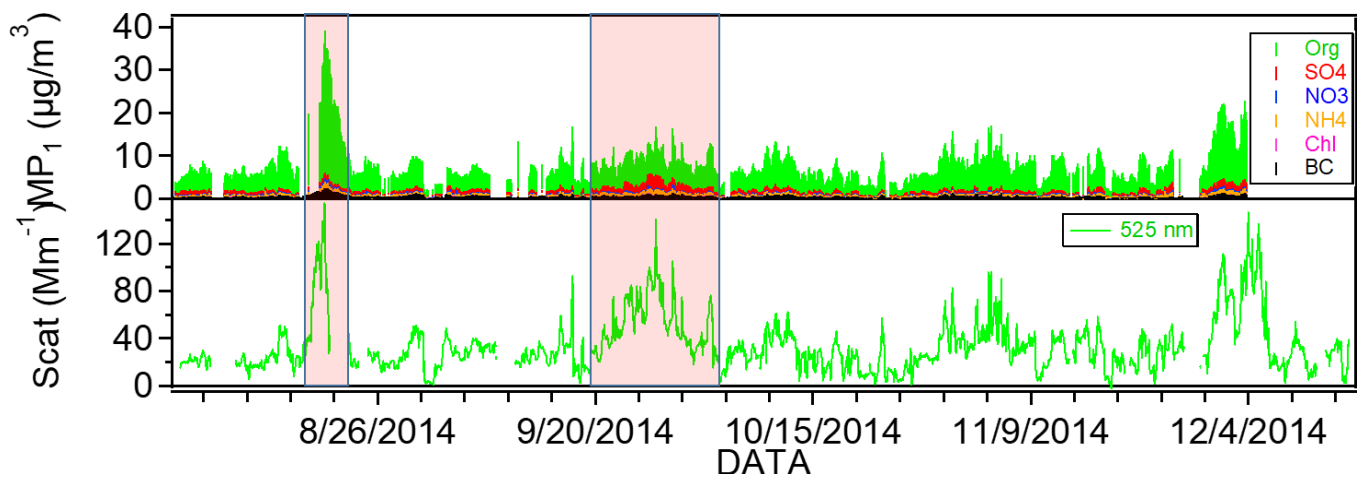


Figura 7. Série histórica dos dados analisados com ênfase nos períodos de anormalidade.

Ao analisar separadamente cada episódio, pode-se observar que o referente a agosto possui característica de queimada na região, pois o período de duração é de poucos dias e apresenta um aumento significativo na concentração de *black carbon*, visto que este é o principal produto da combustão incompleta da matéria vegetal. Já no episódio referente a setembro, o período de duração do mesmo corresponde a uma sequência de uma semana (dias 22/09/2014 a 29/09/2014) e é possível observar um grande aumento na concentração de sulfato (Figura 8), o que é atípico na floresta Amazônica. Estudos de trajetórias de vento e medidas com instrumentos a bordo de avião e satélites mostraram que se trata de uma erupção vulcânica ocorrida na África

(Saturno et al. 2018). As massas de ar vindas deste continente levaram em torno de uma semana para chegar a bacia central da Amazônia.

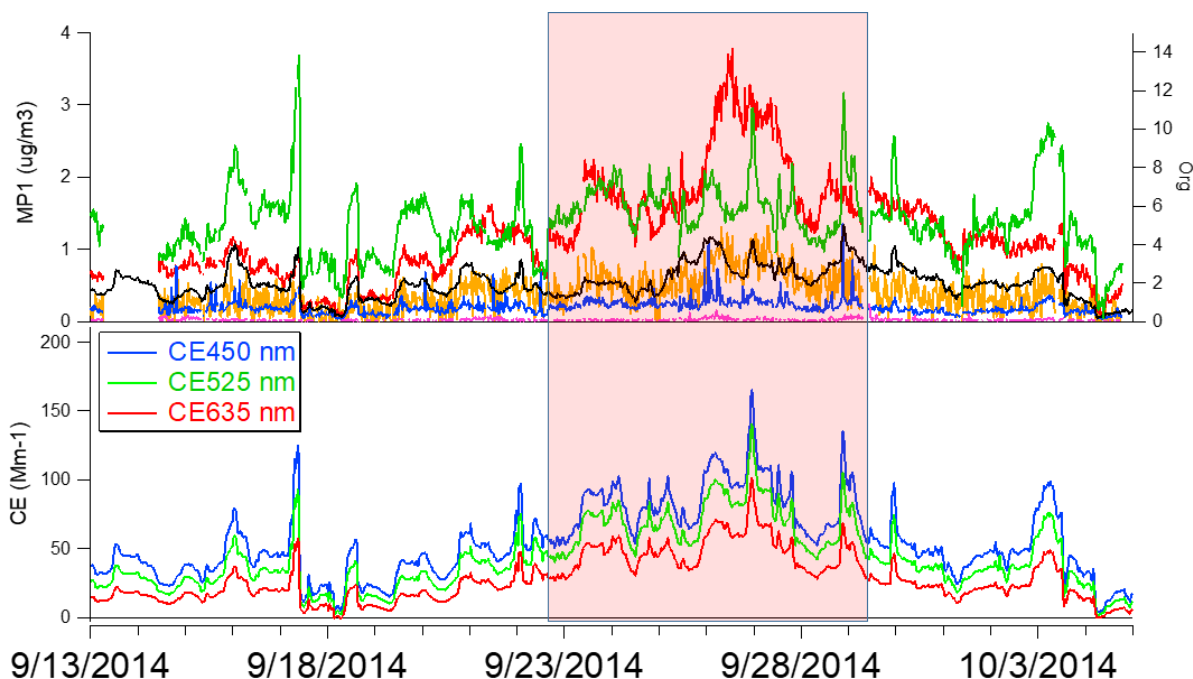


Figura 8. Destaque para pico de emissão de sulfato no episódio vulcânico

Para facilitar a análise dos dados, os episódios em questão foram removidos das séries de dados e o vulcânico estudado separadamente. Na Figura 9, é possível observar que na maior parte do tempo, durante a estação seca, uma relação linear direta entre concentração de material particulado (PM_1) e o espalhamento da radiação ($Scat_{525} = -2,8586 + 4,868 * PM_1$). A mesma linearidade está presente para os dados durante o episódio vulcânico, Figura 10, no entanto, nota-se que a equação de ajuste é bastante diferente ($Scat_{525} = -15,369 + 8,9244 * PM_1$). Durante o episódio vulcânico, o coeficiente angular é 1,83 vezes maior do que o valor obtido para toda a estação. O valor do coeficiente angular da reta desta análise pode ser utilizado como coeficiente de espalhamento de massa (CEM). Portanto, o maior valor do CEM neste período indica aerossóis com elevado potencial de espalhamento da radiação solar neste comprimento de onda.

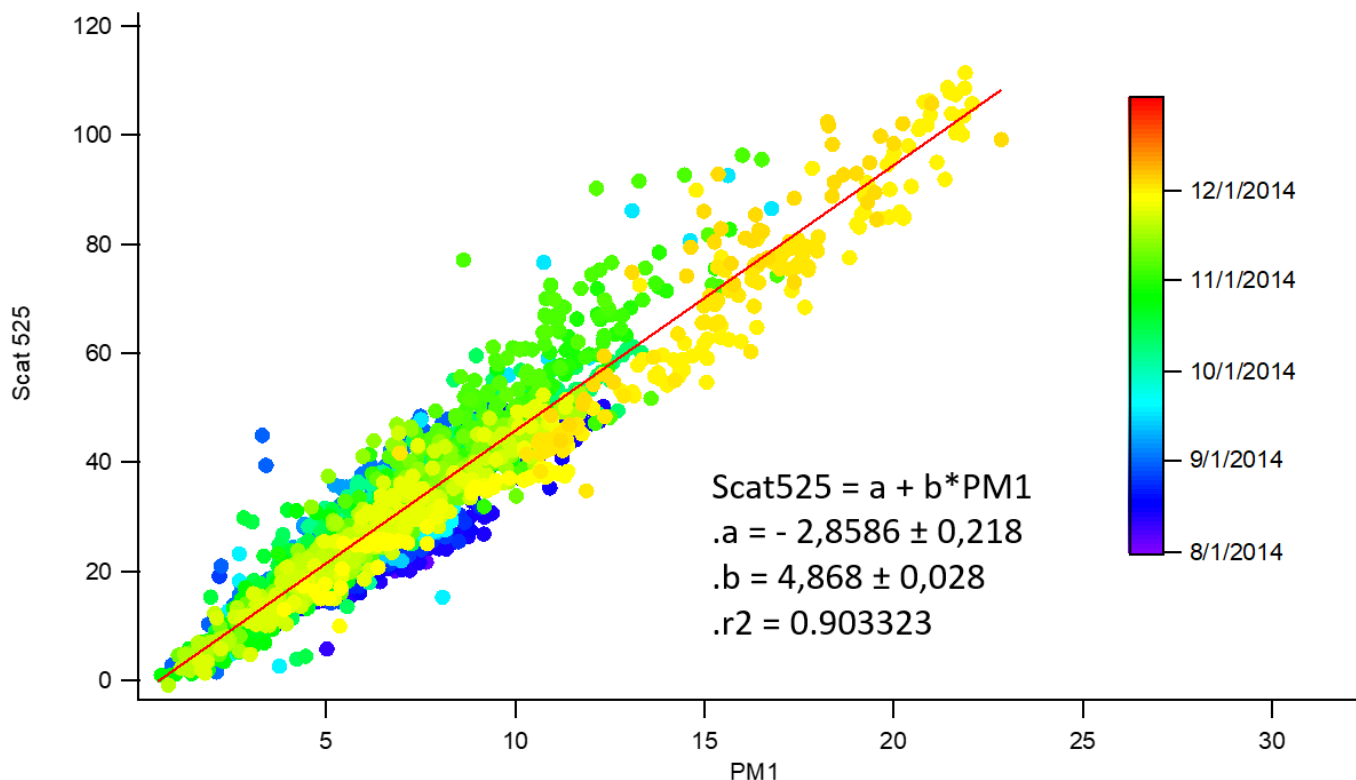


Figura 9. Relação entre Scat525 e MP_1 durante o período de seca de 2014, desconsiderando os dois episódios mencionados

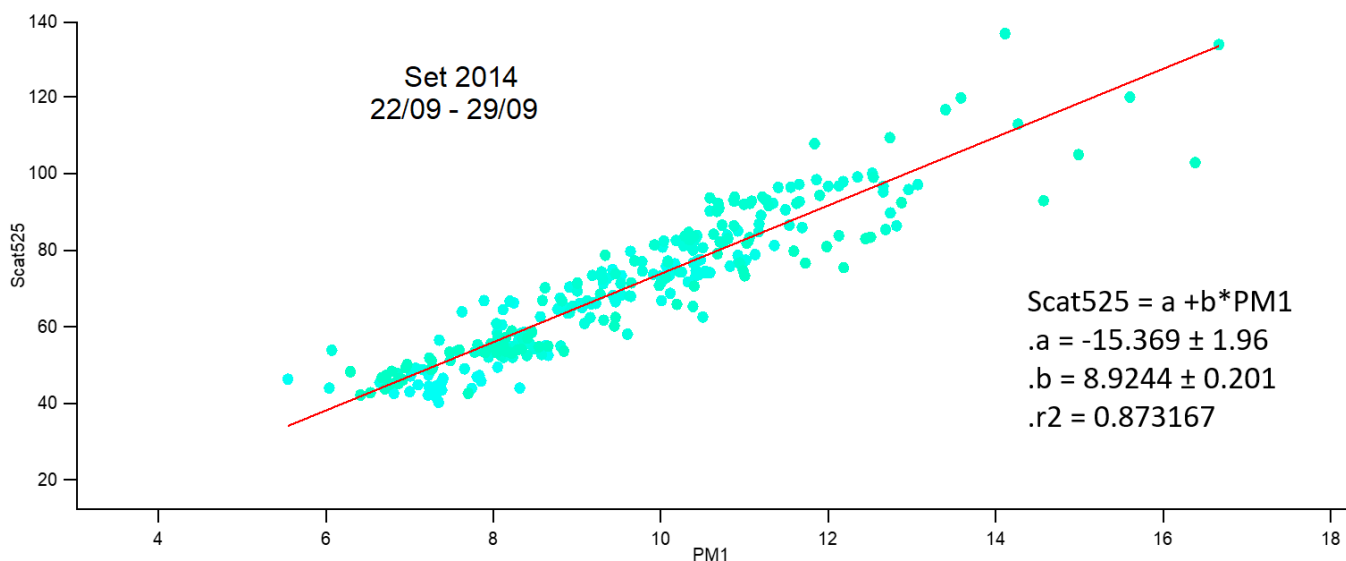


Figura 10. Relação entre Scat525 e MP_1 durante o episódio vulcânico de setembro 2014.

Estes resultados fornecem os valores do CEM de MP_1 , no entanto, para a obtenção dos valores de CEM para as componentes individuais do MP_1 foi utilizada uma regressão linear múltipla (Equação 2). Para isto, diferentes agrupamentos de componentes foram testados, realizando alterações nos componentes das equações, onde alguns foram eliminados e outros

agrupados devido ao comportamento e características espalhadoras de radiação semelhantes e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

$$\text{Scat525} = a * \text{Org} + b * \text{Sulf} + c * \text{Nit} + d * \text{Amon} + e * \text{BC} + w \quad (2)$$

Equação	Coef	ChiSq	Nºpts	ChiSq/Nºpts	
Scat525 = a*OrgNit + b*Sulf + c*NitInorg + d*Amn + e*BC + w	a	4.1578 ± 0.0586	91.256,7	3871	23,57
	b	2.139 ± 0.401			
	c	12.511 ± 2.53			
	d	1.0202 ± 0.464			
	e	19.483 ± 0.585			
	w	-3.1883 ± 0.192			
Scat525 = a*OrgNit + b*Sulf + c*NitInorg + d*Amn + w	a	5.2173 ± 0.0524	150.977	4396	34,34
	b	4.7904 ± 0.425			
	c	20.809 ± 2.9			
	d	2.0604 ± 0.508			
	w	-3.3819 ± 0.217			
Scat525 = a*OrgNit + b*SulfAm + c*NitInorgAm + d*BC + w	a	4.264 ± 0.0539	91.744	3871	23,70
	b	1.6327 ± 0.387			
	c	3.2555 ± 1.5			
	d	19.801 ± 0.582			
	w	-3.0046 ± 0.188			
Scat525 = a*OrgNit + b*SulfAm + c*NitInorgAm + w	a	5.4276 ± 0.0436	152.733	4396	34,73
	b	4.0774 ± 0.416			
	c	3.8219 ± 1.68			
	w	-2.9852 ± 0.211			

Tabela 1. Principais testes de agrupamentos de componentes analisadas para a estação seca de 2014.

Após inúmeros testes, foi observado que o coeficiente linear (w) está sempre negativo devido a incertezas nas medidas do coeficiente de espalhamento. Pode-se dizer que seu uso auxilia no sentido de corrigir estas incertezas.

Também notou-se a forte influência quando o termo BCe era adicionado ou retirado do agrupamento. Quando o mesmo aparecia, seu coeficiente de espalhamento da radiação obtido encontrava-se próximo de 20, característica oposta ao esperado, sendo que esta componente possui maior valor de coeficiente de absorção do que de espalhamento da radiação. Ou seja, o BC é mais absorvedor do que espalhador (Seinfeld 2006). Sendo assim, esse fator foi removido da análise, assumindo valor de coeficiente de espalhamento igual a zero para este componente.

É possível verificar que os resultados mais razoáveis e condizentes física e quimicamente foram os expressos pela Equação 3:

$$\text{Scat525} = a * \text{OrgNit} + b * \text{SulfAm} + c * \text{NitInorgAm} + w \quad (3)$$

Isto ocorre, pois o agrupamento de componentes que possuem semelhanças nas propriedades físicas foi realizado. Neste resultado observa-se a presença de três grupos: orgânicos e metade do nitrato (OrgNit), sulfato de amônio (SulfAm) e nitrato inorgânico de amônio (NitInorgAm). Existem nitratos orgânicos e inorgânicos nos aerossóis (Carbone et al., em elaboração) e portanto, neste agrupamento eles foram separados. Além disto, sendo o amônio o único componente catiônico em abundância, ele foi dividido entre o sulfato e o nitrato inorgânico, considerando as formas neutralizadas de nitrato de amônio e sulfato de amônio. Os valores de CEM obtidos são semelhantes aos de Hand & Malm (2007), que após revisarem 60 estudos, encontraram uma média para sulfato de amônio de $2,5 \pm 0,6$, nitrato de amônio $2,7 \pm 0,5$ e orgânicos $3,9 \pm 1,5$.

Sendo assim, diferentes configurações variando as frações de cada componente, foram testadas conforme descritos nas Equações 4 a 7.

$$\text{OrgNit} = \text{Org} + (2/3) * \text{Nit} \quad (4)$$

$$\text{NitInorg} = (1/3) * \text{Nit} \quad (5)$$

$$\text{NitInorgAm} = (1/3) * \text{Nit} + (1/3) * \text{Amn} \quad (6)$$

$$\text{SulfAm} = \text{Sulf} + (2/3) * \text{Amn} \quad (7)$$

6. CONCLUSÃO

Foi observada uma relação linear positiva entre a concentração de material particulado espalhamento da radiação, durante o período da estação seca de 2014. Além disto, foi identificado um episódio onde relação linear apresenta valores de coeficiente angulares maiores, indicando a presença de material espalhador nos aerossóis durante o episódio vulcânico. A identificação e separação do grupo de dados referentes ao episódio vulcânico africano e sua influência nas propriedades dos aerossóis encontrados na Amazônia instiga a elaboração de mais estudos sobre esse período em específico.

Pode-se concluir, principalmente, que a utilização do método de regressão linear múltipla depende diretamente do agrupamento de espécies a ser utilizado. Este agrupamento das espécies, definidos por meio de semelhança entre suas características físicas, onde foram encontrados os seguintes coeficientes de espalhamento da radiação solar para os melhores agrupamentos definidos no trabalho: *OrgNit*, $5,4276 \pm 0,0436$; *SulfAm*, $4,0774 \pm 0,416$; *NitInorgAm*, $3,8219 \pm 1,68$; e o coeficiente linear (w) $-2,9852 \pm 0,211$. Devido a esses fatores, considera-se a utilização de outras metodologias em trabalhos futuros para a obtenção e comparação dos valores de coeficientes de espalhamento.

REFERÊNCIAS

- Andreae, M. O.: Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, 303(FEBRUARY), 1337–1342. 2014
- Andreae, M. O., Artaxo, P., Beck, V., Bela, M., Freitas, S., Gerbig, C., ... Wofsy, S. C.: Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(13), 6041–6065. 2012
- Andreae, M. O. and Rosenfeld, D.: Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, *Earth-Science Rev.*, 89(1-2), 13–41. 2008
- Andreae, M. O., Berresheim, H., Bingemer, H., Jacob, D. J., Lewis, B. L., Li, S.-M. and Talbot, R. W.: The atmospheric sulfur cycle over the Amazon Basin 2 – Wet season, *J. Geophys. Res.*, 95(D10), 16813–16824. 1990
- Andreae, M. O. et al. The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. n. April, p. 10723– 10776, 2015.
- Artaxo, P., Gatti, L. V., Leal, A. M. C., Longo, K. M., Freitas, S. R. De, Lara, L. L., ... Rizzo, L. V.: Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazonica*, 35(2), 185–196. 2005
- Artaxo, P., Rizzo, L. V., Brito, J. F., Barbosa, H. M. J., Arana, A., Sena, E. T., Cirino, G. G., Bastos, W., Martin, S. T. and Andreae, M. O.: Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions, *Faraday Discuss.*, 165, 203. 2013
- Barnett, V.: *Environmental Statistics: Methods and Applications*. Chichester, John Wiley and Sons, 318 p. 2004
- Bateman, A. P., Gong, Z., Liu, P., Sato, B., Cirino, G., Zhang, Y., ... Martin, S. T.: Submicron Particulate Matter is Primarily in Liquid Form over Amazon Rain Forest. *Nature Geoscience*, in press(January), 2–7. 2016
- Brito, J., Rizzo, L. V., Morgan, W. T., Coe, H., Johnson, B., Haywood, J., Longo, K., Freitas, S., Andreae, M. O. and Artaxo, P.: Ground-based aerosol characterization during the South American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) field experiment, *Atmos. Chem. Phys.*, 14(22), 12069–12083. 2014

Chen, Q., Farmer, D. K., Schneider, J., Zorn, S. R., Heald, C. L., Karl, T. G., Guenther, A., Allan, J. D., Robinson, N., Coe, H., Kimmel, J. R., Pauliquevis, T., Borrmann, S., Pöschl, U., Andreae, M. O., Artaxo, P., Jimenez, J. L. and Martin, S. T.: Mass spectral characterization of submicron biogenic organic particles in the Amazon Basin, *Geophys. Res. Lett.*, 36(20), 1–5. 2009

Chen, Q., Farmer, D. K., Rizzo, L. V., Pauliquevis, T., Kuwata, M., Karl, T. G., Guenther, A., Allan, J. D., Coe, H., Andreae, M. O., Pöschl, U., Jimenez, J. L., Artaxo, P. and Martin, S. T.: Submicron particle mass concentrations and sources in the Amazonian wet season (AMAZE- 08), *Atmos. Chem. Phys.*, 15(7), 3687–3701. 2015

Davidson, E. a. and Artaxo, P.: Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment, *Glob. Chang. Biol.*, 10(5), 519–529. 2004

Gilardoni, S., Vignati, E., Marmer, E., Cavalli, F., Belis, C., Gianelle, V., ... Artaxo, P.: Sources of carbonaceous aerosol in the Amazon basin. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(6), 2747–2764. 2011

Hand, J. L., & Malm, W. C.: Review of aerosol mass scattering efficiencies from ground-based measurements since 1990. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(16). 2007

Formenti, P., Andreae, M. O., Lange, L., Roberts, G., Cafmeyer, J., Rajta, I., Maenhaut, W., Holben, B. N., Artaxo, P. and Lelieveld, J.: Saharan dust in Brazil and Suriname during the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) - Cooperative LBA Regional Experiment (CLAIRE) in March 1998, *J. Geophys. Res.*, 106(D14), 14919. 2001

Kuhn, U., Ganzeveld, L., Thielmann, A., Dindorf, T., Schebeske, G., Welling, M., Sciare, J., Roberts, G., Meixner, F. X., Kesselmeier, J., Lelieveld, J., Kolle, O., Ciccioli, P., Lloyd, J., Trentmann, J., Artaxo, P. and Andreae, M. O.: Impact of Manaus City on the Amazon Green Ocean atmosphere: Ozone production, precursor sensitivity and aerosol load, *Atmos. Chem. Phys.*, 10(19), 9251–9282, 2010

Lentini, M. et al. *Fatos Florestais da Amazônia*. [s.l: s.n.]. 2005

Martin, S. T., Andreae, M. O., Artaxo, P., Baumgardner, D., Chen, Q., Goldstein, A. H., Guenther, A., Heald, C. L., Bracero, O. L. M., McMurry, P. H., Pauliquevis, T., Pöschl, U., Prather, K. A., Roberts, G. C., Saleska, S. R., Dias, M. A. S., Spracklen, D. V, Swietlicki, E. and Trebs, I.: SOURCES AND

PROPERTIES OF AMAZONIAN AEROSOL PARTICLES, *Rev. Geophys.*, (2008), 2010

Martin, S. T., Artaxo, P., Machado, L. A. T., Manzi, A. O., Souza, R. A. F., Schumacher, C., Wang, J., Andreae, M. O., Barbosa, H. M. J., Fan, J., Fisch, G., Goldstein, A. H., Guenther, A., Jimenez, J. L., Pöschl, U., Silva Dias, M. A., Smith, J. N. and Wendisch, M.: Introduction: Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/5), *Atmos. Chem. Phys.*, 16(8), 4785–4797. 2016

Moise, T., Flores, M., e Rudich, Y.: Propriedades ópticas de aerossóis orgânicos secundários e suas alterações por processos químicos. *Revisões Químicas*. 2015

Ng, N. L., Herndon, S. C., Trimborn, a., Canagaratna, M. R., Croteau, P. L., Onasch, T. B., Sueper, D., Worsnop, D. R., Zhang, Q., Sun, Y. L. and Jayne, J. T.: An Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) for Routine Monitoring of the Composition and Mass Concentrations of Ambient Aerosol, *Aerosol Sci. Technol.*, 45(7), 780–794. 2011

Oliveira, N. De, Brito, J., Arana, A., Regina, S., & Medeiros, B. De.: Biomass burning in the Amazon region: Aerosol source apportionment and associated health risk assessment, 120, 277–285. 2015

Pöhlker, C., Wiedemann, K. T., Sinha, B., Shiraiwa, M., Gunthe, S. S., Smith, M., Su, H., Artaxo, P., Chen, Q., Cheng, Y., Elbert, W., Gilles, M. K., Kilcoyne, A. L. D., Moffet, R. C., Weigand, M., Martin, S. T., Pöschl, U. and Andreae, M. O.: Biogenic Potassium Salt Particles as Seeds for Secondary Organic Aerosol in the Amazon, , (August), 1075–1079. 2012

Ramanathan, V., & Carmichael, G. R.: Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geoscience*, 1(September 2016), 221–227. 2008

Rizzo, L. V., Artaxo, P., Muller, T., Wiedensohler, A., Paixo, M., Cirino, G. G., Arana, A., Swietlicki, E., Roldin, P., Fors, E. O., Wiedemann, K. T., Leal, L. S. M. and Kulmala, M.: Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia, *Atmos. Chem. Phys.*, 13(5), 2391–2413. 2013

Saturno, J., Ditas, F., Penning de Vries, M., Holanda, B. A., Pöhlker, M. L., Carbone, S., Walter, D., Bobrowski, N., Brito, J., Chi, X., Gutmann, A., Hrabec de Angelis, I., 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., and Pöhlker, C.: African volcanic emissions influencing

atmospheric aerosols over the Amazon rain forest, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10391-10405. 2018.

Satyamurty, P., De Castro, A. A., Tota, J., Da Silva Gularte, L. E. and Manzi, A. O.: Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades, *Theor. Appl. Climatol.*, 99(1-2), 139–148. 2010

Sciare, J., Oikonomou, K., Cachier, H., Mihalopoulos, N., Andreae, M. O., Maenhaut, W., & Sarda-Estève, R.: Aerosol mass closure and reconstruction of the light scattering coefficient over the Eastern Mediterranean Sea during the MINOS campaign. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 5, 2427-2461. 2005

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N.: *ATMOSPHERIC From Air Pollution to Climate Change SECOND EDITION*. 2006

Yáñez-Serrano, A. M., Nölscher, A. C., Williams, J., Wolff, S., Alves, E., Martins, G. A., Bourtsoukidis, E., Brito, J., Jardine, K., Artaxo, P. and Kesselmeier, J.: Diel and seasonal changes of biogenic volatile organic compounds within and above an Amazonian rainforest, *Atmos. Chem. Phys.*, 15(6), 3359–3378. 2015

Washenfelder, R. A., Attwood, A. R., Brock, C. a., Guo, H., Xu, L., Weber, R. J., ... Brown, S. S.: in the rural southeastern United States, 653–664. 2015