



Exame de Qualificação para Doutorado

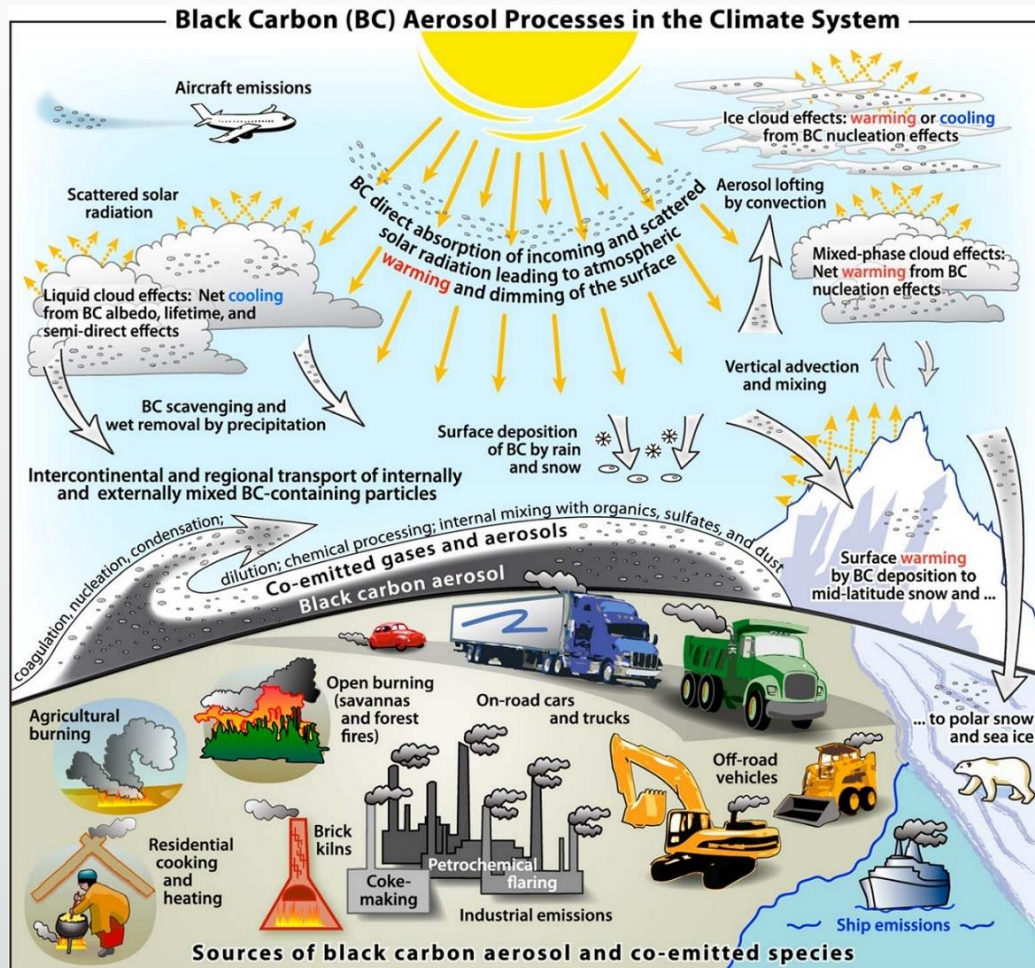
Fernando G. Morais | IPEN – CLA
22 outubro 2019

“As propriedades de absorção
de *Brown Carbon* e Black
Carbon utilizando
sensoriamento remoto e
medidas *in situ* na Amazônia”

Introdução

- O impacto radiativo de aerossóis é uma das maiores fontes de incertezas na estimativa do efeito radiativo global.
- A absorção de radiação por aerossóis é uma das questões principais nestas incertezas.
- Entre os aerossóis carbonáceos, duas componentes se destacam:
 - O "*black carbon*" (BC) que consiste na absorção de radiação em partículas emitidas em processos de combustão.
 - O "*brown carbon*" (BrC) que consiste na absorção de radiação em comprimentos de onda próximos do ultravioleta.

Produção, transformação e deposição de Black Carbon (BC)



Bond et al., 2013

Figura ilustrando a produção, transformação e deposição de BC na atmosfera terrestre com seu complexo comportamento na atmosfera, com emissões industriais, queimadas, transporte e outras.

A deposição em neve é importante na alteração do albedo terrestre. Também é ilustrado seu papel no desenvolvimento de nuvens.

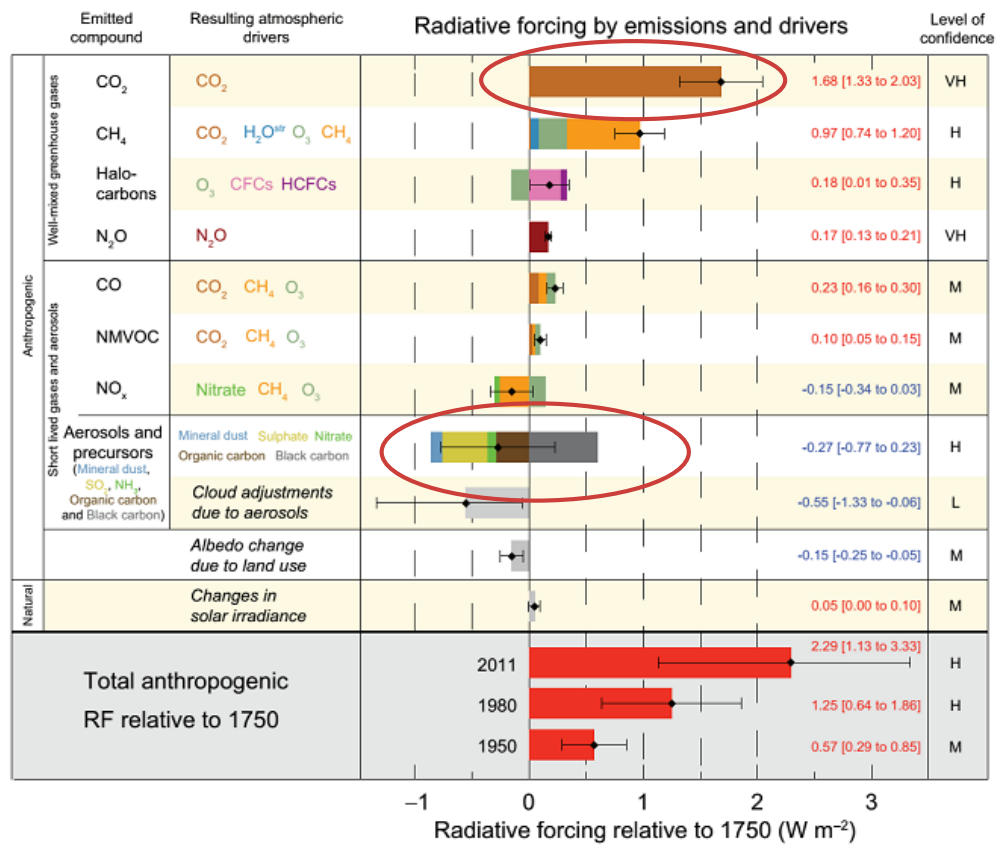
Natureza do Brown Carbon

- Brown Carbon (BrC), consiste em partículas de carbono orgânico com propriedades de absorção de radiação próximo ao ultravioleta.
- É conhecido pela sua cor marrom clara na deposição em filtros.
- Exemplos: Alcatrão produzido por combustão lenta e de baixa temperatura, produtos de degradação a partir da queima de biomassa, misturas de compostos orgânicos emitidos a partir do solo, e compostos orgânicos voláteis emitidos pela vegetação após serem oxidados na atmosfera.

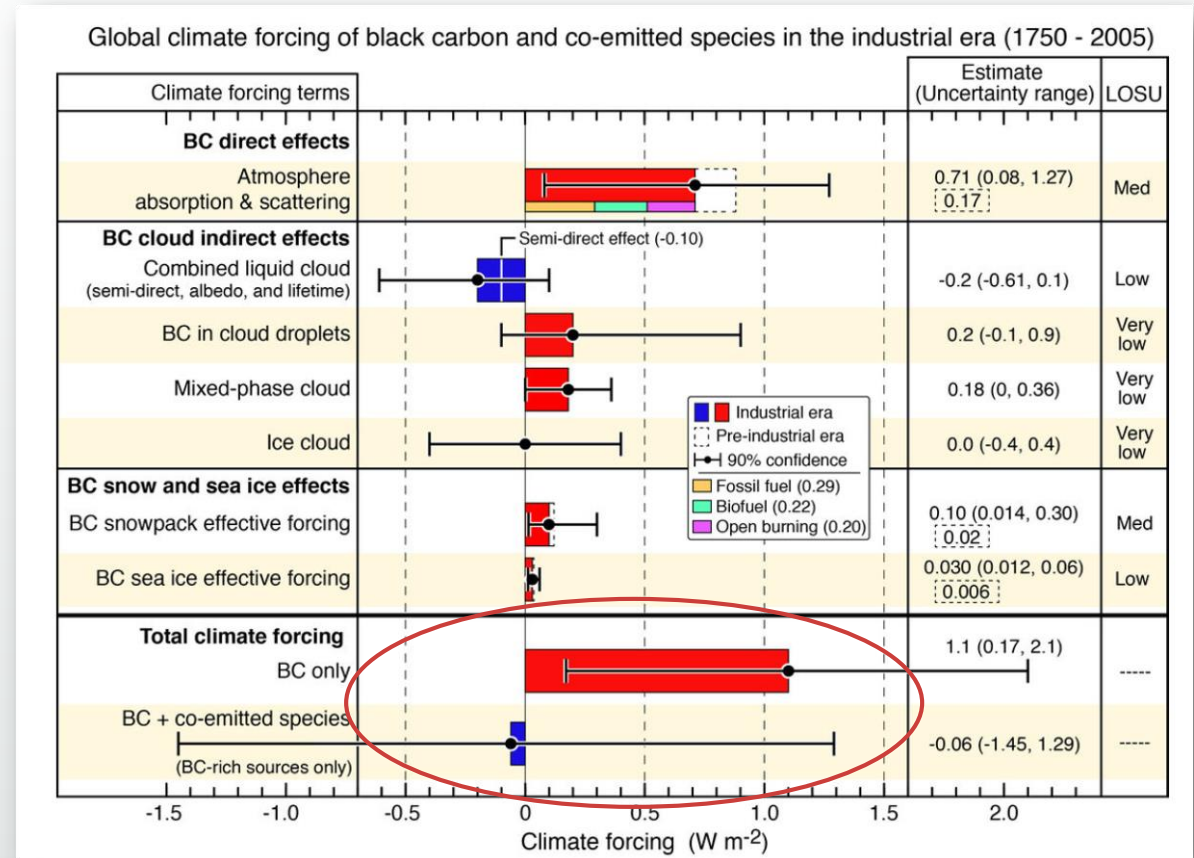


Amostras de BrC obtidas durante o período de 6 horas próximo a uma pira funerária queimando na Índia, **Rajan K. Chakrabarty, 2014.**

Afinal qual é o impacto global de BC ?



O BC é importante para a forçante radiativa global, e de acordo com o último relatório do IPCC ele é responsável por uma forçante (aquecimento) de cerca de +0.65 w/m² (40% da forçante do CO₂).

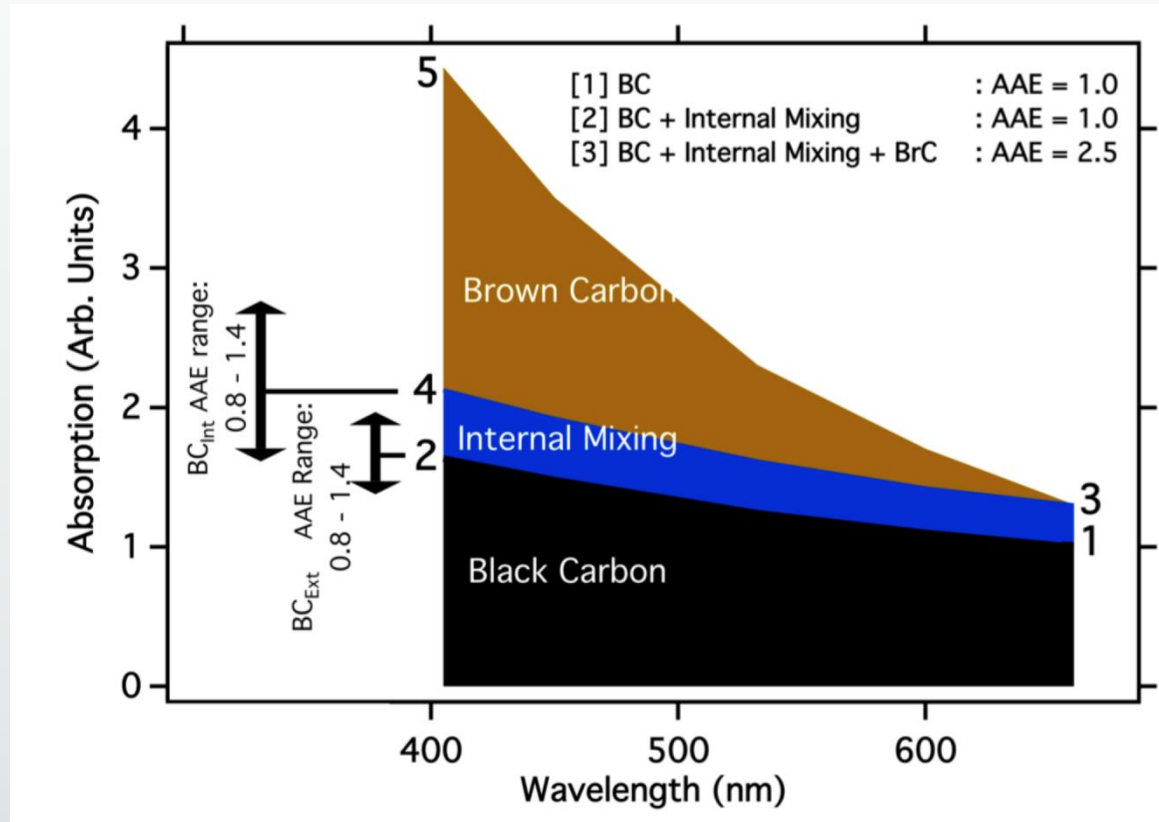


O trabalho de Bond et al. 2013, estima esta mesma forçante do BC em +1.1 w/m² (65% do CO₂). Entretanto, se levamos em conta as partículas de carbono orgânico co-emitidas, a forçante é próxima de zero: -0.06 w/m².

Determinação da concentração de BrC

- Para a determinar a absorção do BrC utilizamos o método do coeficiente de absorção de Ångström (AAE).
- Este método utiliza dois pares de medidas de absorção, normalmente abrangendo os extremos do espectro da luz visível (~400 nm a ~700 nm).
- A absorção no comprimento de onda maior (800 nm) é assumida como sendo majoritariamente pela componente BC.
- Esta medida de absorção é extrapolada para o comprimento de onda menor (440 nm ou 470 nm) e a diferença entre o BC medido em 800 nm e a absorção no comprimento de onda menor é então atribuída a absorção para uma componente que é chamada de BrC.

Calculando a concentração de BrC



(Lack et al, 2013).

O Brown Carbon (BrC) domina a absorção para comprimentos de onda próximo do UV.

A absorção pelo BC varia pouco com o comprimento de onda (AAE do BC próximo a 1).

Obtenção de propriedades dos aerossóis

- Albedo de espalhamento simples, ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{\sigma_{scat,\lambda}}{\sigma_{scat,\lambda} + \sigma_{abs,\lambda}}$$

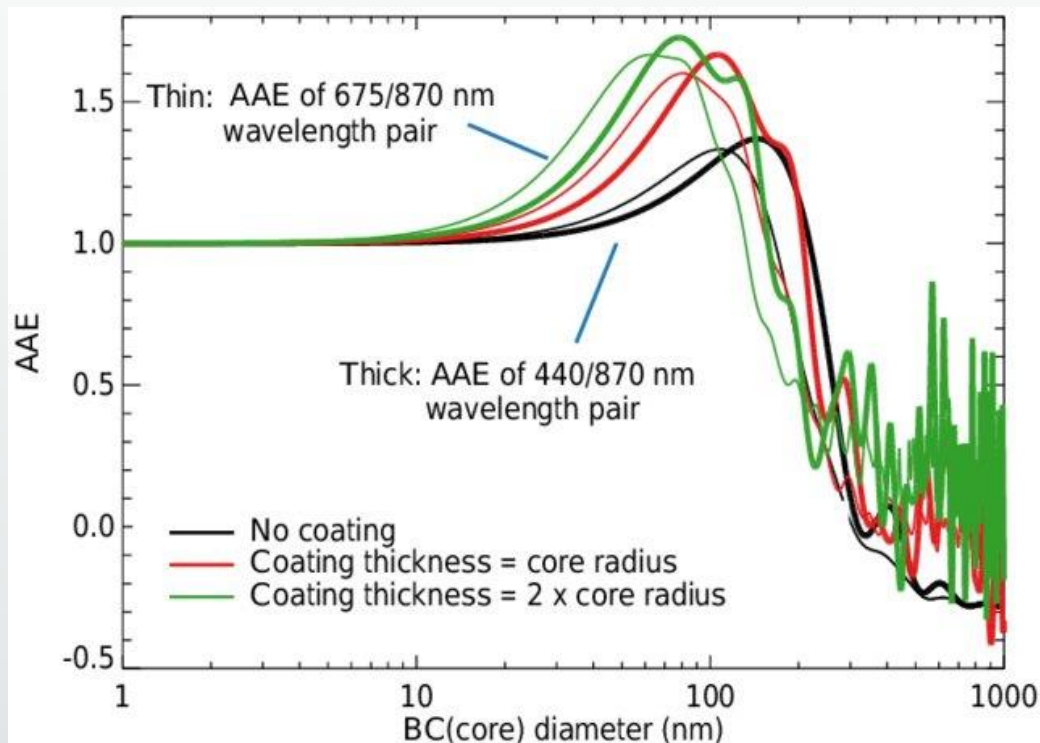
Controla a forçante radiativa direta do aerossol;

- Coeficientes de Ångström de espalhamento ou de absorção, \mathring{a} :

$$\mathring{a}_{scat} = -\frac{\ln\left(\frac{\sigma_{scat,\lambda_1}}{\sigma_{scat,\lambda_2}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)} \quad \text{OU} \quad \mathring{a}_{abs} = -\frac{\ln\left(\frac{\sigma_{abs,\lambda_1}}{\sigma_{abs,\lambda_2}}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)}$$

Representam a dependência espectral de espalhamento ou absorção do aerossol com a radiação incidente;

O coeficiente de absorção de Angström (AAE) para BC é sempre 1?



O coeficiente de absorção de Angström (AAE) para BC estimado utilizando cálculos da teoria Mie para vários *coatings*.

Observamos que o AAE do BC pode ser diferente de 1 dependendo da espessura do *coating* da partícula. Isso afeta sobremaneira a absorção.

Wang et al, 2016

Cálculo da absorção de Brown Carbon

Método utilizado por Wang et al., 2015 e Saturno et al., 2019

O que é medido: $\sigma_{abs,\lambda} = \sigma_{abs,\lambda}^{BC} + \sigma_{abs,\lambda}^{BrC}$

Dependência espectral do coeficiente de Angstrom:

$$WDA = \dot{a}_{abs,\lambda_1,\lambda_2} - \dot{a}_{abs,\lambda_3,\lambda_2}$$

Estimativa da absorção devida ao BC através da teoria Mie $(\bar{n}_{BC}, D_g, \rho_{BC})_i$, e por processo iterativo obtenção da absorção do BrC

$$BC\ WDA = \dot{a}_{abs,\lambda_1,\lambda_2}^{BC} - \dot{a}_{abs,\lambda_3,\lambda_2}^{BC} \rightarrow \dot{a}_{abs,\lambda_1,\lambda_2}^{BC} = BC\ WDA + \dot{a}_{abs,\lambda_3,\lambda_2}^{BC}$$

$$\sigma_{abs,\lambda_1}^{BCe} = \sigma_{abs,\lambda_3} \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_3}\right)^{\dot{a}_{abs,\lambda_1,\lambda_2}^{BC}} \rightarrow \sigma_{abs,\lambda}^{BrCe} = \sigma_{abs,\lambda} - \sigma_{abs,\lambda}^{BCe}$$

Algoritmo de obtenção de BrC

ENTRADA:

- Data e hora
- AAOD 440nm
- AAOD 675nm
- AAOD 870nm

SAÍDA:

- BrAAOD = é o BrC calculado AAOD a 440nm
- BrAAOD_r = é a incerteza metodológica do resultado BrAAOD
- BrCont = é a contribuição calculada de BrC para AAOD total a 440nm, em %
- BrCont_r = é a incerteza metodológica do resultado BrCont
- BCAAOD = é o BC calculado para AAOD a 440nm

Algoritmo de obtenção de BrC



- Índice de refração de BC
- Distribuição de tamanho de BC
- Densidade de BC

BC Teórico

$$\sigma_{abs,\lambda}^{BrC} = \sigma_{abs,\lambda} - \sigma_{abs,\lambda}^{BC}$$

Onde :

BrC = BC medido – BC teórico

Sendo que BC medido = BrC + BC

Objetivos

Quantificar o papel da absorção de radiação solar por aerossóis atmosféricos na Amazônia.

- Levando em conta suas duas componentes, o BC e o BrC, a sazonalidade das fontes e os processos de transporte.

Analisar a consistência e as incertezas dos diferentes métodos para quantificar o papel do BrC e do BC na absorção de radiação.

- Utilizando medidas in situ e por sensoriamento remoto a partir do solo e do espaço na absorção de radiação por aerossóis.

Quantificar e comparar o AAOD em 440nm, visando a separação entre BC e BrC nos fotômetros solares da AERONET.

- Através do uso de séries temporais de longa duração em vários sítios experimentais (Alta Floresta, Rio Branco, Ji-Paraná, Manaus EMBRAPA, ATTO, Cuiabá-Miranda, El Alto e São Paulo)

Objetivos

Quantificar para medidas insitu e remotas a porcentagem de BrC em relação ao BC para 440nm.

- Utilizando a técnica de expoente de Ångström (Wang) para os vários sítios experimentais.

Analisar a absorção em largo espectro de radiação (300-2500nm) com o uso de espectrômetro ótico de alta resolução.

- Quantificando a variação espectral do BrC em filtros coletados na Amazônia para aerossóis biogênicos e de queimadas.

Caracterizar os mecanismos que influenciam a emissão, processamento e impactos do BrC na Amazônia.

- Várias fontes de partículas (queimadas, poeira do Saara, emissões locais) e suas sazonalidades.

Metodologia

- Determinação da AOD na série temporal dos dados já coletados pela rede AERONET nos últimos 20 anos, nos sítios de Alta Floresta, Cuiabá, São Paulo, Ji-Paraná, Rio Branco, Amazon ATTO Tower, Manaus EMBRAPA e El Alto.
- Processamento de medidas in situ de absorção, utilizando Aetalômetros e MAAP (*Multiangle Absorption Aerosol Photometer*) nos sítios da Rio Branco e ATTO.
- Obtenção da componente de absorção da profundidade ótica de aerossol (AAOD) utilizando o sensor OMI do satélite AURA. O OMI tem uma série temporal consistente (2005 a 2017), permitindo o estudo de longo prazo de absorção na Amazônia.
- Determinação da concentração de BrC e BC em aerossóis depositados em filtros Nuclepore coletados na Amazônia com análise em espectrômetro ótico de alta resolução.
- Determinação do impacto radiativo dos aerossóis com medidas do fluxo de radiação solar nos sítios da AERONET com a rede Solar Radiation Network (SolRad-Net) ao longo dos últimos 18 anos em São Paulo, Ji-Paraná, Rio Branco, Alta Floresta, Cuiabá e Manaus utilizando piranômetros calibrados.

A rede de fotômetros solares AERONET

A rede AERONET é uma rede global de monitoramento de aerossóis por sensoriamento remoto em solo, mantida pela NASA.

Os radiômetros utilizados permitem o monitoramento em tempo real de parâmetros como a espessura óptica dos aerossóis (AOD), e outras propriedades derivadas de inversão, como por exemplo, distribuição de tamanho, albedo de espalhamento simples (SSA), espessura óptica de absorção (AAOD), índice de refração, entre outros.



Pessoalmente trabalho na manutenção da rede AERONET para o Brasil nos últimos 10 anos (na foto ao lado Alta Floresta (MT)).

Fotômetro instalado na Amazônia - ATTO
Medidas espessura óptica de aerossóis feitas continuamente.



Localização dos Fotômetros

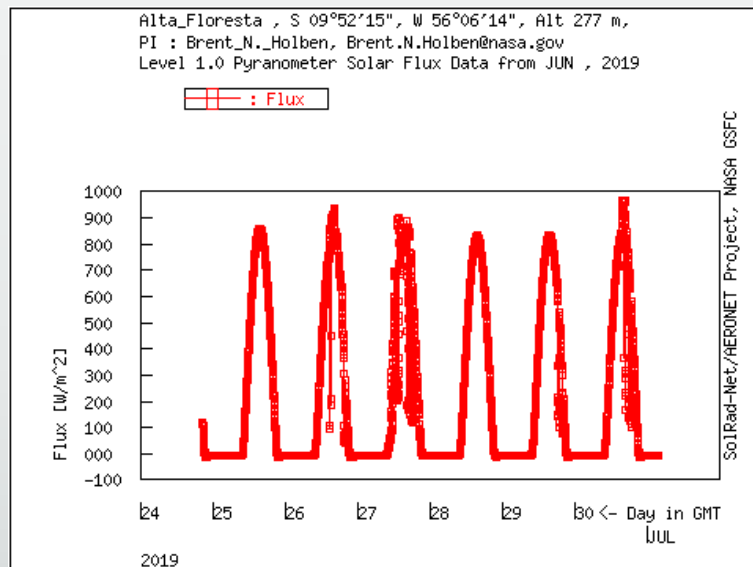


A escolha dos sítios experimentais foi feita abrangendo geograficamente a Amazônia e em São Paulo para diferenciação dos impactos em área urbana, permitindo assim a obtenção quantitativa e qualitativa de diferentes processos de geração de absorção por BrC e BC.

A rede de radiômetros SolRadNet

SolRad-Net (Rede de radiação solar) é uma rede estabelecida de sensores terrestres que fornecem medições de fluxo solar de alta frequência em tempo real.

Cada site SolRad-Net está equipado com sensores de fluxo - piranômetro Kipp e Zonen CM-21 (305-2800 nm) para medir o espectro solar total.



Exemplo em Alta Floresta

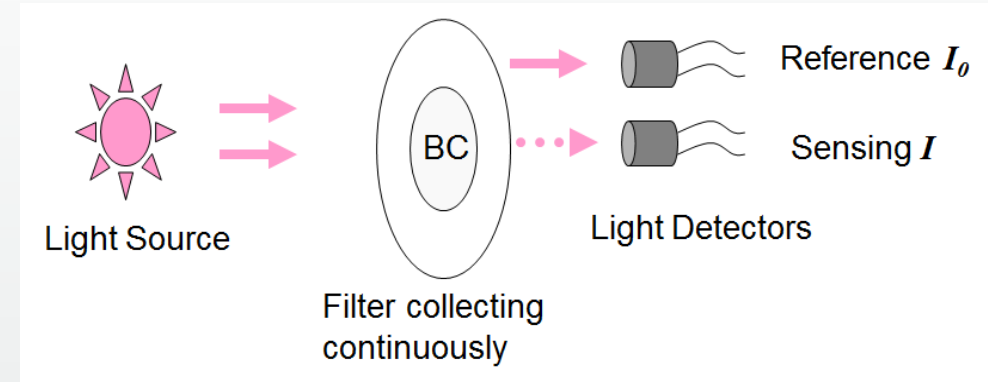


A SolRad-Net, tal como a sua rede associada, AERONET, mantém uma política de dados fundamentalmente aberta e incentiva análises integradoras colaborativas e multidisciplinares.

AETALÔMETRO AE33

O Aetalômetro mede a atenuação de um feixe de luz (370nm ~ 950nm) transmitida por um filtro que está continuamente coletando partículas.

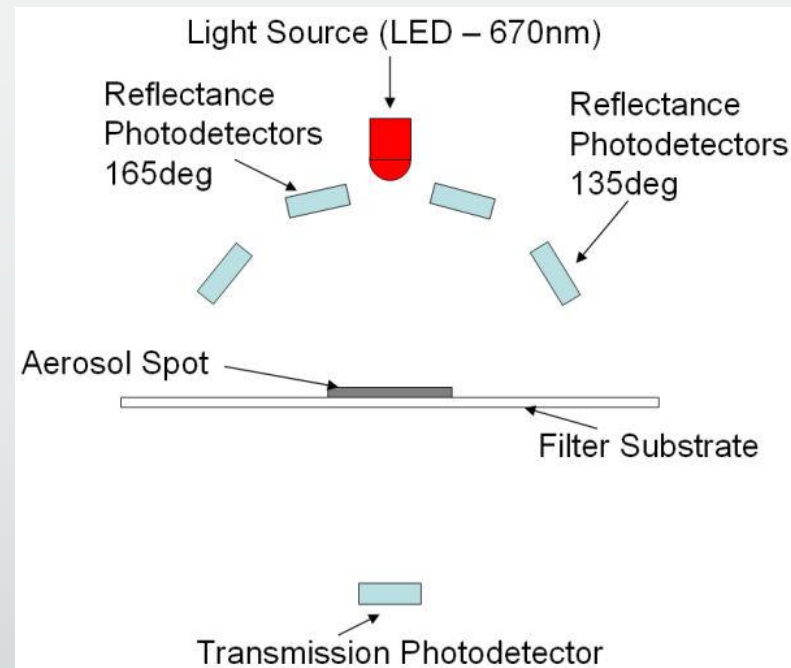
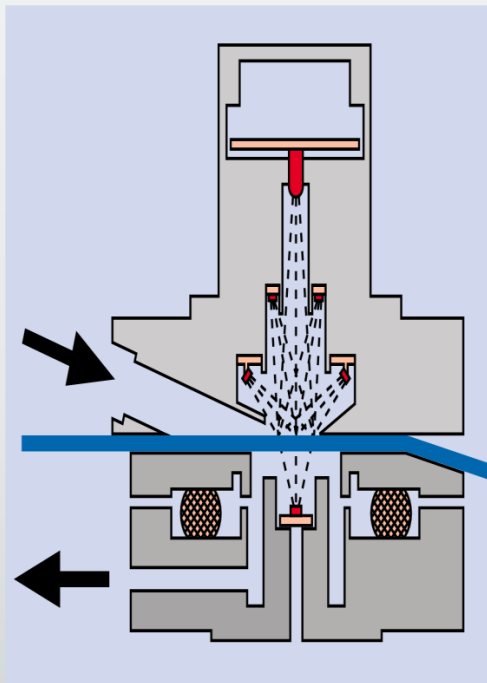
O aumento da atenuação óptica é devido ao incremento de BC e BrC coletado pelo fluxo de ar que passa pelo filtro neste período de tempo.



MAAP (Multiangle Aerosol Absorption Photometer)

Determinação da concentração de BC por meio da medida da atenuação de um feixe de luz transmitido através de um filtro de partículas.

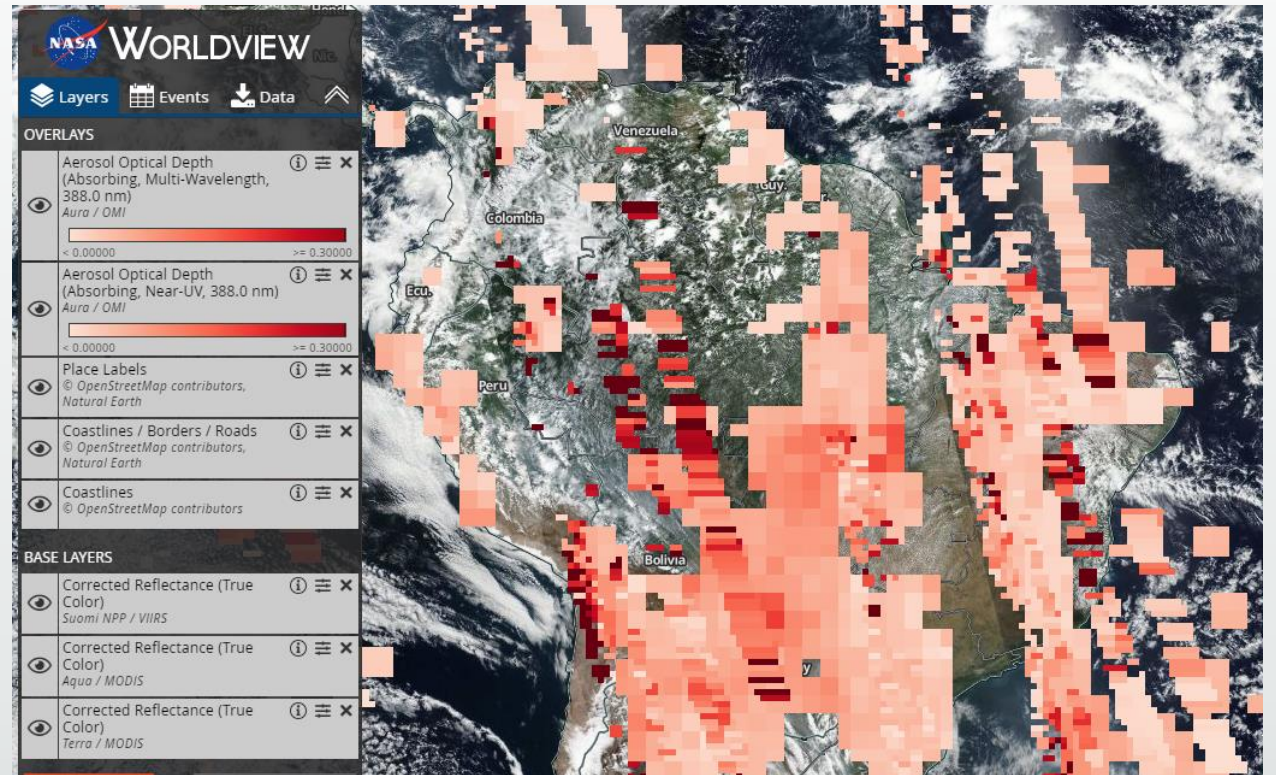
O LED do instrumento tem um comprimento de onda de 670nm, e o algoritmo interno desconta o espalhamento.



Sensor OMI do satélite AURA: obtenção de AAOD

O Ozone Monitoring Instrument (OMI) pode distinguir entre tipos de aerossóis, como fumaça, poeira e sulfatos, e estima a pressão e a cobertura das nuvens.

O OMI fornece estimativas de AAOD em diversos comprimentos de onda (388 e 500 nm). O qual pode ser usado como entrada no algoritmo que usamos para calcular BrC.

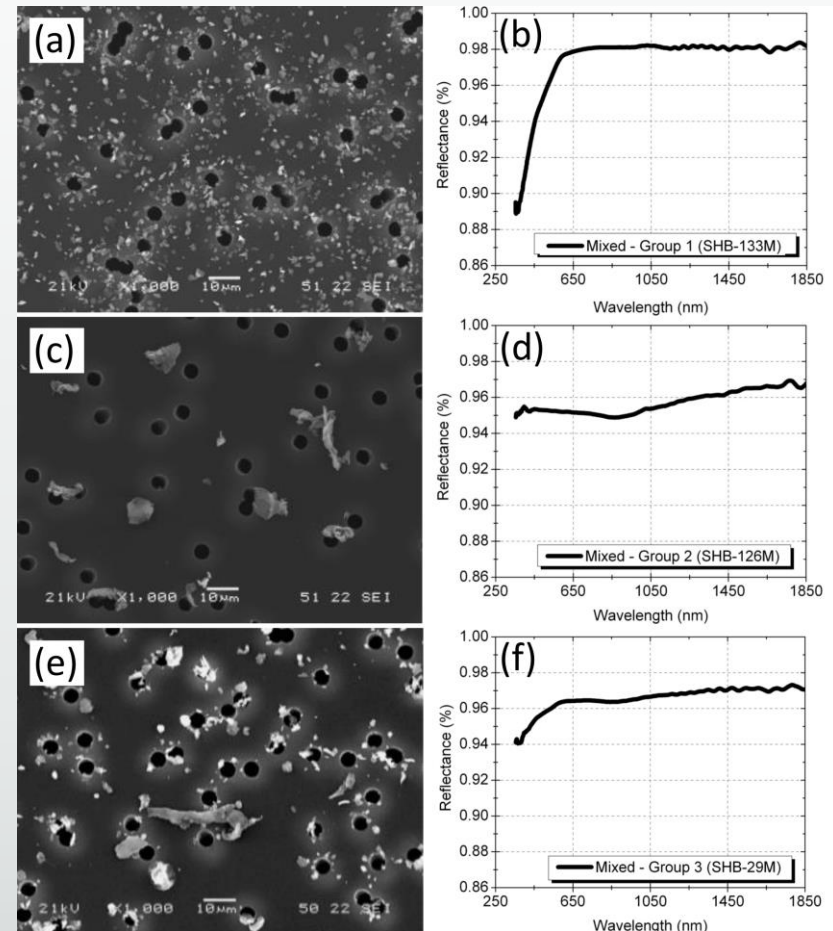


OMI – AAOD em 388nm

Medições espectrais de refletância óptica e derivação da eficiência de absorção de massa

Obter a refletância espectral de 350 a 2500 nm obtida para todos os filtros amostrados em relação aos filtros em branco usando um **FieldSpec Pro** da **Analytical Spectral Device** na faixa de comprimento de onda de 350 a 2500 nm e uma lâmpada de refletância da ASD Inc.

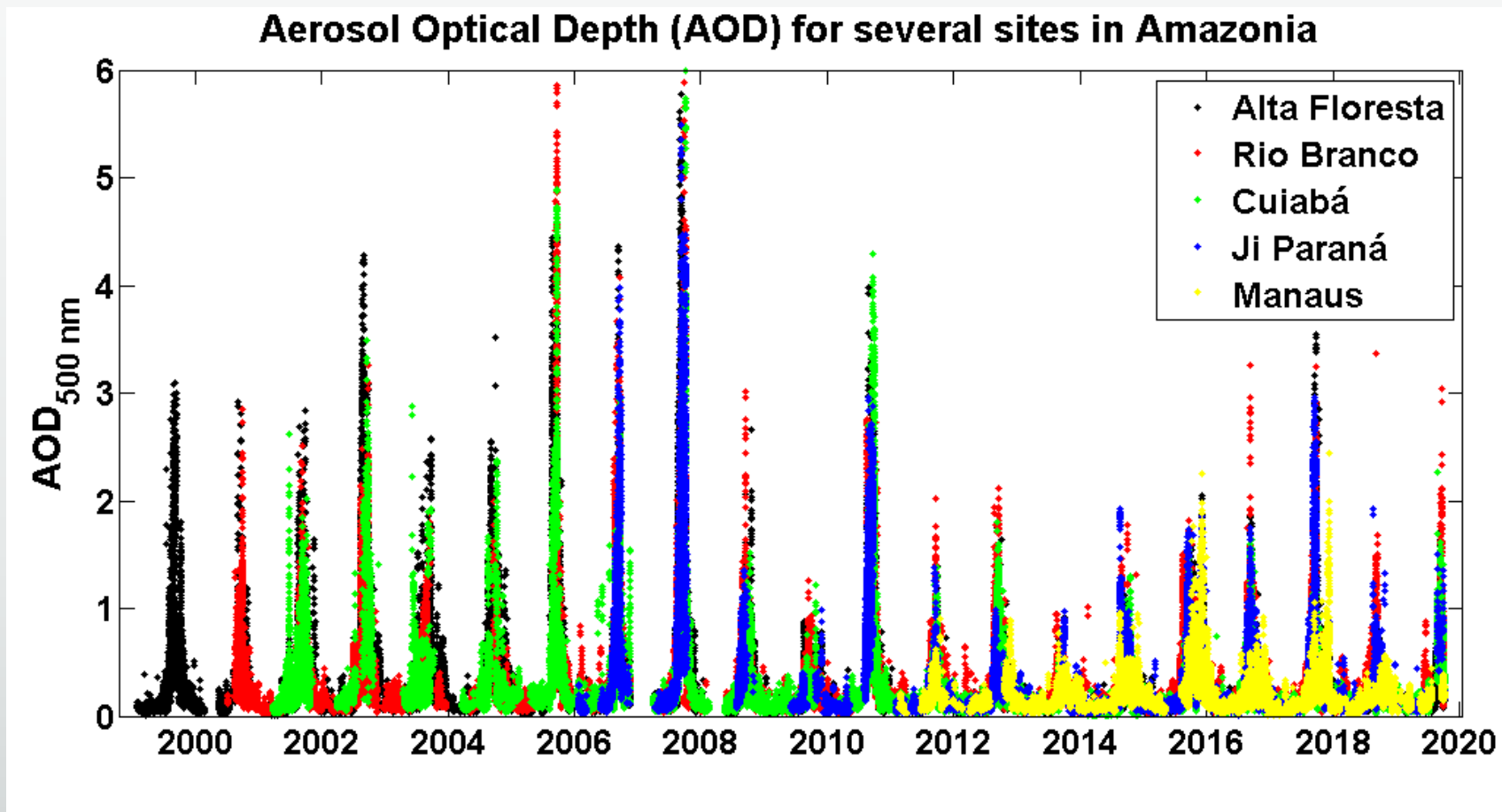
Exemplos de refletância espectral e imagens SEM da poeira do Saara na Mauritânia



Rocha-Lima et al (2014).

Resultados Preliminares

Os fotômetros da rede AERONET que este trabalho analisa já possuem uma série temporal de dados bastante consistente e de longa data.



O gráfico mostra toda a série temporal dos últimos 20 anos dos fotômetros de Alta Floresta, Rio Branco, Cuiabá, Ji-Paraná e Manaus, considerando nível 1.5 V₃, de acordo com os algoritmos utilizados pela NASA na rede AERONET.

O que há de novo no algoritmo versão 3 da AERONET?

Melhoria na base de dados de entrada

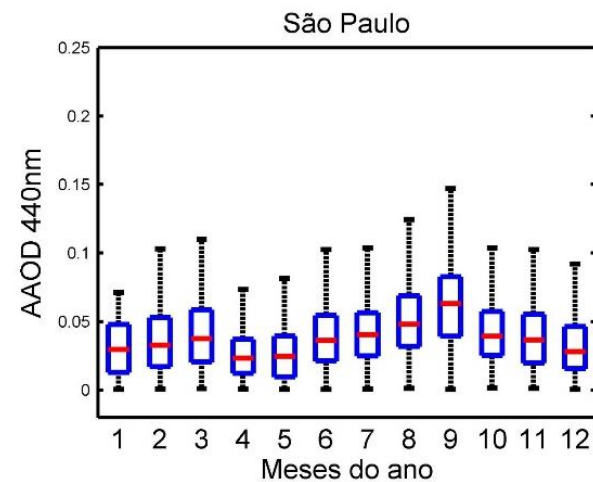
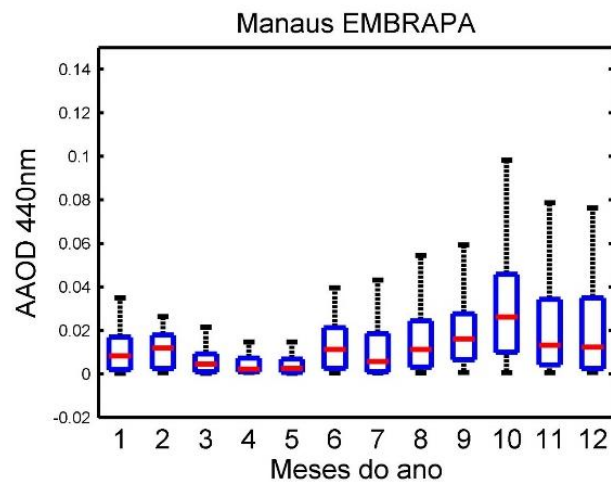
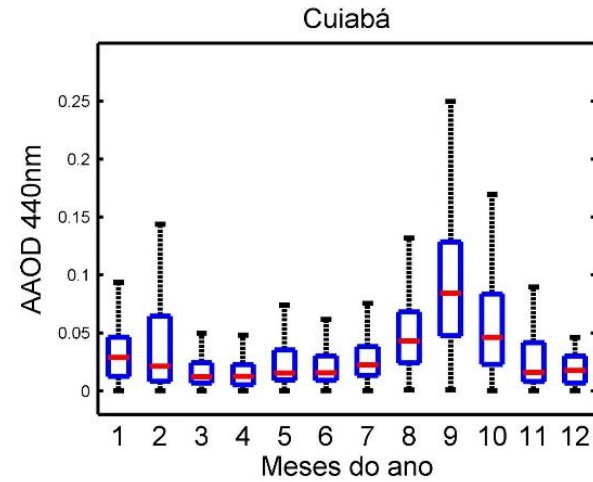
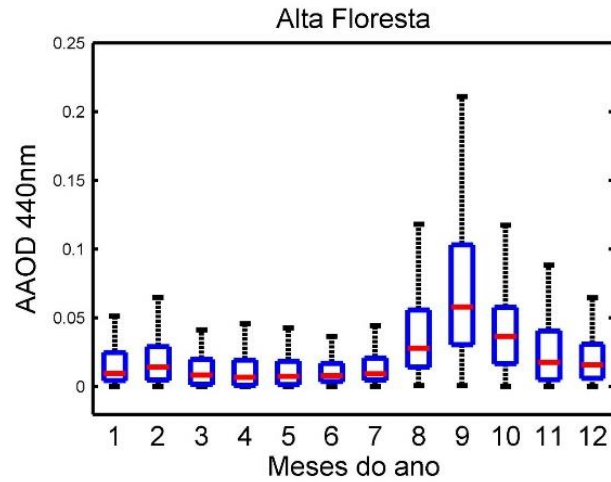
- AODs descartados na V2 são parcialmente restaurados na V3
- V3 nível de QA 1.5 é equivalente a V2 QA2.0

Melhoria na detecção de nuvens

- Cirrus estável e fino mais detectável e não confundido com aerossol
 - Medida da curvatura da aureola solar
 - Critério do tripleto (canais 675, 870 e 1020)
 - Smoothness check

Melhoria na caracterização da temperatura dos sensores

Resultados Preliminares: Sazonalidade do AAOD

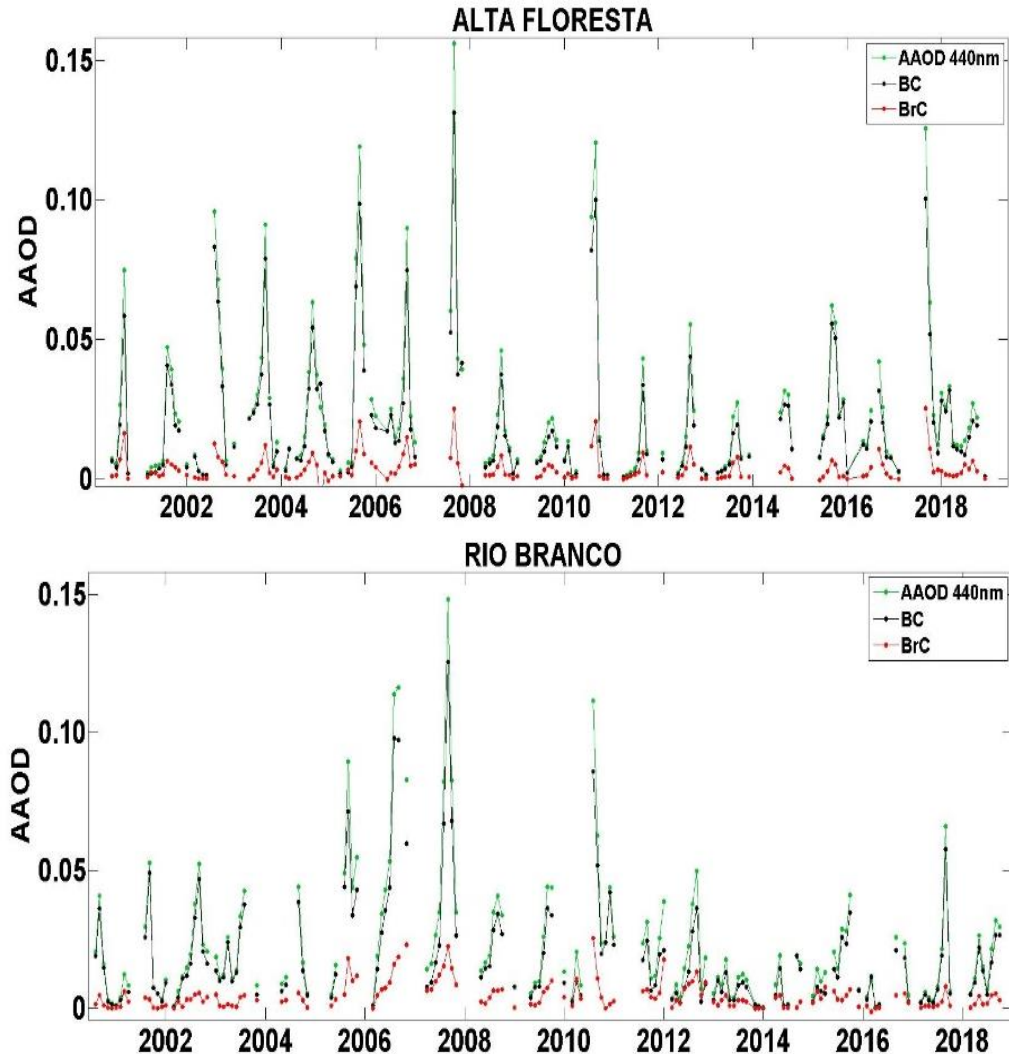


Comportamento médio do AAOD para o comprimento de onda de 440nm

A maior parcela absorvedora das partículas de BrC ocorre no comprimento de onda de 440nm.

(Lack et al 2013)

Série temporal de BC e BrC calculados em 440nm (FOTÔMETRO) para 2 sítios experimentais na Amazônia

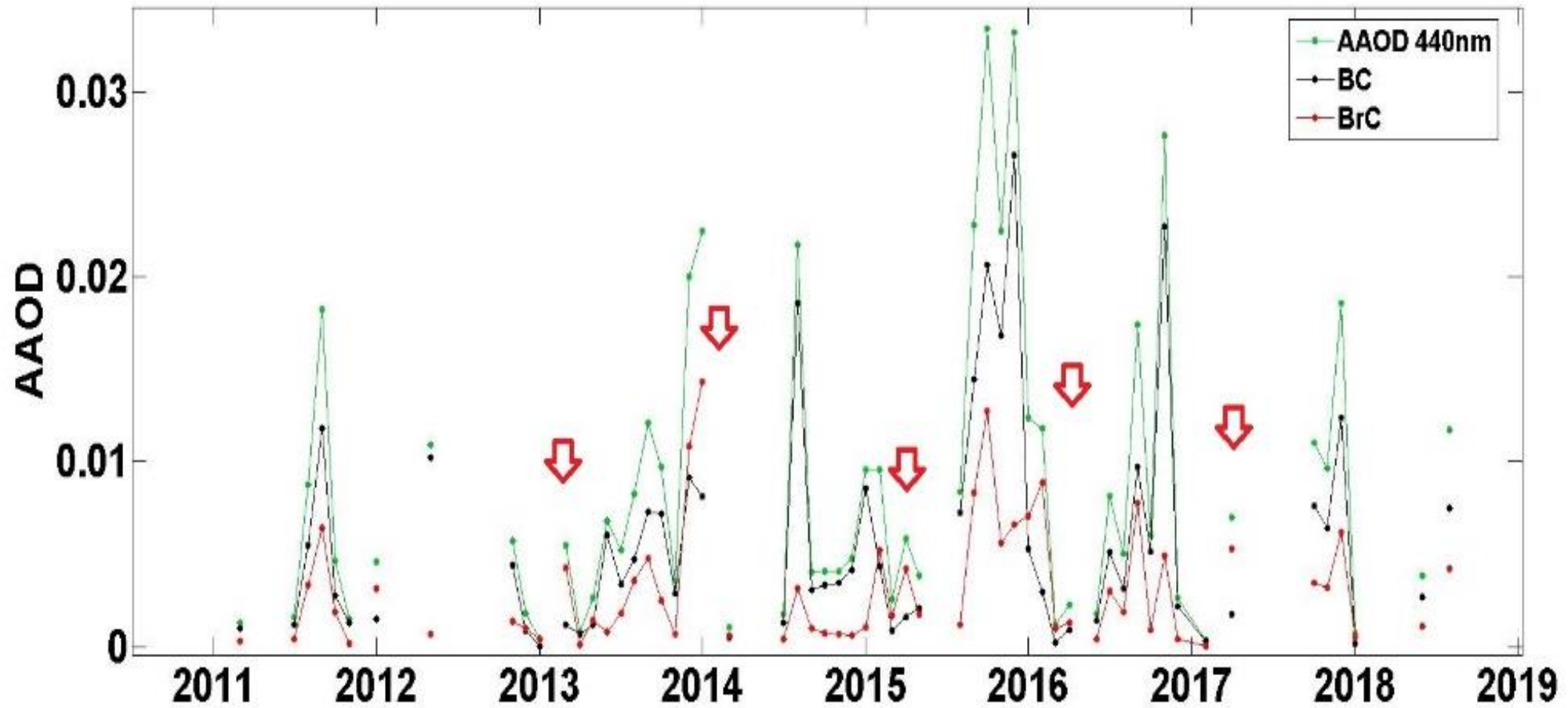


Utilizando as medidas realizadas pelo fotômetro da AERONET e o algoritmo de (WANG et al., 2016) calculamos o BC e BrC no comprimento de onda de 440nm onde se espera medidas mais acentuadas de BrC, pois o mesmo absorve majoritariamente na faixa de radiação ultravioleta e nos menores comprimentos de onda da faixa do visível.

Pudemos observar um comportamento bem consistente e similar para sítios distantes entre si

É possível termos BrC maior que BC?

BC e BrC calculado em AAOD 440nm MANAUS EMBRAPA



<https://doi.org/10.5194/acp-2019-594>

© Author(s) 2019. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Discussion papers

Abstract

Discussion

Metrics

Submitted as: research article

02 Jul 2019

Modeling global radiative effect of brown carbon: A larger heating source in the tropical free troposphere than black carbon

Aoxing Zhang¹, Yuhang Wang¹, Yuzhong Zhang^{1,a}, Rodney J. Weber¹, Yongjia Song¹, Ziming Ke^{1,b}, and Yufei Zou^{1,c}

¹School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

^anow at: School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, MA, USA

^bnow at: Department of Atmospheric Science, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA

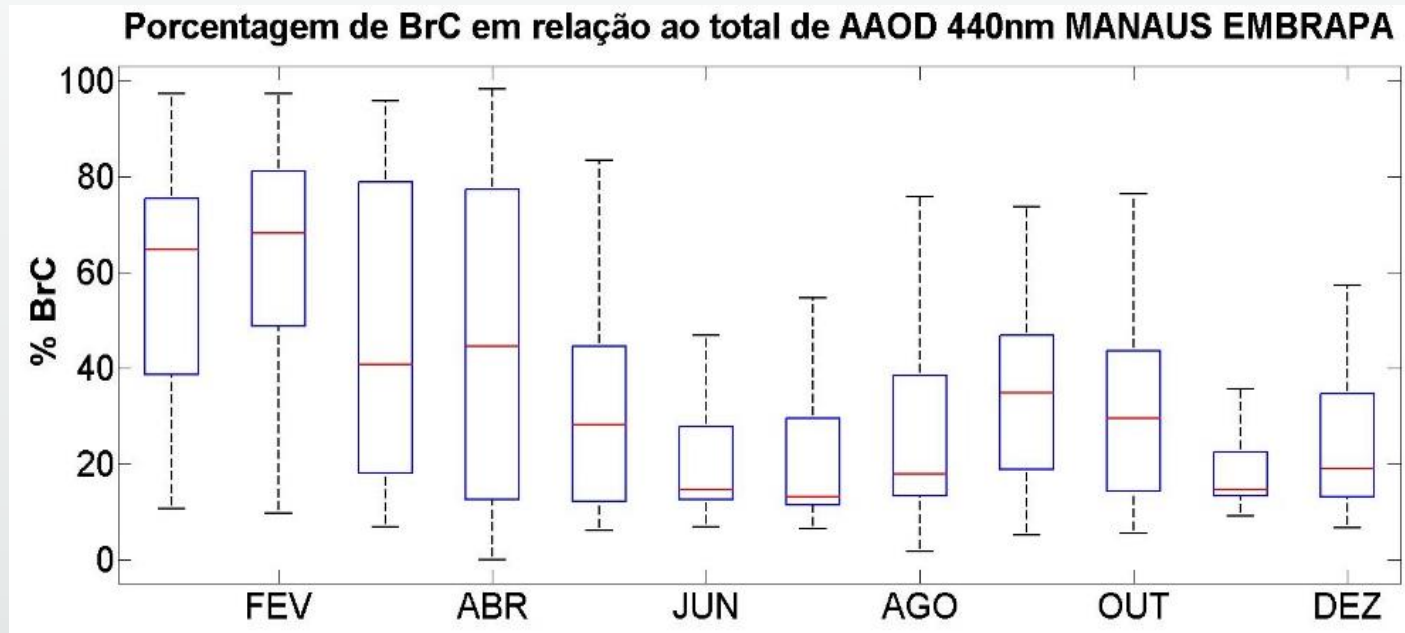
^cnow at: School of Environmental and Forest Sciences, University of Washington, Seattle, WA, USA

Review status

This discussion paper is a preprint. A revision of the manuscript is under review for the journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP).

Received: 21 Jun 2019 – Accepted for review: 01 Jul 2019 – Discussion started: 02 Jul 2019

Variação sazonal do BrC: Variação de 60 a 10%

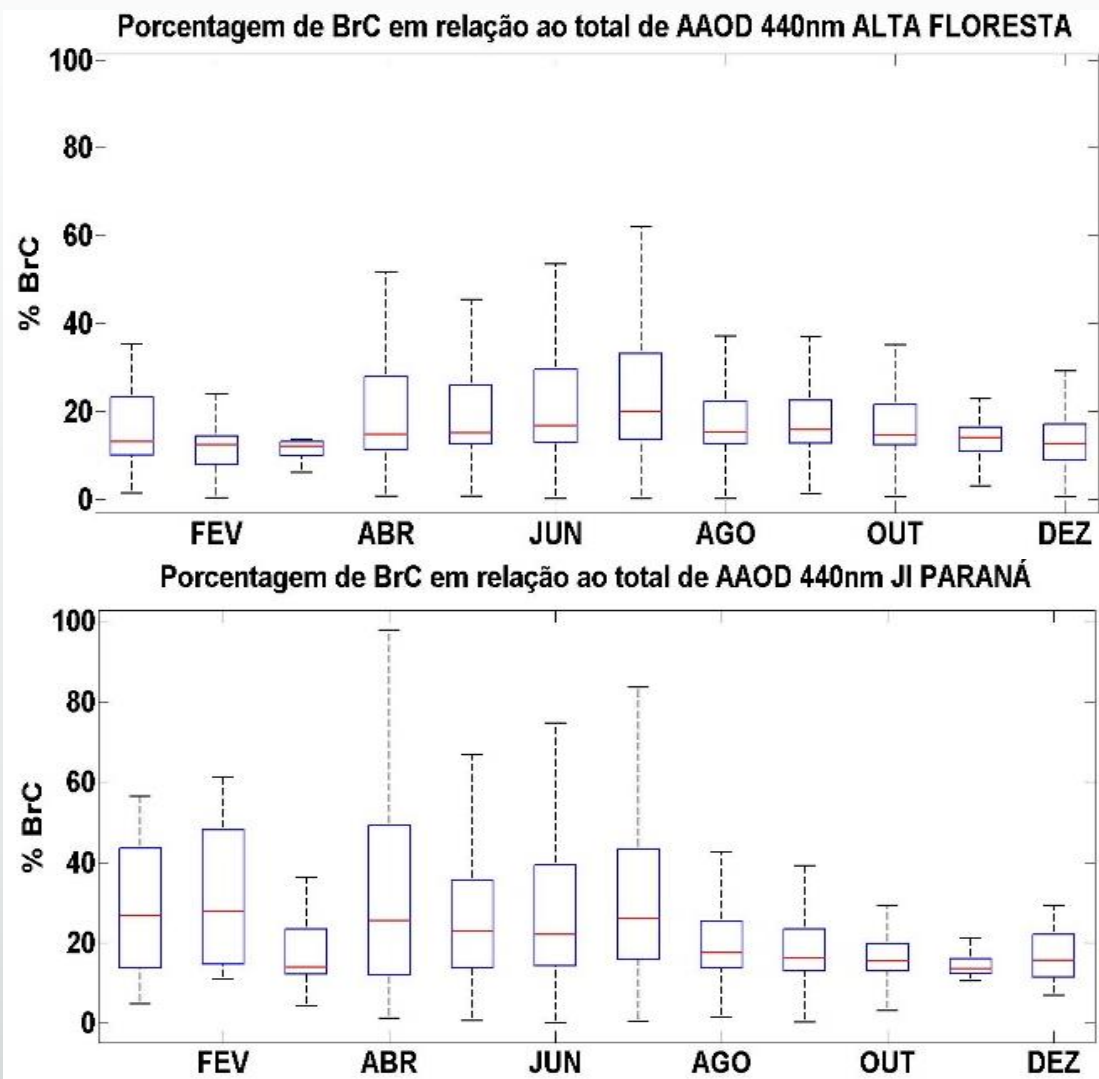


Uma maneira de entender os mecanismos que controlam a formação de BrC é por analisar a quantidade de BrC que varia em função da sazonalidade.

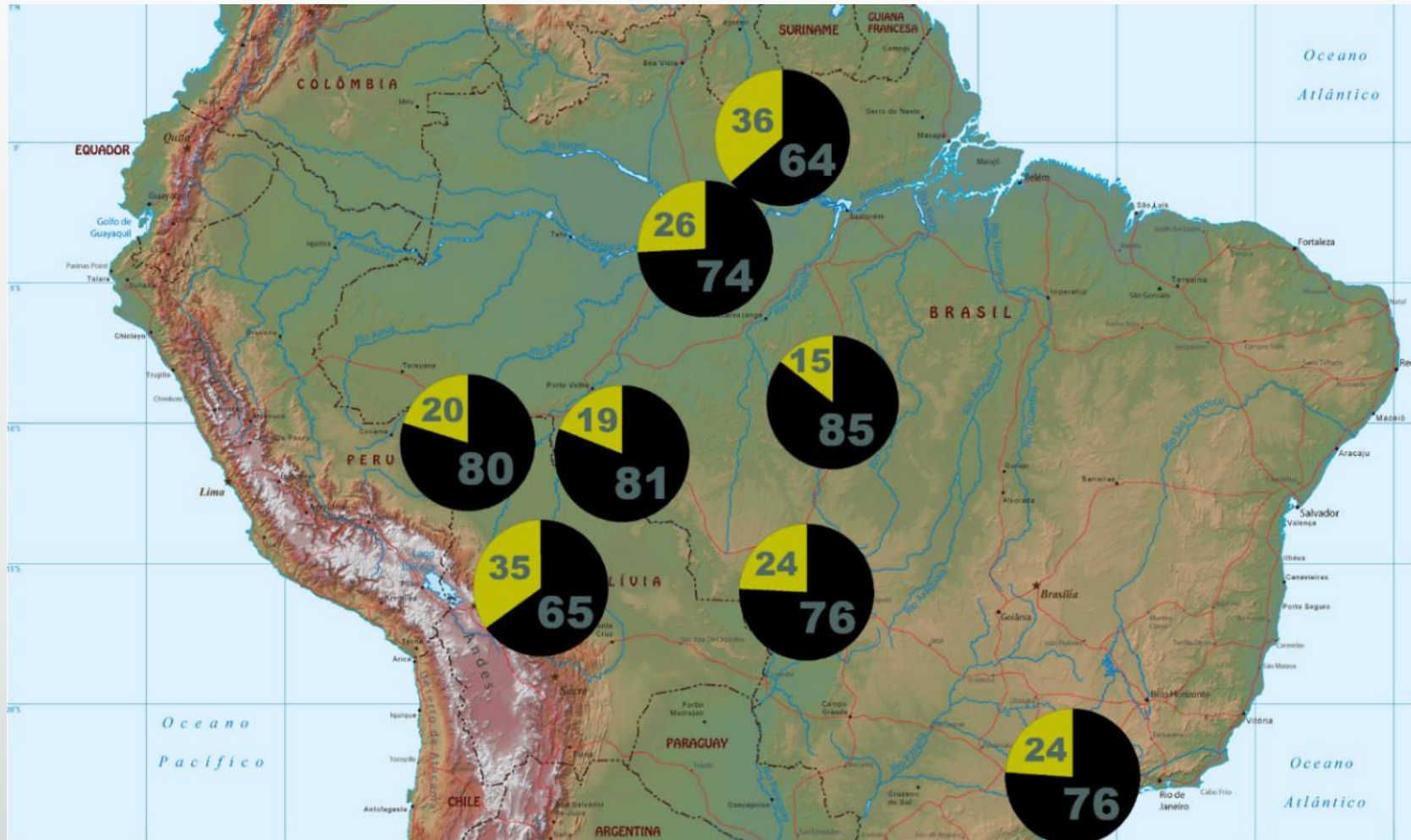
Em Manaus encontramos valores de BrC acima de 60% em 440nm para os meses de janeiro e fevereiro e cerca de 10% em 440nm para os meses de junho e julho.

Variação sazonal de BrC em Alta Floresta (MT) e Ji-Paraná (RO)

Resultados de cerca de 20 anos (AERONET), onde podemos observar dois sítios separados cerca de 650km em linha reta e que mostram resultados similares principalmente nos meses de agosto a dezembro

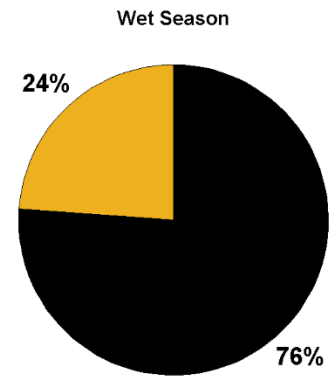
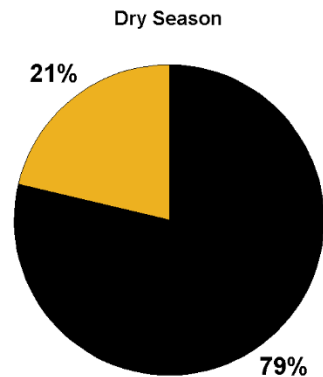
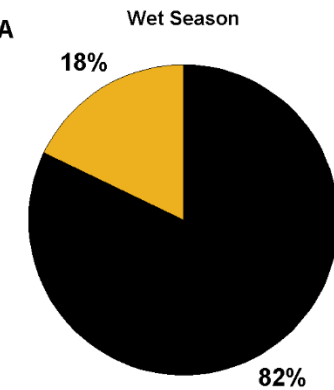
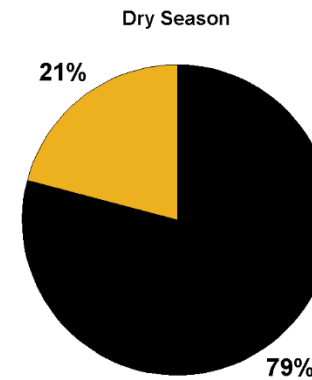
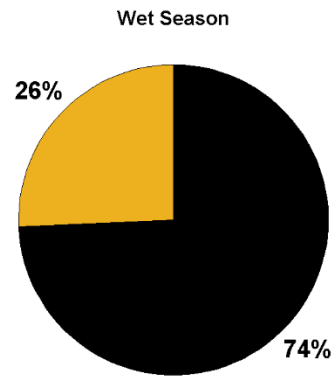
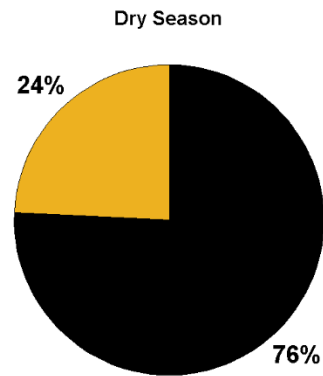


Distribuição espacial na América do Sul de medidas de BC e BrC em 440nm



Porcentagem de BC e BrC em 440nm

Estações seca e chuvosa



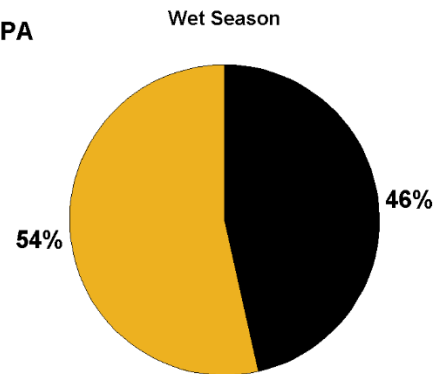
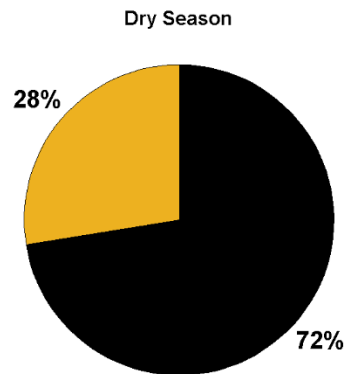
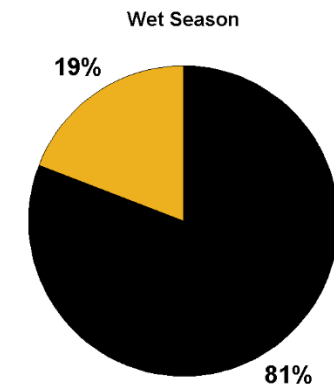
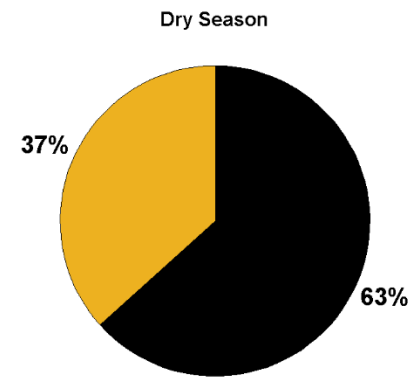
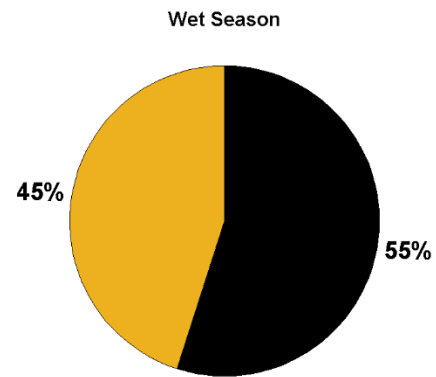
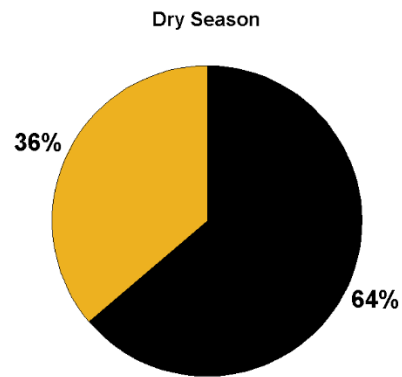
ARCO DO DEFLORESTAMENTO

Estação seca = maio a outubro

Estação chuvosa = novembro a abril

Porcentagem de BC e BrC em 440nm

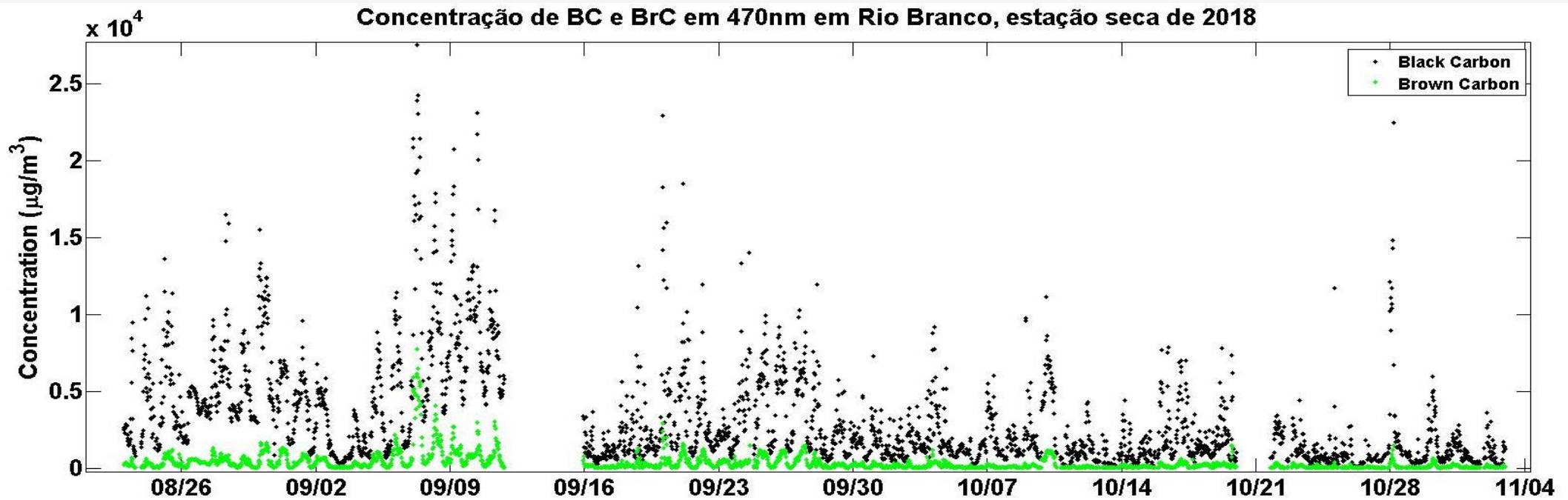
Estações seca e chuvosa



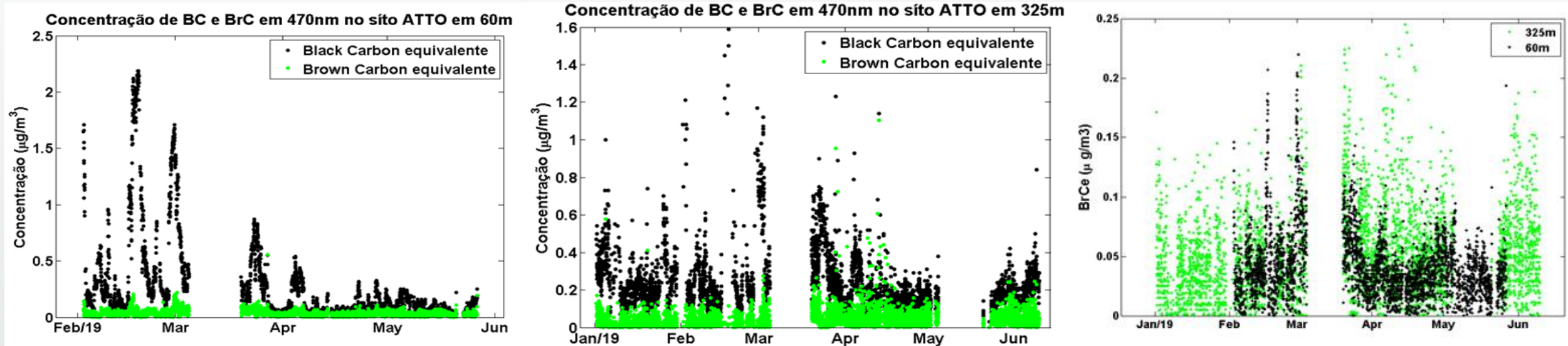
ATTO x EL Alto x EMBRAPA

Estação seca = junho a dezembro
Estação chuvosa = janeiro a maio

Concentração de BC e BrC em Rio Branco com Aetalômetro AE33

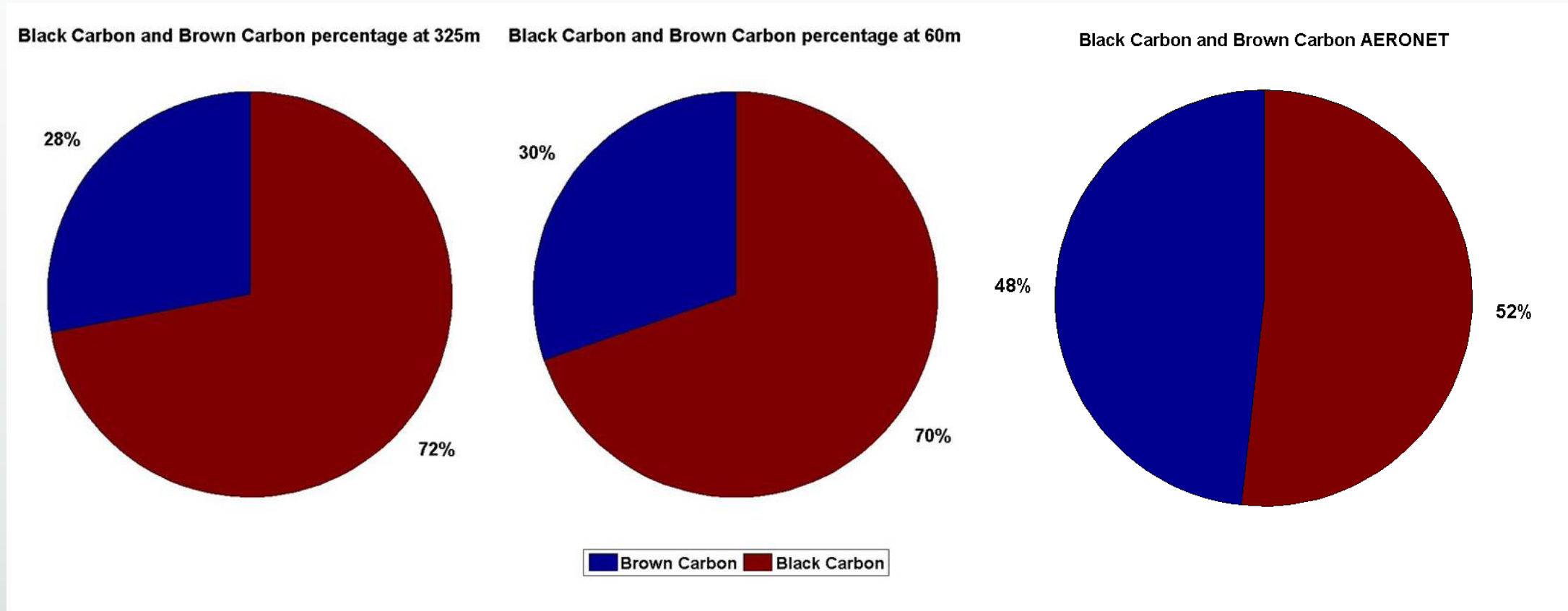


Concentração de BC e BrC no ATTO em 60m e 325m com Aetalômetro AE33



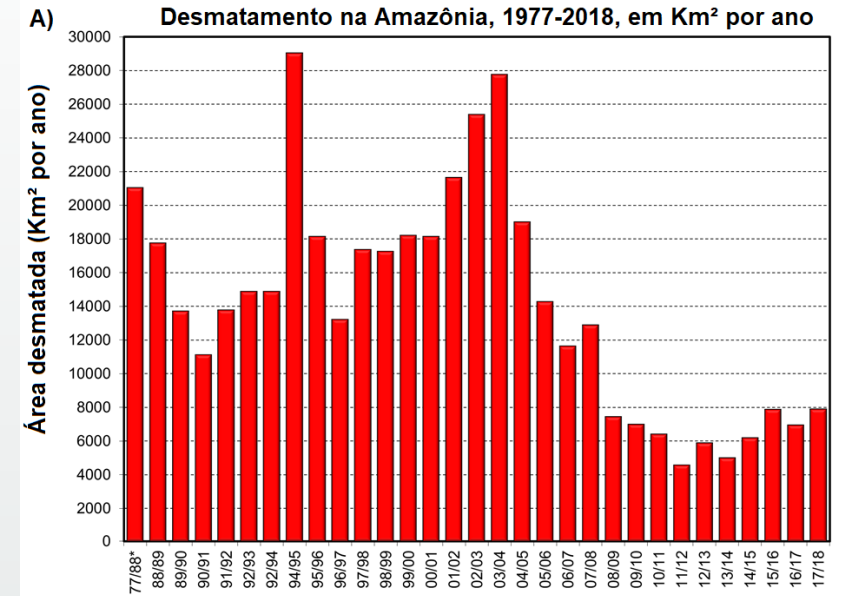
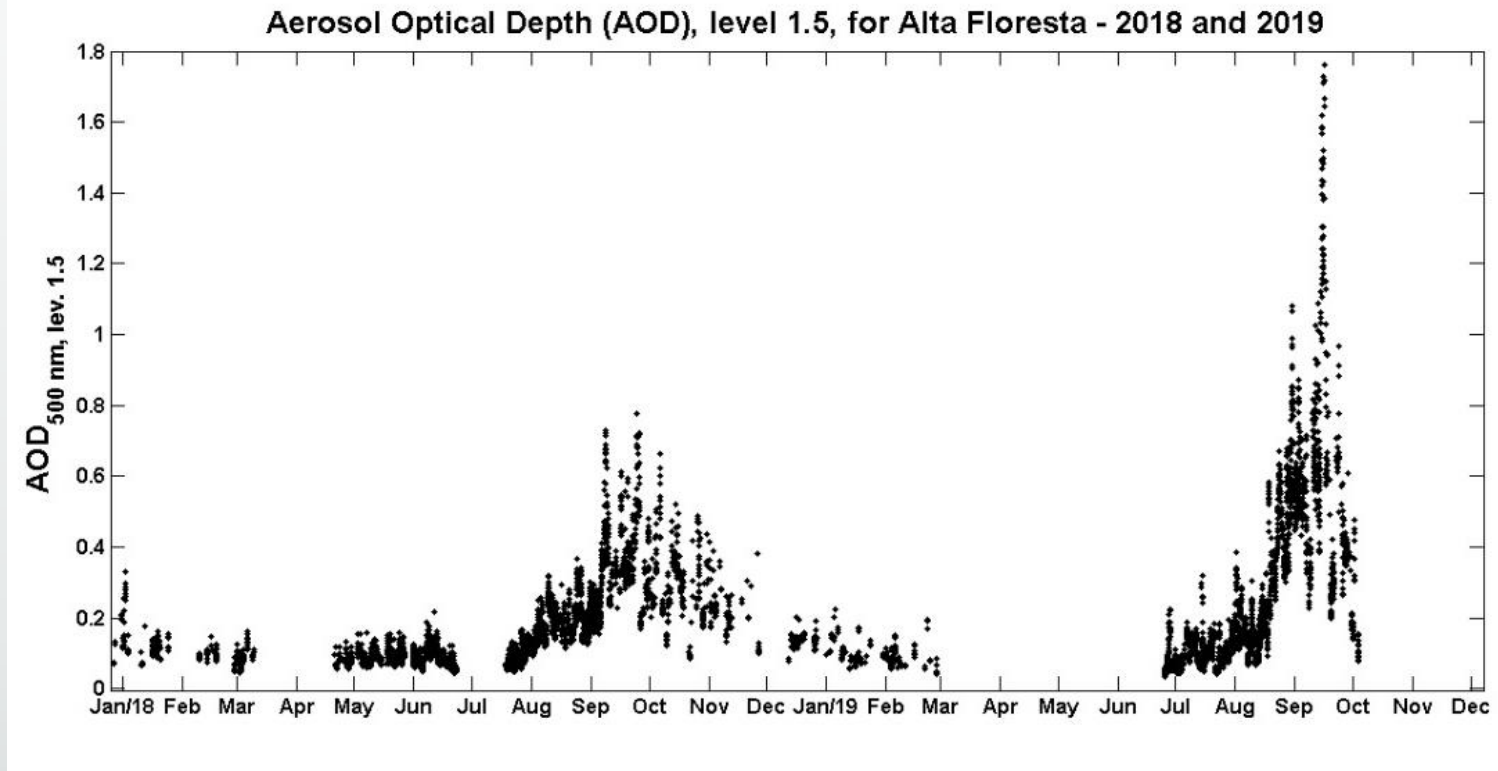
Em 60m, a componente de BrCe equivale a 30% da fração total absorvedora do aerossol neste nível, enquanto que em 325m, esse valor foi de 28%. Análises futuras estarão focadas na significância dessa diferença no perfil vertical, não somente para a estação chuvosa, mas também para a seca, e no aperfeiçoamento do algoritmo para cálculos utilizando outros comprimentos de onda.

Comparação de BrC determinadas a partir de fotômetro e AE33



Percentagem de BrC no ATTO em 325m e 60m menores do que a coluna de aerossol medida com o fotômetro no mesmo período – (AE33: medida seca e Fotômetro: medida úmida)

Queimadas na Amazônia aumentaram em 2019?



Próximas Atividades

- 1. Determinar em larga escala na Amazônia a componente de absorção da profundidade ótica de aerossol (AAOD) utilizando o sensor OMI do satélite AURA para estimar a quantidade em de BrC e comparar com os sítios medidos pela AERONET na Amazônia.
- 2. Medir o BrC diretamente em filtros Nuclepore coletados na Amazônia utilizando um espectrômetro óptico de alta resolução na Universidade de Maryland (EUA) e comparar com os valores obtidos indiretamente pela AERONET e satélite AURA
- 3. Elaborar artigo para quantificar o BrC na Amazônia levando em conta a sua sazonalidade e dessa forma caracterizar o BrC no Arco do desmatamento e em site pristino (ATTO), permitindo explicar que mecanismos controlam a formação de BrC na Amazônia.

Conclusões Parciais

- AAOD em 440nm para BrC na Amazônia pode ser maior que para BC no mesmo λ
- BrC medido com os fotômetros para ATTO e Rio Branco é maior que a mesma medida feita a partir de Aetalômetros.
- Na estação chuvosa no ATTO as contribuições biogênicas aumentam a fração de BrC em relação a BC durante a estação chuvosa
- Para sítios com desmatamento ou cerrado a dinâmica BrC/BC é diferente. O envelhecimento do aerossol pode alterar esta razão. A presença de aerossol biogênico também altera esta razão.

Papers Submetidos:

Paper: *Long Term Analysis of Optical and Radiative Properties of Aerosols in the Amazon Basin*

Submetido: Aerosol and Air Quality Research - <http://www.aaqr.org/>

Rafael da Silva Palácios, Kelly Sousa Romera, Leone Francisco Amorim Curado, Nelson Mario Banga, Thiago Rangel Rodrigues, Lucas Douglas Rothmund, Fernando da Silva Sallo, Denes Morais, Anna Carolinna Albino Santos, Tonny Jader Moraes, **Fernando Gonçalves Morais**, Eduardo Landulfo, Marco Aurélio de Menezes Franco, Igor Antonio Kuhnen, João Basso Marques, José de Souza Nogueira.

Paper: *Aerosol Optical Properties in the atmosphere of Natal/Brazil by an AERONET sun-photometer*

Submetido: Journal of Environmental Science and Pollution Research -

<http://jacsdirectory.com/journal-of-environmental-sciences-and-pollution-research/>

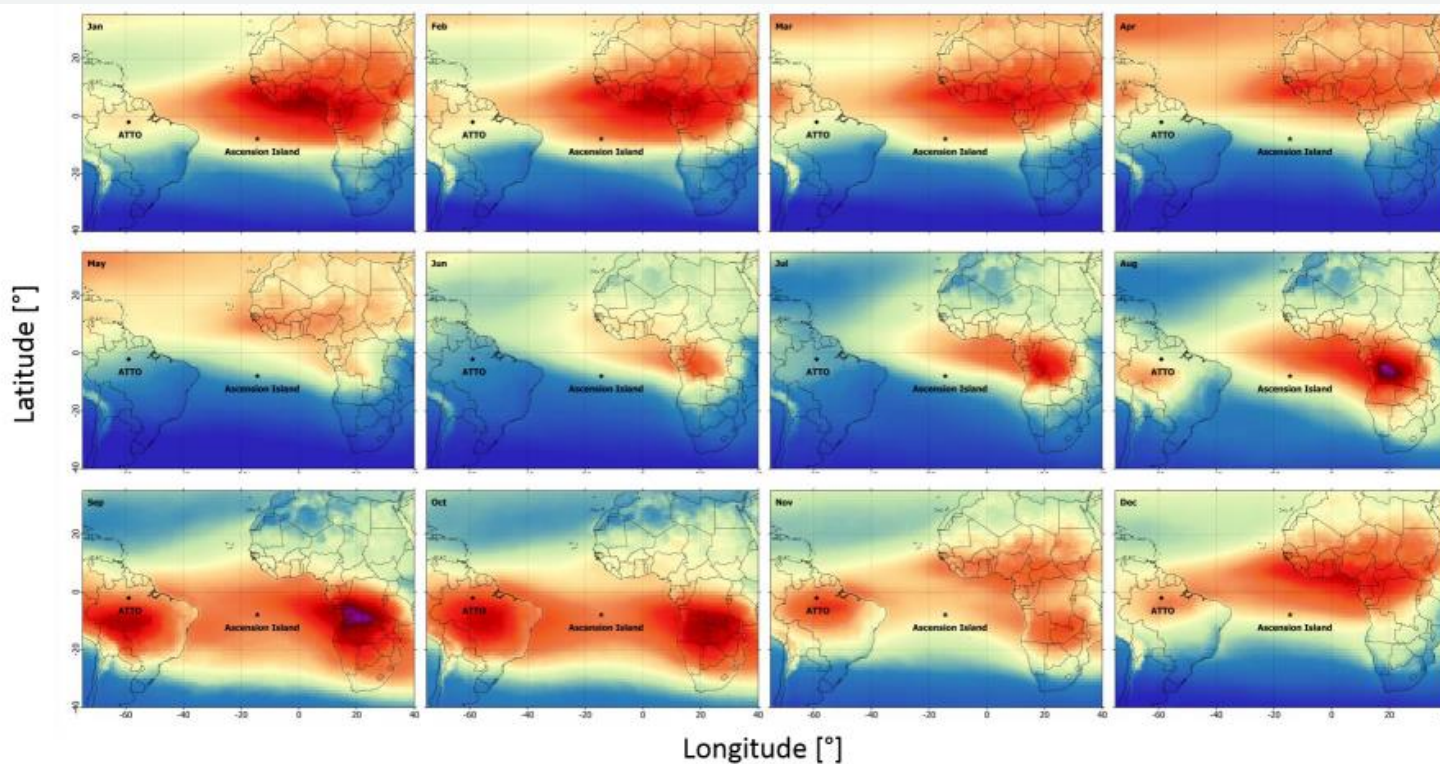
Daniel Camilo Fortunato dos Santos Oliveira, Judith Johanna Hoelzemann, Elena Montilla-Rosero, Fábio Juliano da Silva Lopes, **Fernando Gonçalves Morais**, Eduardo Landulfo

Influx of African biomass burning aerosol during the Amazonian dry season through layered transatlantic transport of black carbon-rich smoke

Bruna A. Holanda^{1,2}, Mira L. Pöhlker¹, Jorge Saturno^{2,a}, Matthias Sörgel^{ID 2,3}, Jeannine Ditas^{4,1}, Florian Ditas^{1,2,b}, Qiaoqiao Wang^{2,c}, Tobias Donth⁵, Paulo Artaxo^{ID 6}, Henrique M. J. Barbosa^{ID 6}, Ramon Braga¹, Joel Brito^{ID 6,d}, Yafang Cheng^{ID 1}, Maximilian Dollner^{ID 5,6}, Marco Aurélio Franco^{ID 5}, Johannes Kaiser^{ID 3,8}, Thomas Klimach¹, Christoph Knote^{ID 7}, Ovid O. Krüger¹, Daniel Fütterer⁸, Jošt V. Lavrič^{ID 9}, Nan Ma^{4,1}, Luiz A. T. Machado^{ID 10}, Jing Ming^{ID 1,2}, Fernando Morais⁵, Hauke Paulsen¹, Daniel Sauer^{ID 8}, Hans Schlager⁸, Hang Su^{ID 1}, Bernadett Weinzierl^{ID 8,11}, Adrian Walser^{5,8}, David Walter^{ID 1,9}, Manfred Wendisch^{ID 5}, Helmut Ziereis^{ID 8}, Martin Zöger⁸, Ulrich Pöschl^{ID 1}, Meinrat O. Andreae^{ID 2,12}, and Christopher Pöhlker^{ID 1,2}

Review status

This discussion paper is a preprint. It is a manuscript under review for the journal Atmospheric Chemistry and Physics (ACP).

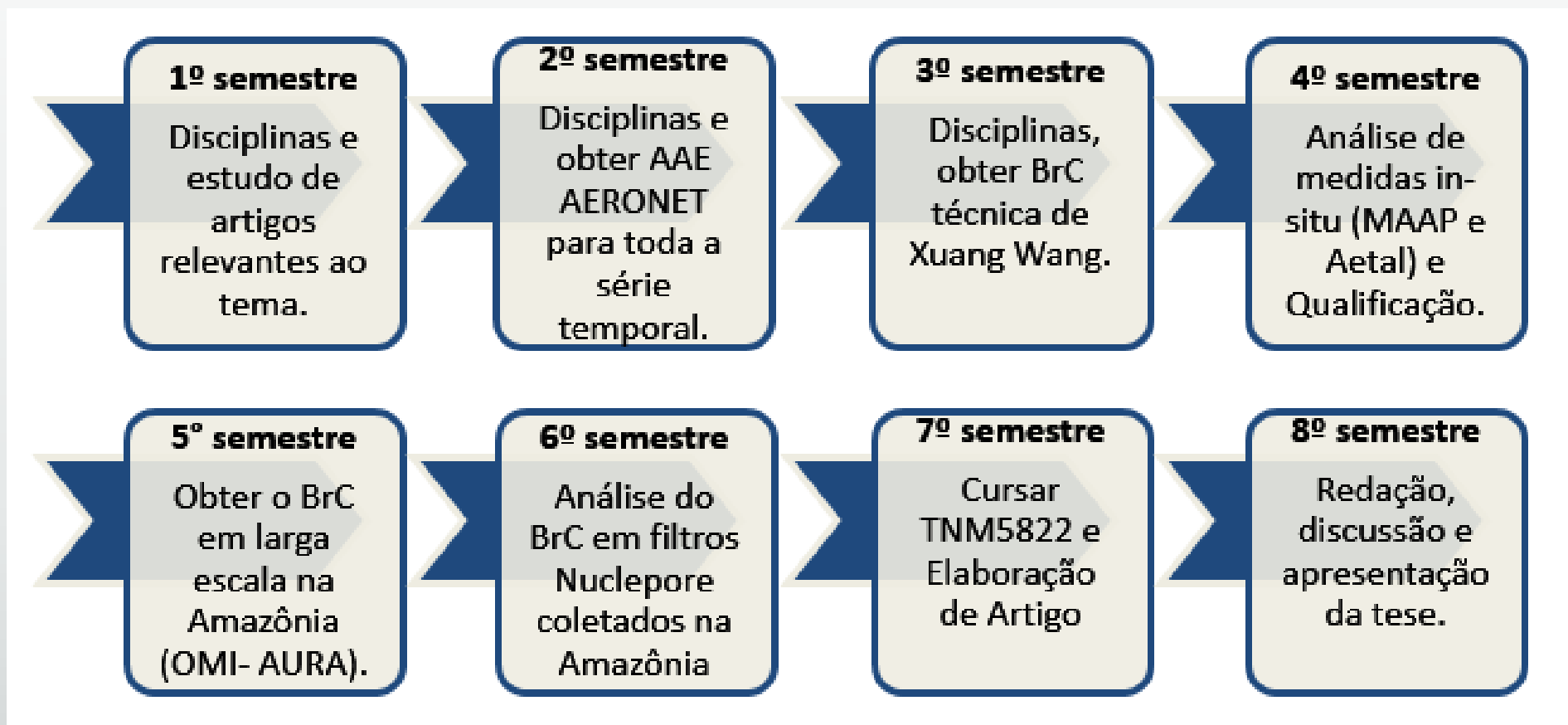


Aqua satélite (AIRS): CO₂ concentr.

Holanda, B. A., et al. 2019

Cronograma

O cronograma proposto no projeto de doutorado submetido à comissão de pós-graduação tem sido seguido à risca.



Obtenção dos Créditos

- **Disciplinas Cursadas:**

Aerosols and Aerosol-Cloud Interactions

A Física das Mudanças Climáticas

Sensoriamento Remoto da Atmosfera com Lasers

Ciência Avançada em Mudanças Climáticas

Obrigatórias IPEN (Física Nuclear e Aplicações, Materiais e Ciclo do Combustível, Reatores, Proteção Radiológica)

Meteorologia da Poluição do Ar

Introdução à Física Atmosférica

Tópicos Avançados em Tratamento Estatístico de Dados em Física Experimental

Modelagem da interação da radiação com aerossóis e nuvens

- **Créditos a serem obtidos:**

Disciplina obrigatória TNM5822 - Tópicos Especiais em Tecnologia Nuclear (8 créditos)

E pelo menos mais 4 créditos em elaboração de artigos.

Totalizando assim os 72 necessários para o depósito da tese

* Em todas as disciplinas cursadas foi obtido o conceito máximo (A).

An aerial photograph of a vast, dense green forest. In the distance, a tall, slender communication tower with a red and white striped pattern stands prominently against the horizon. The sky is bright blue with scattered white clouds. The text "Obrigado pela atenção !!!" is overlaid in the center of the image in a bold, yellow font.

Obrigado pela atenção !!!

Referencias Bibliográficas Principais

- BOND, T. C. et al. Bounding the Role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment: BLACK CARBON IN THE CLIMATE SYSTEM. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 11, p. 5380–5552, 16 jun. 2013.
- CHANGE, I. P. on C. **Climate Change 2013: the Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- DRINOVEC, L. et al. The “Dual-Spot” Aethalometer: An Improved Measurement of Aerosol Black Carbon with Real-Time Loading Compensation. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 8, n. 5, p. 1965–1979, 6 maio 2015.
- FENG, Y.; RAMANATHAN, V.; KOTAMARTHI, V. R. Brown Carbon: A Significant Atmospheric Absorber of Solar Radiation? **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 17, p. 8607–8621, 2 set. 2013.
- HOLBEN, B. N. et al. AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 1, p. 1–16, out. 1998.
- LACK, D. A.; LANGRIDGE, J. M. On the Attribution of Black and Brown Carbon Light Absorption Using the Ångström Exponent. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 20, p. 10535–10543, 31 out. 2013.
- PETZOLD, A.; KRAMER, H.; SCHONLINNER, M. Continuous measurement of atmospheric black carbon using a multi-angle absorption photometer. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 9, n. Special issue 4, p. 78–82, 2002.
- WANG, X. et al. Deriving Brown Carbon from Multiwavelength Absorption Measurements: Method and Application to AERONET and Aethalometer Observations. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 16, n. 19, p. 12733–12752, 13 out. 2016.

Algoritmo de obtenção de BrC

% BrAAOD = é o BrC calculado AAOD a 440nm

% BrAAOD_r = é a incerteza metodológica do resultado BrAAOD

% BrCont = é a contribuição calculada de BrC para AAOD total a 440nm, em %

% BrCont_r = é a incerteza metodológica do resultado BrCont

% BCAOD = é o BC calculado para AAOD a 440nm

bondmie = importdata('bondmie.csv');

bondmie_aae	bondmie_mindef	bondmie_maxdef	bondmie_middef
0.1	0.856656	0.971063	0.91386
0.3	0.818784	0.923744	0.871264
0.5	0.778845	0.90488	0.841863
0.7	0.764685	0.877989	0.821337
0.9	0.753013	0.890559	0.821786
1.1	0.752517	1.05105	0.901783
1.3	0.767029	1.08962	0.928326
1.6	0.811395	1.03023	0.920813

```

data=SaoPaulo(:,1); % data

abs1=SaoPaulo(:,11); % AAOD 440nm

abs2=SaoPaulo(:,12); % AAOD 675nm

abs3=SaoPaulo(:,13); % AAOD 870nm

AAE675 = -log(abs2./abs3)./log(675/870);

for i = 1:length(bondmie.data(:,1));

    for ii = 1:length(AAE675);

        if AAE675(ii) >= bondmie.data(i,1)-0.1 & AAE675(ii) < bondmie.data(i,1)+0.1;

            AAE440 = -log(abs1./abs2)./log(440/675);

            realdef = exp(AAE440)./exp(AAE675);

            if realdef(ii) > bondmie.data(i,3);

                bcaae = AAE675+log(bondmie.data(i,2));

                BCAAOD = abs3.*exp(-bcaae.*log(440/870));

                BrAAOD = abs1-BCAAOD;

```



```
bcaae_max = AAE675+log(bondmie.data(i,3));
bcaaod_max = abs3.*exp(-bcaae_max.*log(440/870));
braaod_min = abs1-bcaaod_max;
BrAAOD_r = BrAAOD-braaod_min;

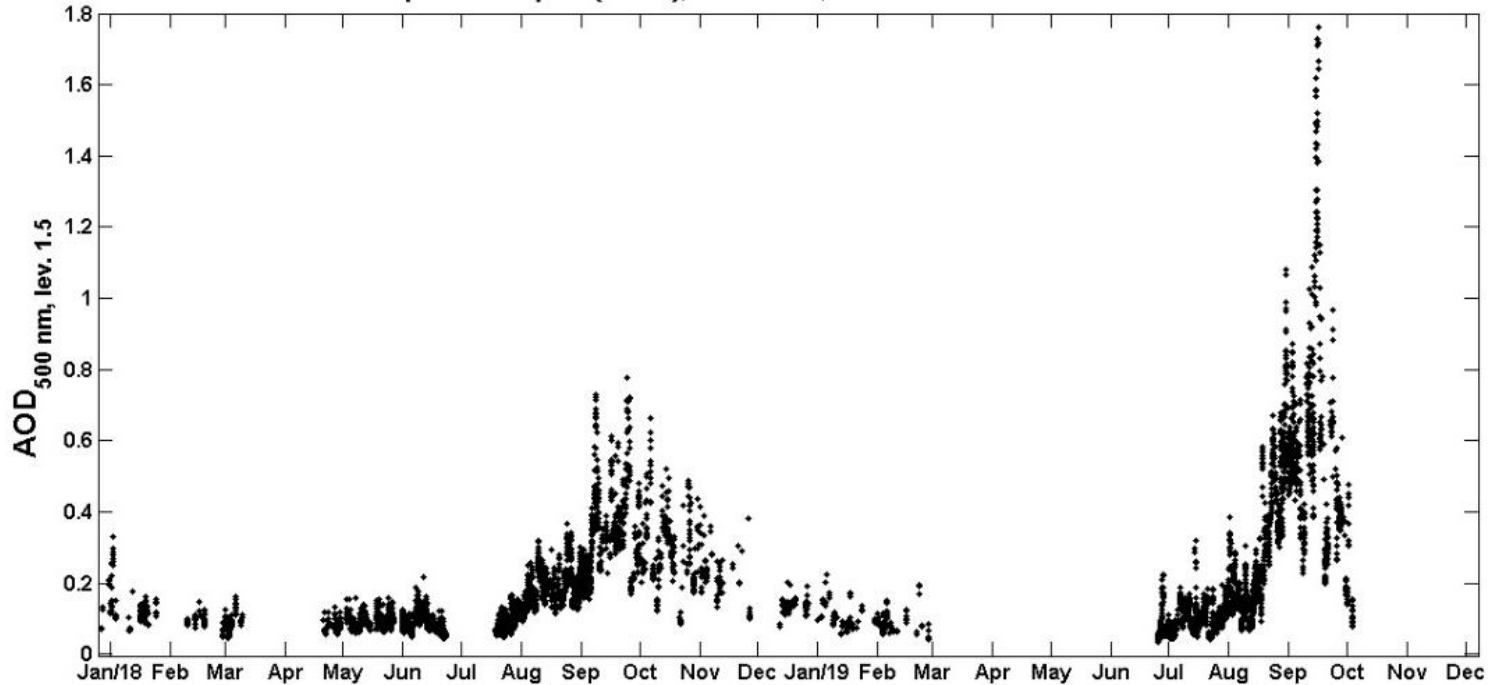
BrCont = 100.*BrAAOD./abs1;
BrCont_r = 100.*BrAAOD_r./abs1;
end
else
BCAAOD = abs1;
end

end
end

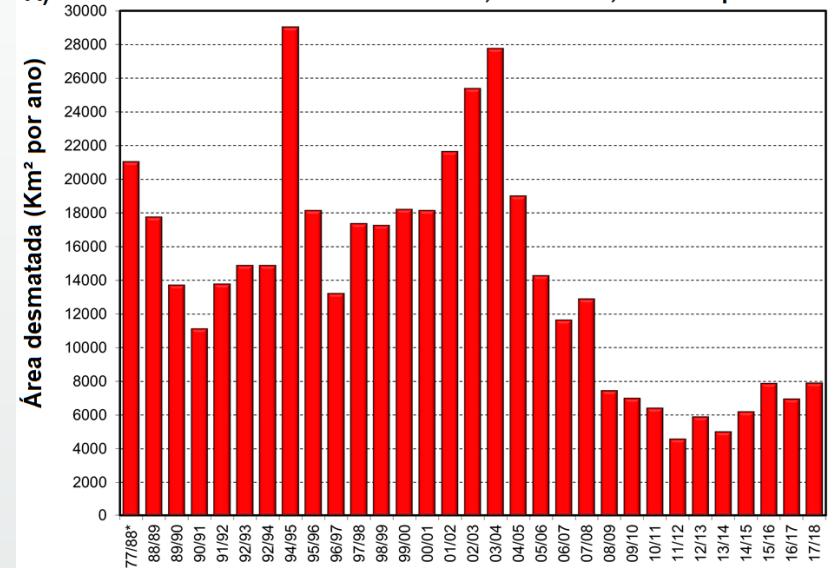
res_SP=[data BrAAOD BrAAOD_r BrCont BrCont_r BCAAOD];
```

Queimadas na Amazônia aumentaram em 2019?

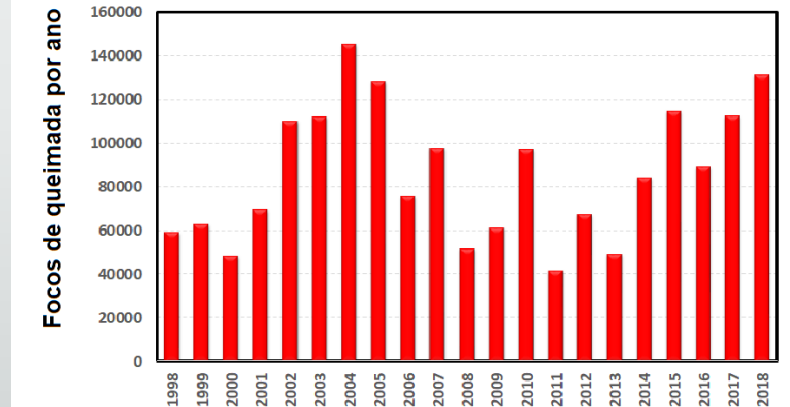
Aerosol Optical Depth (AOD), level 1.5, for Alta Floresta - 2018 and 2019



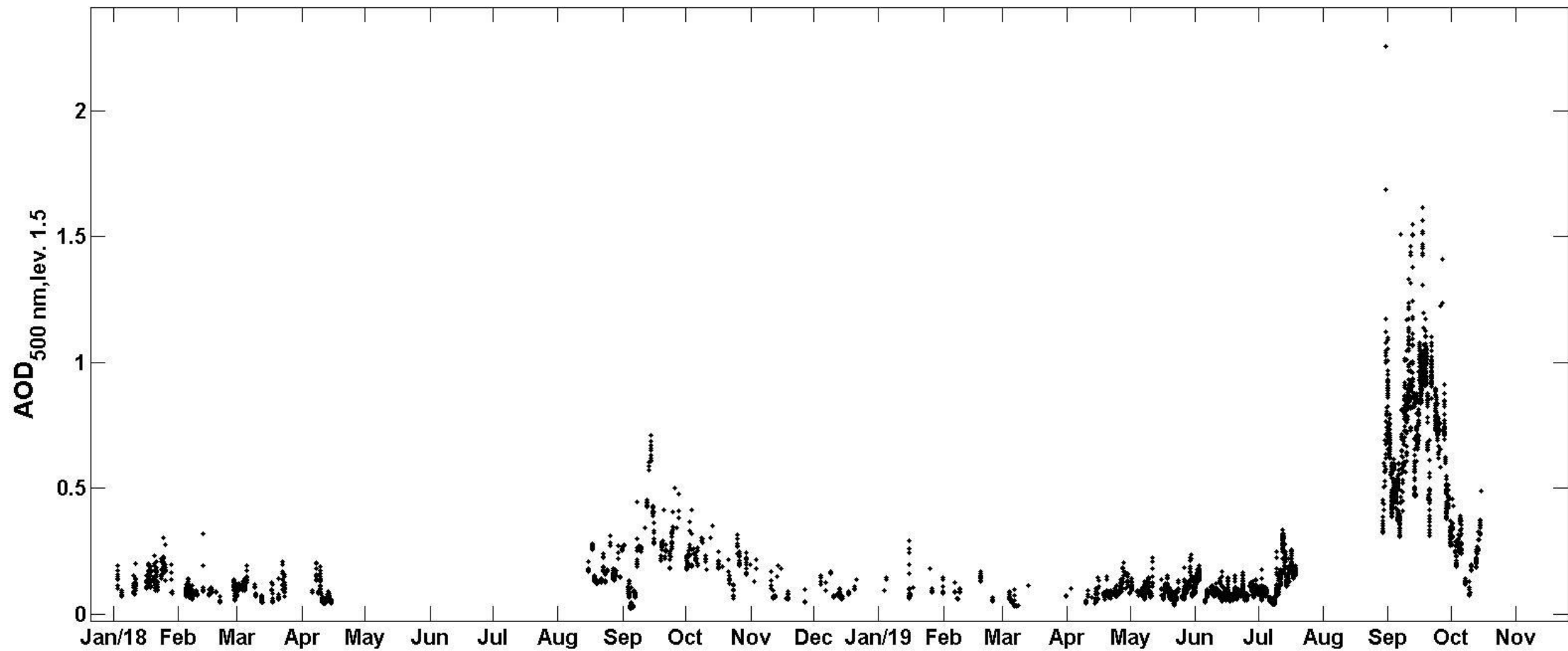
A) Desmatamento na Amazônia, 1977-2018, em Km² por ano



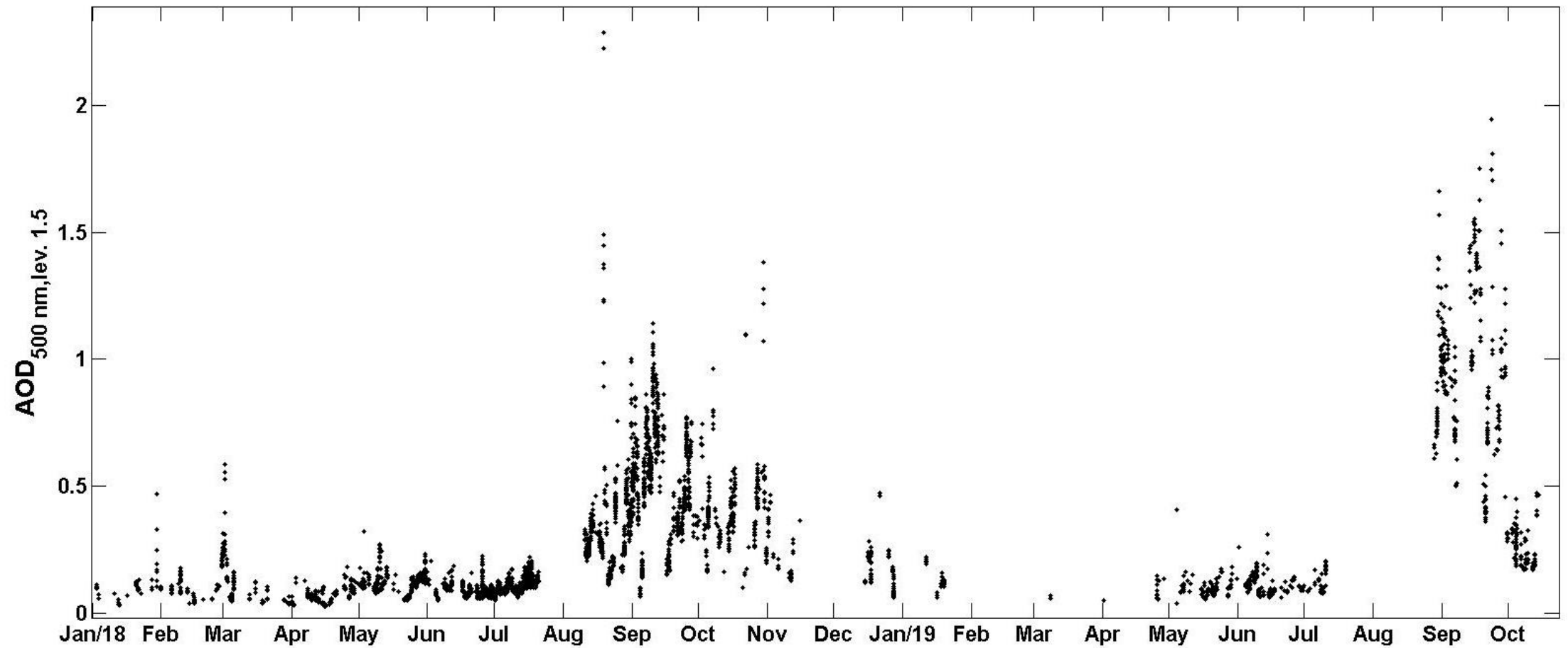
B) Focos de queimadas na Amazônia, 1998 a 2018



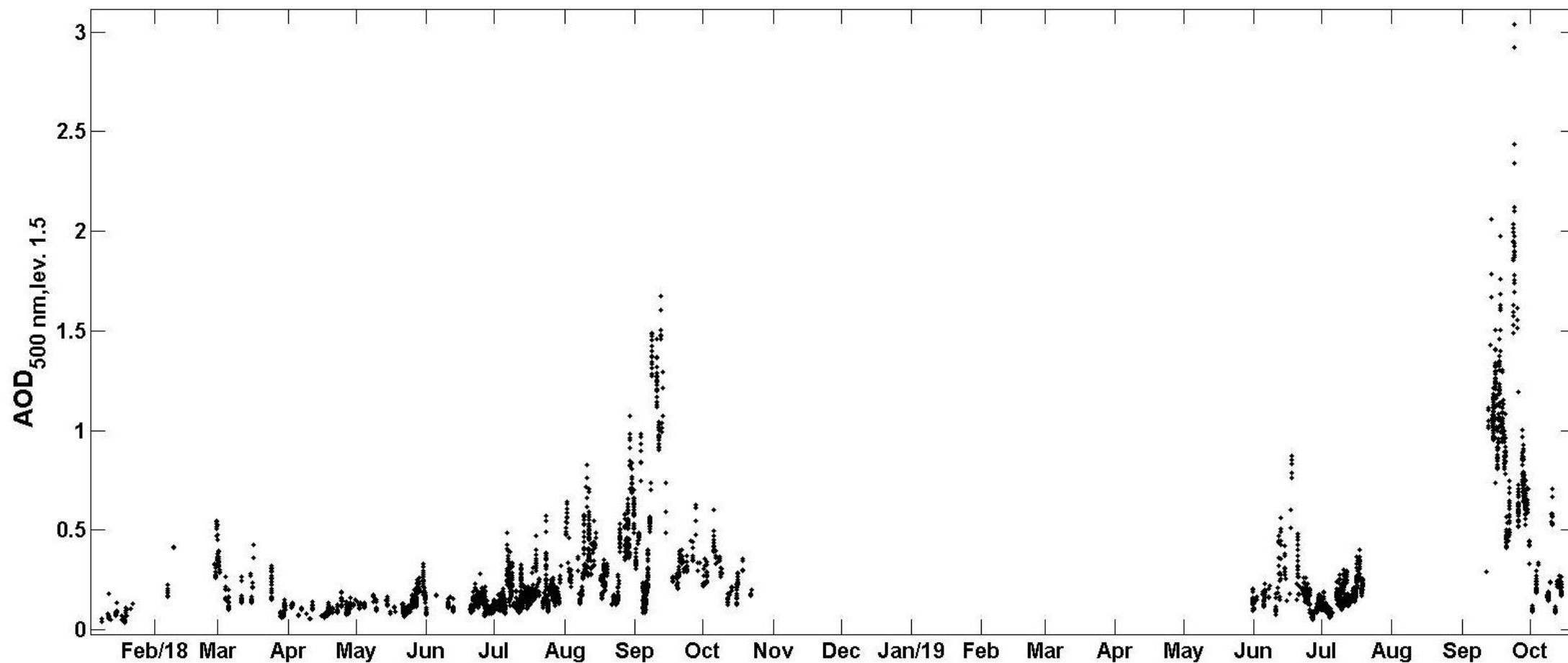
Aerosol Optical Depth (AOD), level 1.5, for Cuiaba - 2018 and 2019.



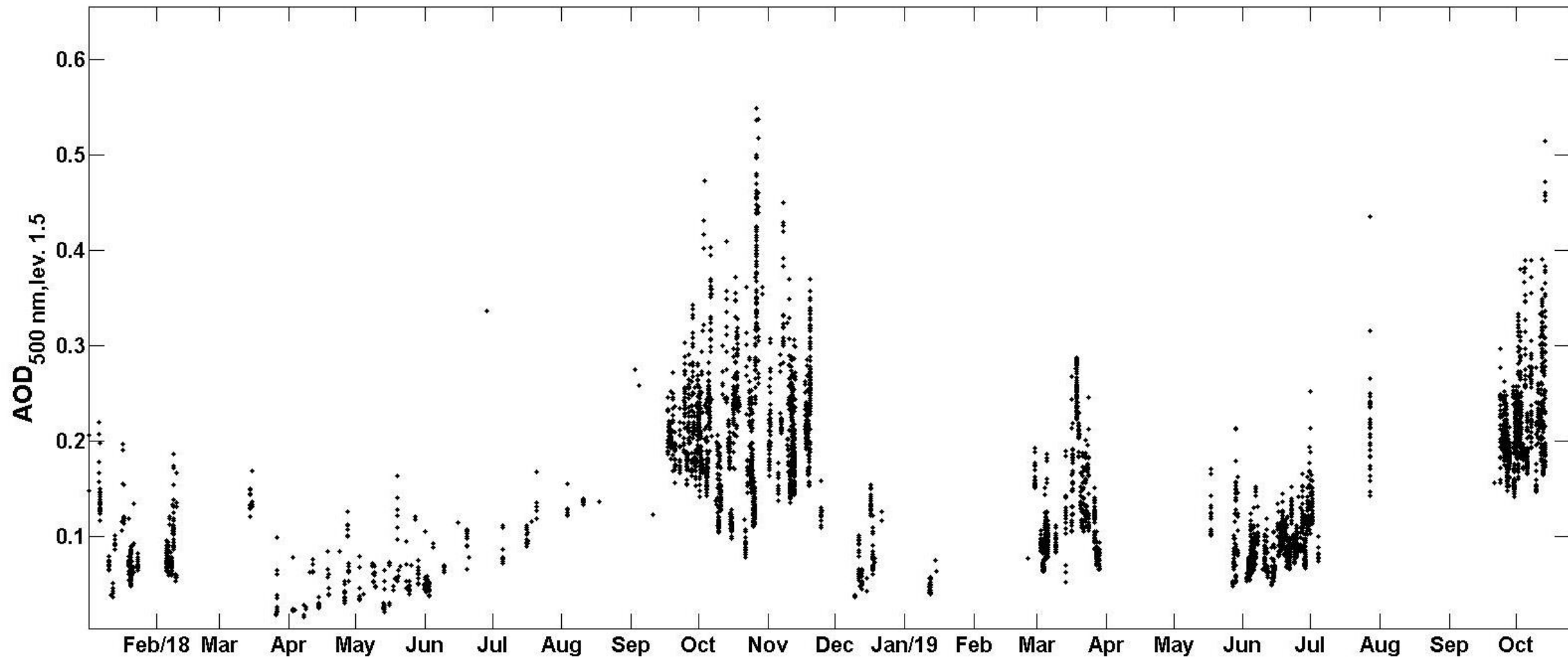
Aerosol Optical Depth (AOD), level 1.5, for JiParana - 2018 and 2019.



Aerosol Optical Depth (AOD), level 1.5, for Rio Branco - 2018 and 2019.



Aerosol Optical Depth (AOD), level 1.5, for ATTO - 2018 and 2019.



Aerosol Optical Depth (AOD) for several sites in Amazonia

