



## **ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS, AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS E PRECIPITAÇÃO**

Nathália Velloso Prado (FEG – UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [nathalia.prado@cptec.inpe.br](mailto:nathalia.prado@cptec.inpe.br)

Dra. Simone Sievert da Costa (DSA/CPTEC/INPE, Orientadora)  
E-mail: [simone.sievert@cptec.inpe.br](mailto:simone.sievert@cptec.inpe.br)

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Julho de 2013



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PROGRAMA:  
PIBIC/ INPE - CNPq**

**PROJETO**

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS, AEROSSÓIS  
ATMOSFÉRICOS E PRECIPITAÇÃO**

**PROCESSO: 155621/2010-6**

Relatório elaborado por NATHÁLIA VELLOSO PRADO relativo ao período de  
Agosto de 2012 a Julho de 2013

**Nathália Velloso Prado** – Bolsista PIBIC/CNPq  
**E-mail:** nathalia.prado@cptec.inpe.br

**Dra. Simone Sievert da Costa Coelho** – Orientadora  
**DSA/CPTEC/INPE**  
**E-mail:** simone.sievert@cptec.inpe.br

## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos ao programa PIBIC/INPE - CNPq que está me permitindo, com a aprovação do meu projeto, ingressar na área científica, ao suporte de computação da DSA do CPTEC e aos funcionários e servidores da DSA/CPTEC/INPE.

Um muito obrigado especial a Deus e a Nossa Senhora que me guiam nessa caminhada e aos amigos que conquistei na DSA. Um muito obrigado muito especial ao meu avô José Velloso que até seus últimos momentos de vida me incentivou, ajudou e acompanhou meus passos nos estudos. Devo e muito também a ele parte do que sou.

Agradeço também à minha orientadora pela oportunidade da continuidade do trabalho, aos meus pais Paulo e Nívea pelo apoio que me vêm dando em minhas decisões, a minha irmã pela força e um muito obrigado à Diogo Moura Pedroso pela parceria. Enfim, muito obrigada a todos pelo companheirismo e amizade que me demonstram. A vocês dedico este trabalho de desenvolvimento profissional e pessoal, o qual tenho orgulho de que façam parte.

## LISTA DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 1 – Concentração média de aerossol da região centro-oeste do Brasil para o período de 2000-2012 e a média climatológica.....	05
Figura 2 – Correlação entre a quantidade de Aerossol Optical Depht (AOD) e a anomalia de precipitação para a região centro-oeste do Brasil.....	18
Figura 3 – Relação observada entre a anomalia de precipitação e a quantidade de aerossóis atmosféricos para a região centro-oeste do Brasil para os meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2000-2012, destacando os anos de El Niño e La Niña.....	19
Figura 4 – Anomalias de precipitação e concentração de profundidade óptica do aerossol.....	23

## LISTA DE TABELAS

**Pág.**

Tabela 1 – Campos mensais de AOD e de focos de queimadas de 2000 a 2012 divididos em anos de El Niño, La Niña e Neutro.....06

Tabela 2 – Anos de El Niño, La Niña, Neutro e seus respectivos IOS para os meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2000 a 2012.....20

## RESUMO

Os efeitos diretos e indiretos dos aerossóis atmosféricos no clima amazônico têm sido tema de varias pesquisas. O objetivo deste estudo é verificar a relação entre as queimadas, aerossóis atmosféricos e a precipitação sobre a América do Sul explorando a disponibilidade de dados de satélite. Espera-se compreender como os efeitos da emissão de aerossóis pelas queimadas, principalmente na Amazônia, podem acarretar na composição da atmosfera e no processo de formação de nuvens. Este estudo utilizou os seguintes dados de satélite no período de 2000 – 2012: profundidade óptica do aerossol (MODIS/TERRA – AQUA), detecção de queimadas (produzidos no CPTEC) e a taxa de chuva (TRMM). Este trabalho foi elaborado em duas partes distintas. Na primeira etapa, uma análise qualitativa entre o número de queimadas e a emissão de aerossóis foi efetuada. Verificou-se que existe uma grande variabilidade espacial e temporal da profundidade óptica do aerossol (AOD = Aerossol Optical Depth) sobre a América do Sul. As regiões norte, nordeste e centro-oeste apresentam marcante AOD nos meses de inverno, com pico em Agosto e início de Setembro. A região sudeste é afetada pela emissão de aerossol da região centro-oeste em decorrência do transporte dinâmico. Na segunda etapa, a relação entre AOD e precipitação no período de foi estudada, através da análise de correlação no período de 13 anos. As análises estatísticas, sobre grande área da Amazônia Legal, mostraram uma correlação negativa de 0.72 entre os meses de Agosto a Outubro. A correlação negativa indica que altos valores de AOD apresentam uma relação com baixos valores de taxa de chuva. Os meses restantes apresentaram uma correlação fraca. Esses resultados usando dados de satélite indicam uma possível relação entre AOD e anomalias negativa de precipitação, de acordo com resultados apresentados na literatura que utilizam dados in-situ ou combinados com satélite. Esta relação é esperada, pois maior quantidade de aerossol na atmosfera é devido às queimadas, que são intensificadas em anos mais secos. Estudos da literatura discutem que o aumento de concentração de aerossóis na atmosfera pode inibir a eficiência do crescimento das gotículas de água, reduzindo a precipitação à superfície. Verificou-se ainda que durante os anos de El Niño, os valores de AOD são mais elevados (0.25 –

0.3) do que em outros anos (média climatologia de AOD ~ 0.15 a 0.2), e que os valores de AOD em Agosto atingem valores similares aqueles de Setembro (mês pico de AOD).

## **STUDY OF THE RELATION OF FIRES, ATMOSPHERIC AEROSOLS AND PRECIPITATION**

### **ABSTRACT**

The direct and indirect effects of aerosols on climate Amazon have been the subject of several studies. The aim of this study is to investigate the relationship between the fires, atmospheric aerosols and precipitation over South America exploring the availability of satellite data. Expected to understand how the effects of emission of aerosols by burning, especially in the Amazon, can result in the composition of the atmosphere and in the process of cloud formation. This study used the following satellite data for the period 2000 - 2012: the aerosol optical depth (MODIS / TERRA - AQUA), detection of fires (produced in CPTEC) and rain rate (TRMM). This work was developed in two distinct parts. In the first stage, a qualitative analysis of the number of fires and the emission of aerosols was performed. It was found that there is a large spatial and temporal variability of the aerosol optical depth (AOD = Aerosol Optical Depth) on South America's north, northeast and center-west striking feature AOD in the winter months, peaking in August and early September. The southeastern region is affected by the issue of aerosol Midwest due to the dynamic transport. In the second step, the relationship between AOD and precipitation for the period was studied through correlation analysis period of 13 years. The statistical analyzes on large area of the Amazon, showed a negative correlation of 0.72 between the months of August to October. The negative correlation indicates that high values of AOD have a relationship with low values of rain rate. The remaining months showed a weak correlation. These results using satellite data indicate a possible relationship between AOD and negative precipitation anomalies, according to the results reported in the literature data using in-situ or combined satellite. This relationship is expected because larger amount of aerosol in the atmosphere is due to the fires, which are intensified in drier years. Studies in the literature report that the increased concentration of aerosols in the atmosphere can inhibit the growth efficiency of the water droplets, reducing precipitation on the surface.

It was also found that during El Nino, AOD values are higher (0.25 - 0.3) than in past years (mean weather ODA ~ 0.15 to 0.2), and the values of AOD August reach values similar to those of September (month peak).



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2. MÉTODOS E DADOS</b> .....	02
<b>3. RESULTADOS</b> .....	04
3.1 Análise espacial da profundidade óptica do aerossol.....	04
3.2 Estudo da relação entre concentração de aerossol e anomalia de chuva.....	18
3.3 Relação observada entre anomalia de precipitação e quantidade de aerossóis analisando possíveis influências dos fenômenos El Niño e La Niña.....	18
3.4 Estudo da relação entre anomalia de aerossol optical depth e anomalia de precipitação.....	21
<b>4. CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	25
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	26

## 1. INTRODUÇÃO

A principal fonte de aerossóis no Brasil é devido às queimadas. A emissão de queimadas na Amazônia desregula a composição da atmosfera e o processo de formação de nuvens (ARTAXO, 2006).

As partículas de aerossóis estão relacionadas ao ciclo hidrológico pelo fato de constituírem os chamados núcleos de condensação de nuvens (NCN), que é uma partícula especial atuando como base para a formação inicial da gotícula até que ela atinja um tamanho suficientemente grande para que seu crescimento seja espontâneo, o qual se somando ao vapor de água formam as gotículas de nuvens. Esses NCN são partículas de tamanho microscópico, capazes de condensar a água em sua superfície. Se houver uma diferença da concentração de NCN da estação chuvosa para a estação seca, as propriedades da microfísica de nuvens serão profundamente alteradas.

Desde o processo de crescimento de uma gota (cerca de  $20\mu\text{m}$  de diâmetro) até a gota já formada (de 1 a 2 mm de diâmetro), o volume desta gota - que aumenta proporcionalmente com o valor cúbico do raio da gota - várias etapas acontecem. As correntes de ar dentro da nuvem iniciam-se devido ao ar aquecido pelo contato com o chão quente durante o dia. Essas correntes sustentam as gotas de chuva dentro da nuvem enquanto elas crescem (podendo ser por condensação do vapor d'água e pelo choque com outras gotas menores). Estas adquirem um peso maior e isso desacelera o fluxo de ar ascendente, até que essas gotas sentem a ação da gravidade e são puxadas para baixo, porém a bolha de ar quente flutuando continua levando-as para cima e a nuvem segue crescendo.

A quantidade de aerossóis neste momento influencia bastante o processo de formação de nuvens. Uma vez num ambiente não poluído, mais limpo, há poucos NCN. Na disputa por vapor d'água, se houver NCN relativamente grandes, estes vão crescer rapidamente, colidirão com outros menores e precipitarão, chegando estas nuvens a uma altura não maior que 4 ou 5 km. Entretanto, se a atmosfera estiver poluída, com grande número de NCN (na época de queimadas, por exemplo), a disputa pelo vapor d'água

aumenta e as gotas bem lentamente crescerão pouco, enquanto a nuvem vai crescendo, podendo estas nuvens nem chegar a precipitar. Assim, as gotas acabam evaporando e a água, juntamente dos aerossóis, não retornam ao chão e são levados pelos ventos à outros lugares. Se essas gotas passarem dos 6 ou 7 km de altura, elas congelam, pois o ar atinge temperaturas mais baixas.

## **2. MÉTODOS E DADOS**

Inicialmente foi realizado um levantamento da disponibilidade de dados de sensoriamento remoto referente ao aerossol, focos de queimadas e precipitação. Com relação aos aerossóis foram utilizados dados de profundidade óptica de aerossol. Esta variável é uma medida adimensional de extinção da radiação devido à interação da radiação com partículas de aerossóis na atmosfera, principalmente devido aos processos de espalhamento e absorção. Estes dados de profundidade óptica inferidos a partir das informações observadas pelo sensor MODIS - MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer – a bordo dos satélites TERRA e AQUA operados pela NASA no projeto EOS (Earth Observing System) e foram adicionalmente, utilizados dados de precipitação do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).

O trabalho consistiu de três partes distintas. Na primeira etapa, uma análise qualitativa entre o número de queimadas e a emissão de aerossóis foi avaliada. A relação entre queimadas e aerossóis foi analisada utilizando 13 anos (2000-2012) de dados de profundidade óptica do aerossol inferido pelo satélite TERRA/MODIS, e de número de focos de queimadas disponibilizados pelo INPE. O produto de queimadas do INPE utiliza diversos dados de satélites (AQUA, TERRA, NOAA e GOES). Na segunda etapa, a relação entre a profundidade óptica do aerossol e precipitação no período de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2012 foi estudada para distintas regiões (região Norte, região nordeste, região centro-oeste, região sudeste e região oceânica). Neste estudo deu-se maior ênfase para a região centro-oeste, pelo fato dessa região apresentar maior intensificação na atividade das queimadas. Também foi estimada a correlação entre a profundidade óptica de aerossol e a anomalia de precipitação. Na terceira etapa, os resultados encontrados deste estudo foram comparados com resultados

da literatura, o qual indica que o aumento da concentração de água líquida disponível à formação de gotículas de chuva é distribuída para maior número de núcleos de condensação.

Realizou-se ainda um estudo sobre os fenômenos El Niño e La Niña a fim de investigar se havia alguma relação de interferência desses fenômenos nos valores de AOD e na taxa de precipitação. Para tanto, foi feita primeiramente uma pesquisa sobre o que se tratava esses fenômenos. Pesquisou-se sobre o IOS (Índice de Oscilação Sul) para se avaliar, dentro da série histórica dos anos estudados em questão (2000-2012), os quais tiveram uma maior intensidade.

Confeccionou-se um gráfico da anomalia de AOD pela anomalia de precipitação (2000 – 2012) no intuito de se observar os anos com maiores valores de AOD e precipitação em função dos anos de El Niño e de La Niña.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1 Análise espacial da profundidade óptica do aerossol**

A figura 1 aborda sobre a análise da variabilidade anual da profundidade óptica – no período de 2000 a 2012 – e a média climatológica para a região centro-oeste do Brasil. Durante o ano de 2007 (com especial foco no estado de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) foi registrada a maior concentração de aerossol, com um pico de 0,285 que se aproximou da escala máxima de 0,3. Os meses de maior intensidade foram os de Agosto, Setembro e Outubro, começando a se intensificar em Agosto, atingindo um máximo em Setembro e decaindo um pouco em meados de Outubro. Interessante ressaltar ainda que 2007 foi um ano de ocorrência de La Niña, o que supostamente poderia ter intensificado ainda mais o período seco.

Verifica-se que os anos de 2005, 2007 e 2010 apresentam valores de AOD superiores à média climatológica ( $AOD > 0,2$ ) para o mês de Setembro. Observações mostram que Agosto de 2010 já apresenta valores de AOD superiores à média climatológica de 0,15 similares aos valores típicos do mês de Setembro. Nestes três anos citados, o marcante trata-se do ano de 2005, dado como ano Neutro e, no entanto, foi um ano em que tivemos uma alta concentração de aerossol. Já 2007 e 2010 foram anos que podem ter sofrido influência de La Niña e também tiveram níveis de concentração de AOD acima da média climatológica de 0,2.

Para os anos de 2011 e 2012, considerados anos de La Niña e Neutro respectivamente, observa-se níveis de AOD abaixo da curva média climatológica ( $AOD \sim 0,15$ ).

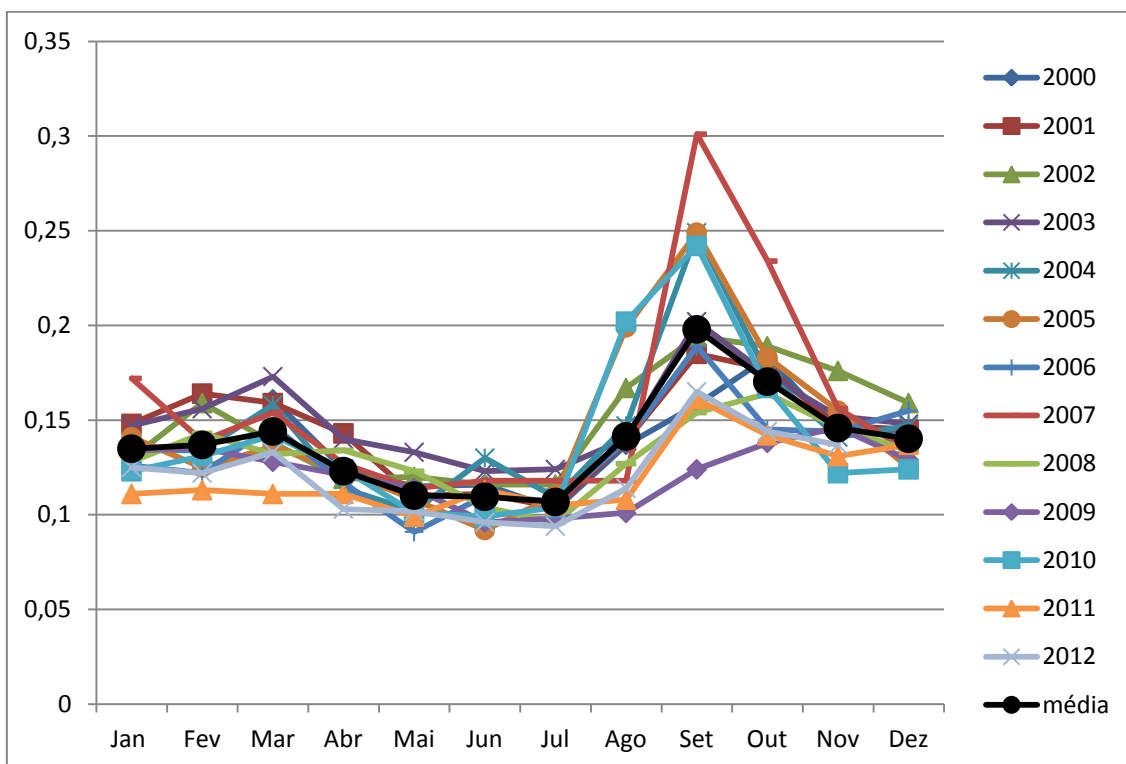
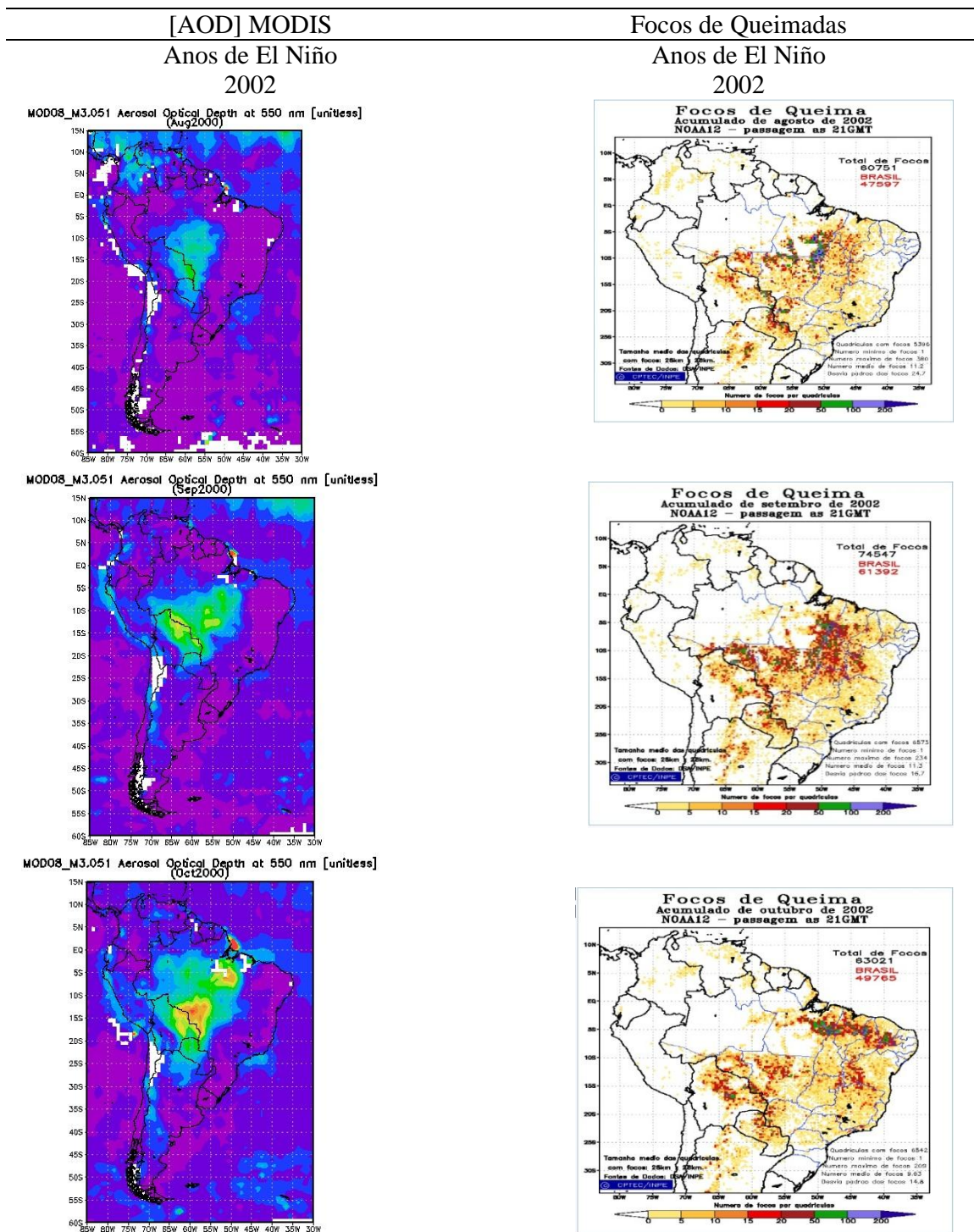


Figura 1 – Concentração média de aerossol da região centro-oeste do Brasil para o período de 2000-2012 e a média climatológica.

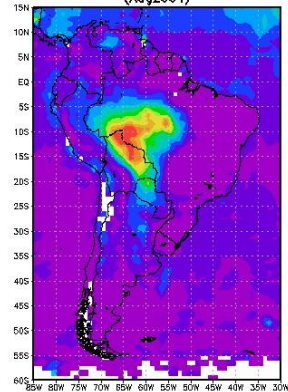
A tabela 1 mostra os anos de intensificação de focos de queimada e de concentração de aerossol de acordo com os fenômenos ocorridos. Os anos de 2005 e 2007 destacam-se, principalmente este último por apresentar a maior área de concentração de aerossol com escala máxima e como exceção obteve-se o ano de 2009 com uma abrupta diminuição da concentração. Nota-se que em ambos os casos, os meses de intensificação de queimada e do aumento da concentração de aerossol coincidem.

Tabela 1: Campos mensais de AOD e de focos de queimadas de 2000 a 2012 divididos em anos de El Niño, La Niña e Neutro.



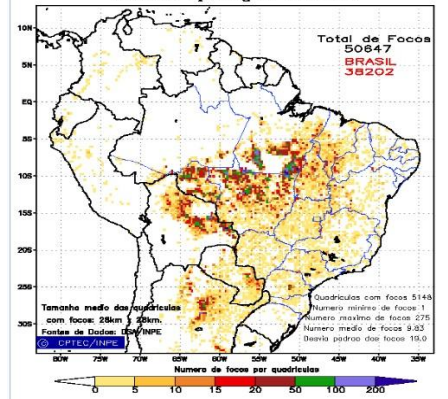
2004

MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2004)

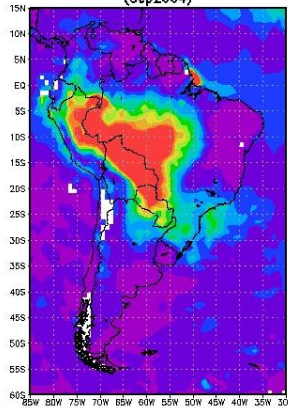


2004

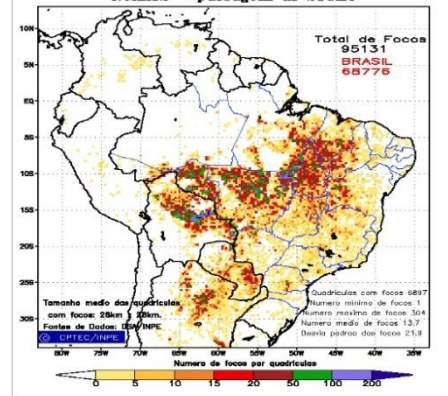
Focos de Queima  
Acumulado de agosto de 2004  
NOAA12 - passagem as 21GMT



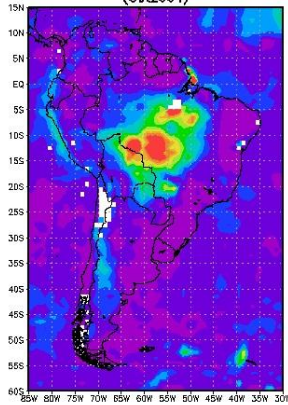
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2004)



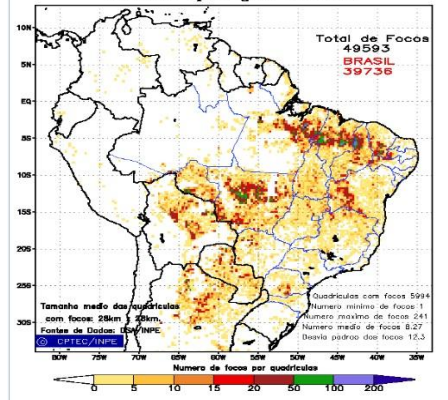
Focos de Queima  
Acumulado de setembro de 2004  
NOAA12 - passagem as 21GMT



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2004)



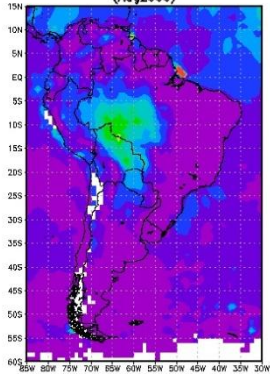
Focos de Queima  
Acumulado de outubro de 2004  
NOAA12 - passagem as 21GMT





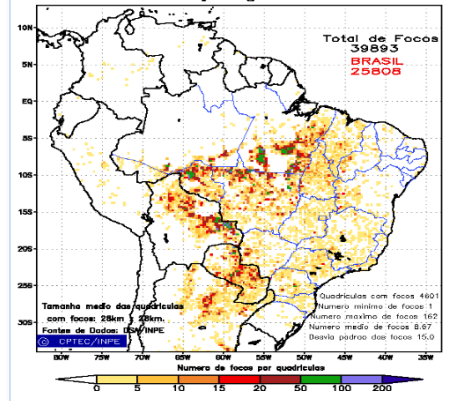
2006

MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2006)

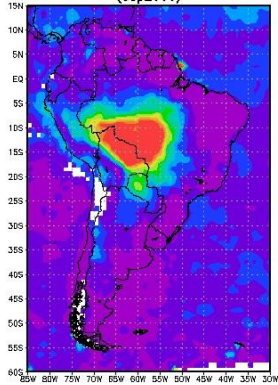


2006

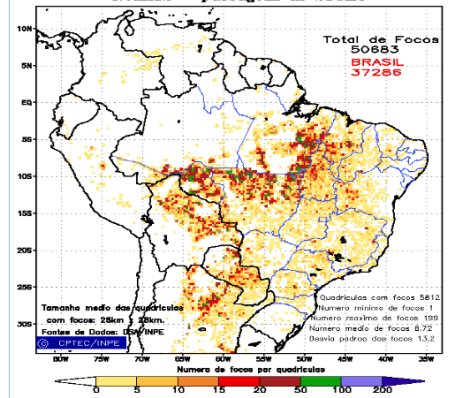
Focos de Queima  
Acumulado de agosto de 2006  
NOAA12 - passagem as 21GMT



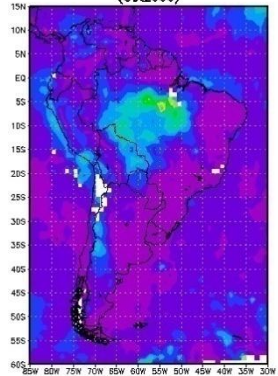
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2006)



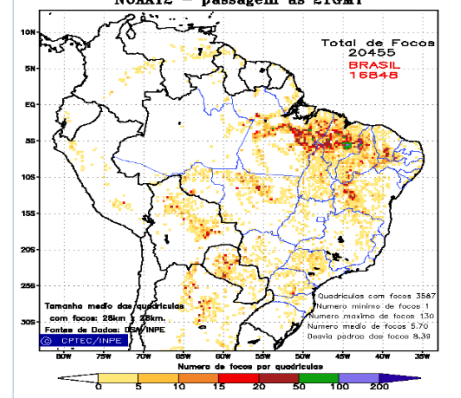
Focos de Queima  
Acumulado de setembro de 2006  
NOAA12 - passagem as 21GMT



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2006)

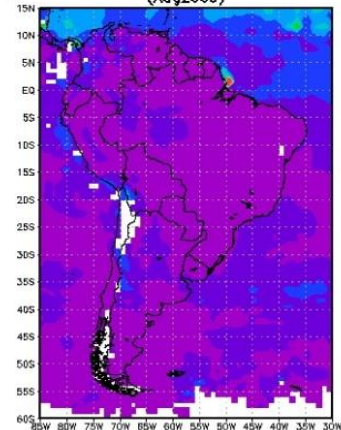


Focos de Queima  
Acumulado de outubro de 2006  
NOAA12 - passagem as 21GMT

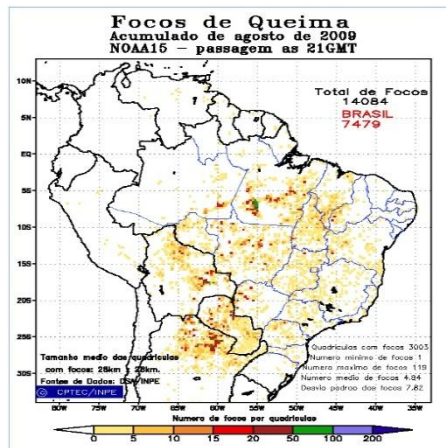


2009

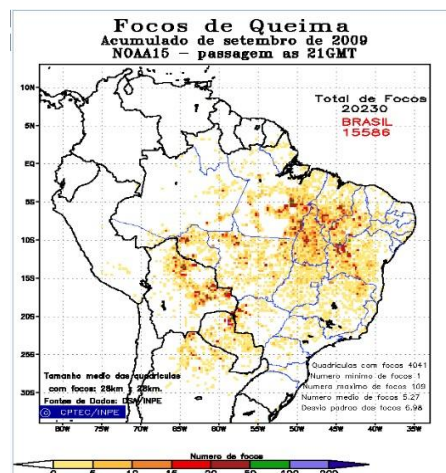
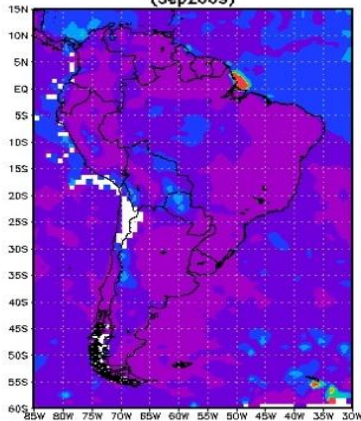
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2009)



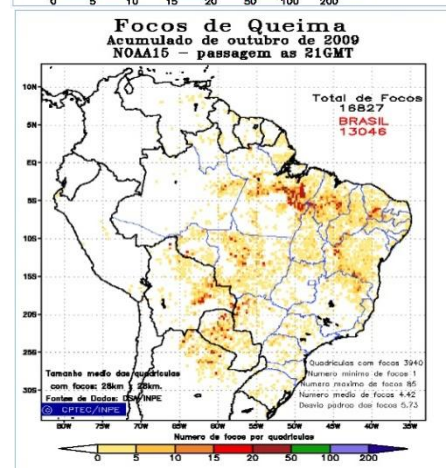
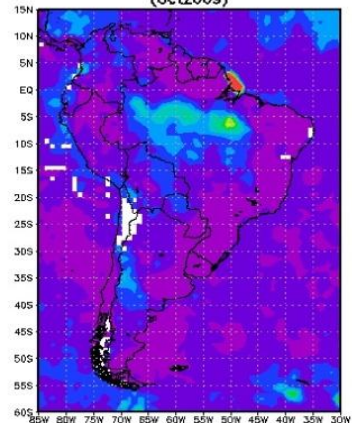
2009



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2009)



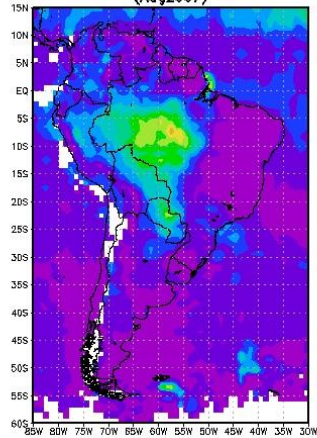
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2009)



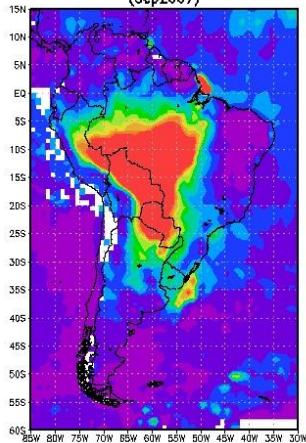


Anos de La Niña  
2007

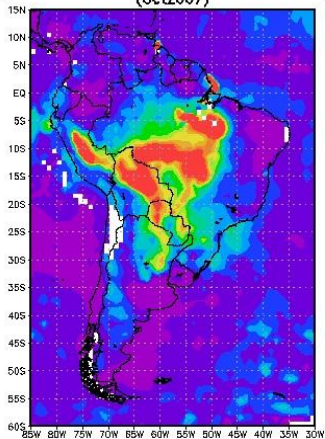
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2007)



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2007)

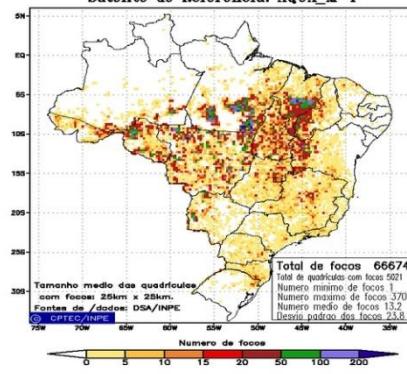


MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2007)

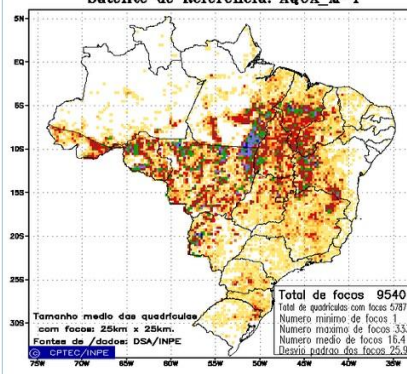


Anos de La Niña  
2007

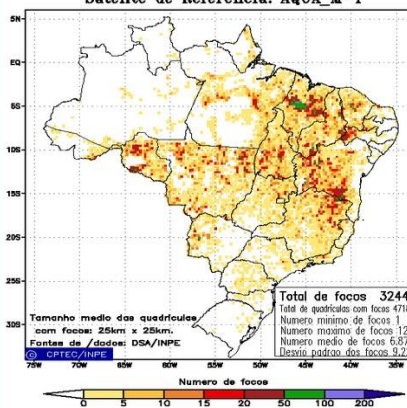
Focos de Queima  
Acumulado de Agosto de 2007  
Satelite de Referencia: AQUA\_M-T



Focos de Queima  
Acumulado de Setembro de 2007  
Satelite de Referencia: AQUA\_M-T

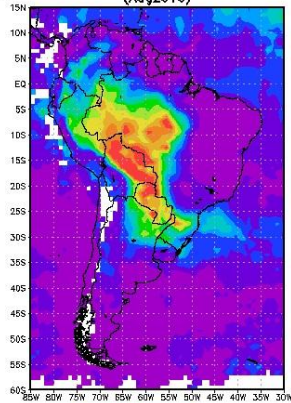


Focos de Queima  
Acumulado de Outubro de 2007  
Satelite de Referencia: AQUA\_M-T

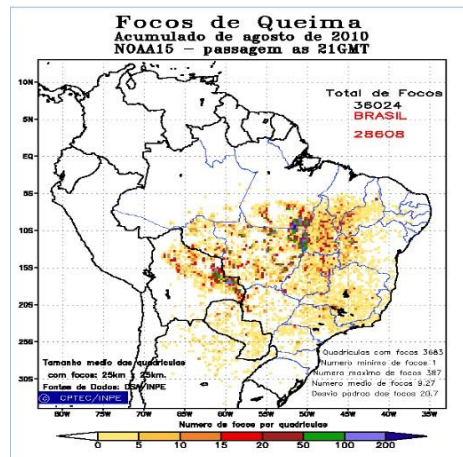


2010

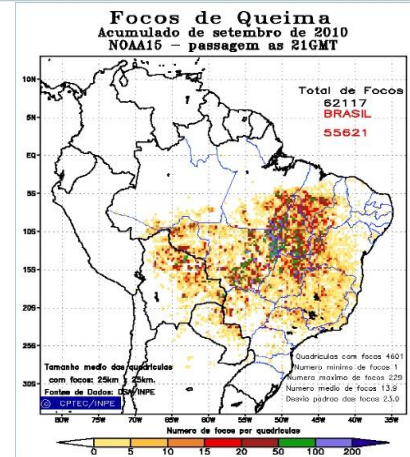
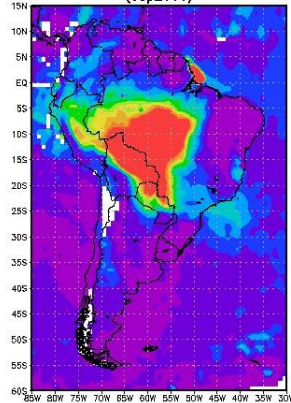
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2010)



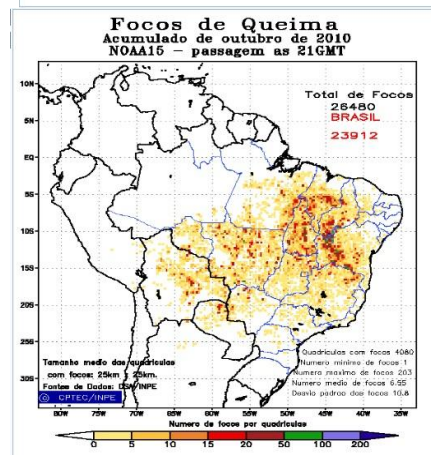
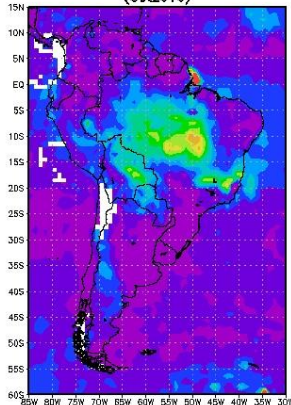
2010



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2010)



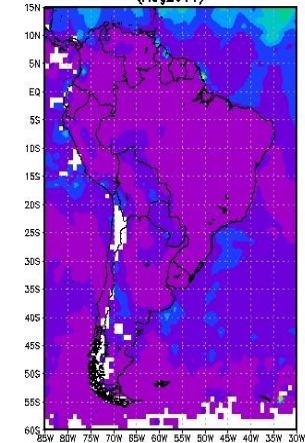
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2010)



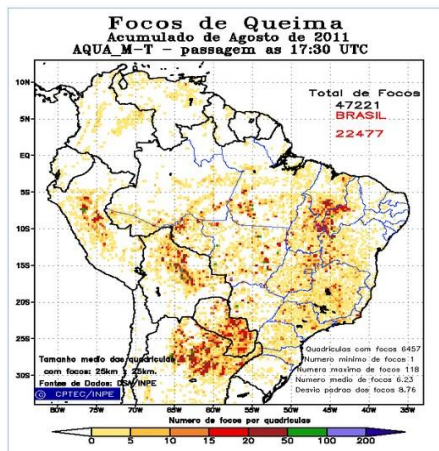


2011

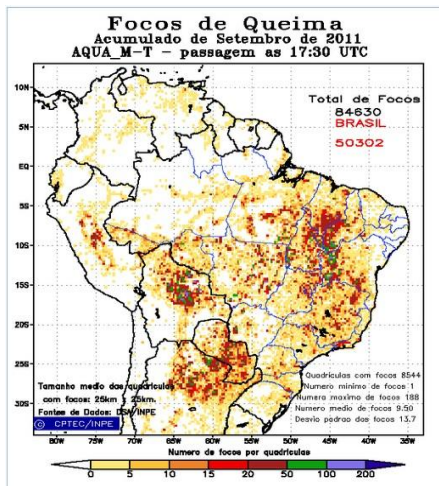
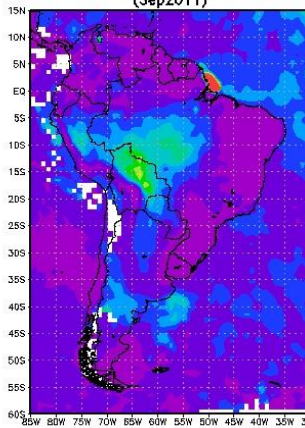
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2011)



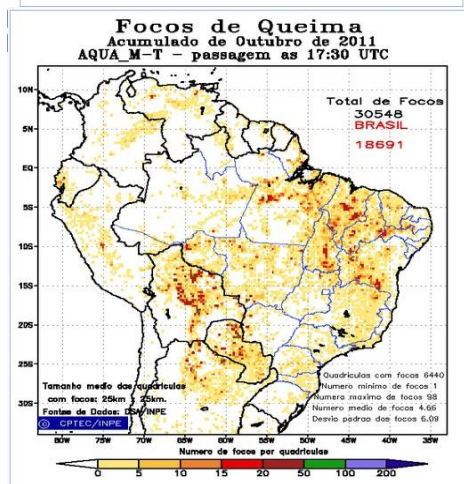
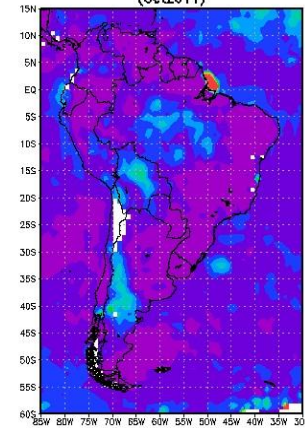
2011



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2011)

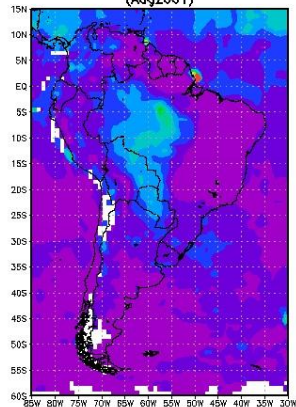


MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2011)

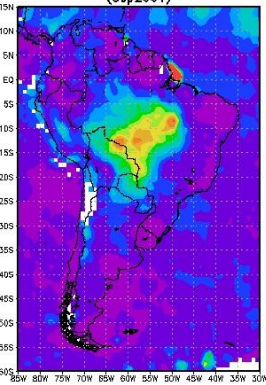


## Anos Neutros 2001

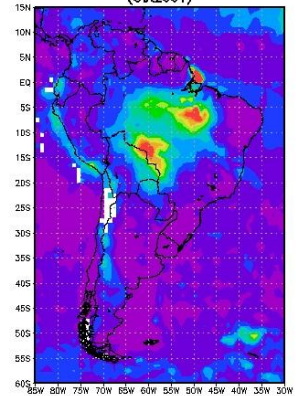
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2001)



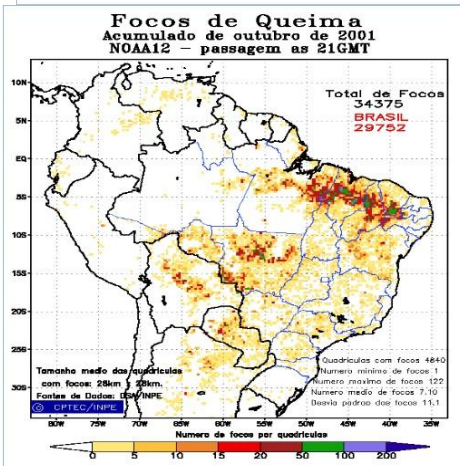
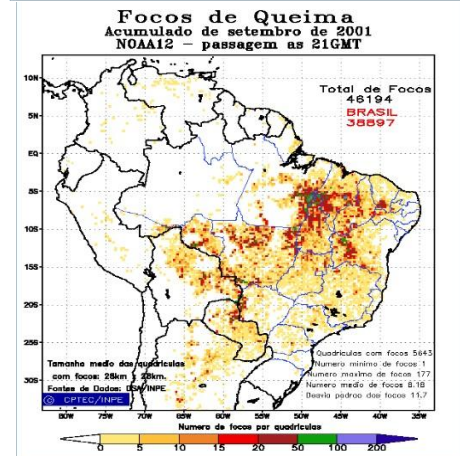
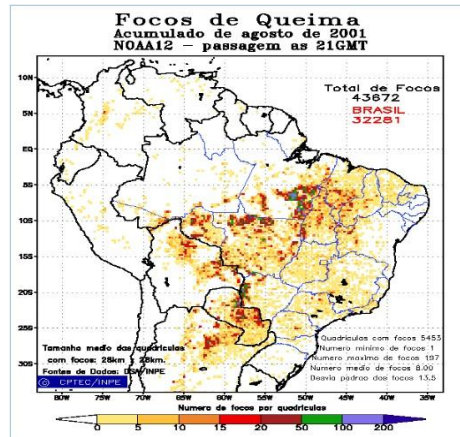
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2001)



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2001)



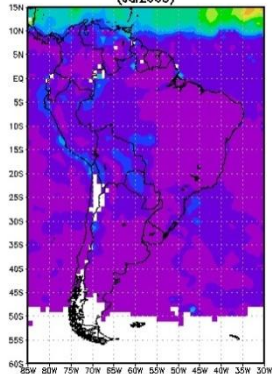
## Anos Neutros 2001



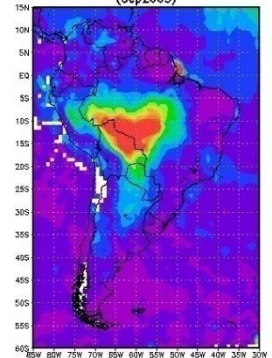


2003

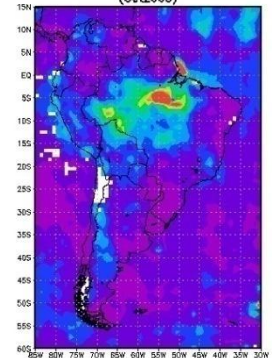
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Jul2003)



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2003)

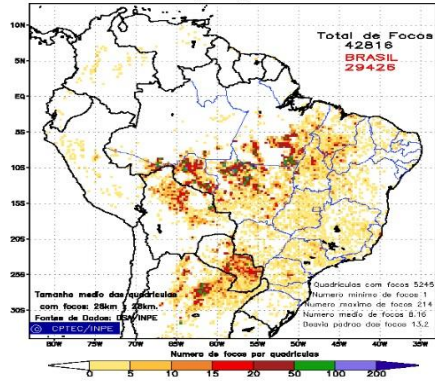


MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2003)

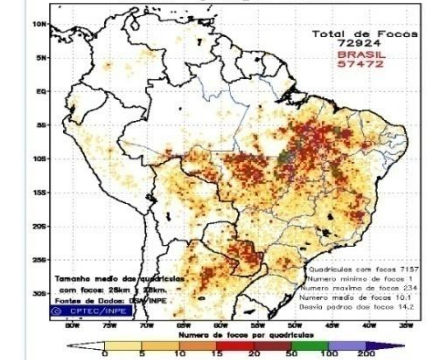


2003

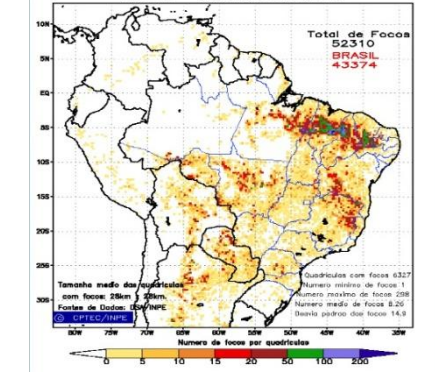
Focos de Queima  
Acumulado de agosto de 2003  
NOAA12 - passagem as 21GMT



Focos de Queima  
Acumulado de setembro de 2003  
NOAA12 - passagem as 21GMT

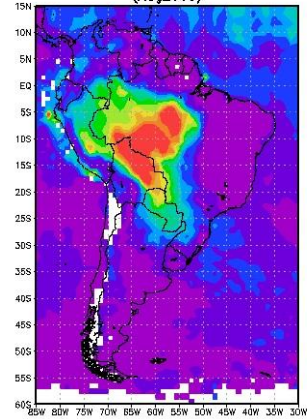


Focos de Queima  
Acumulado de outubro de 2003  
NOAA12 - passagem as 21GMT

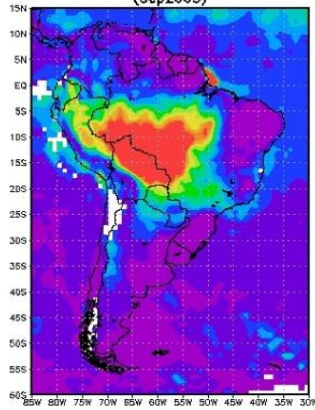


2005

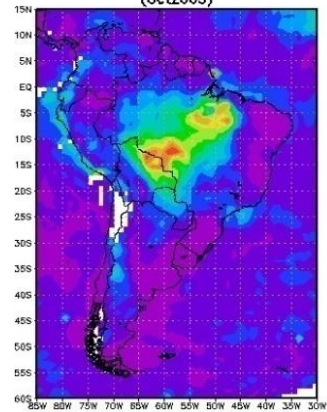
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Aug2005)



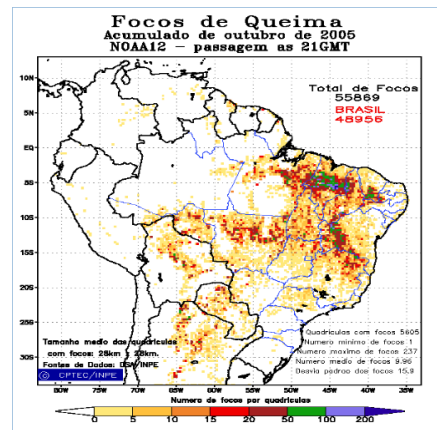
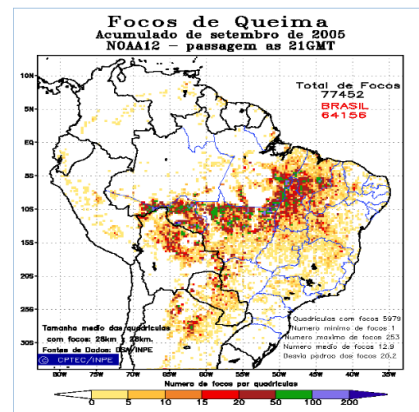
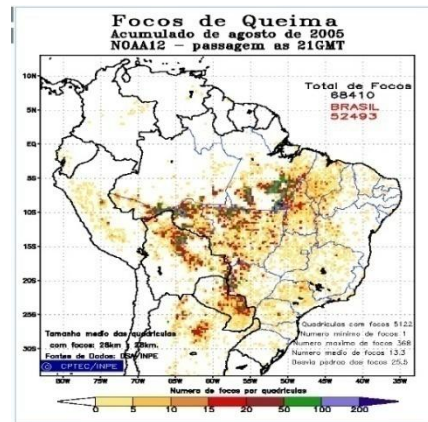
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Sep2005)



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Oct2005)



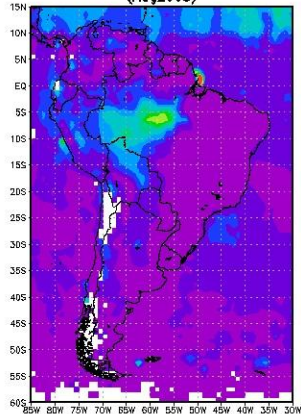
2005



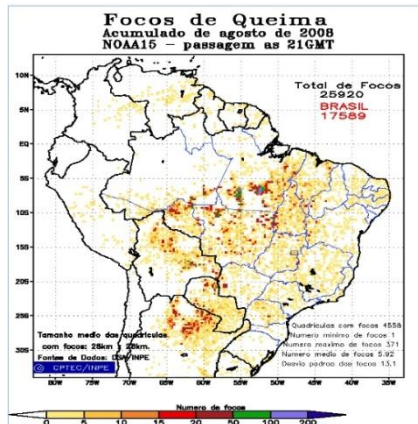


2008

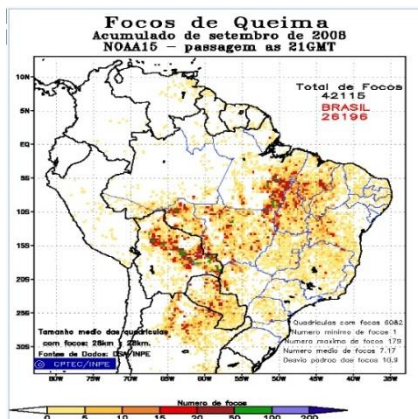
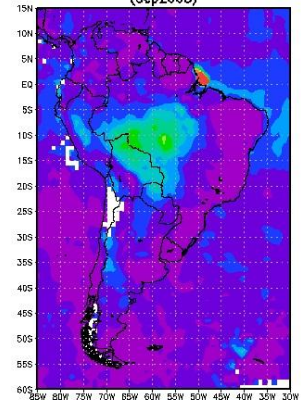
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Aug2008)



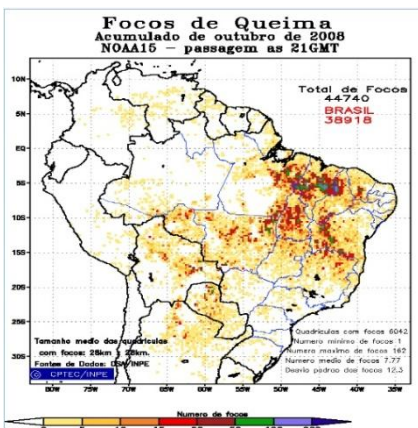
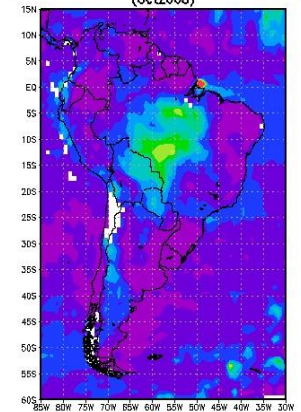
2008



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Sep2008)

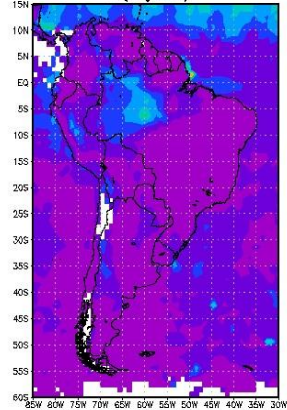


MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless] (Oct2008)



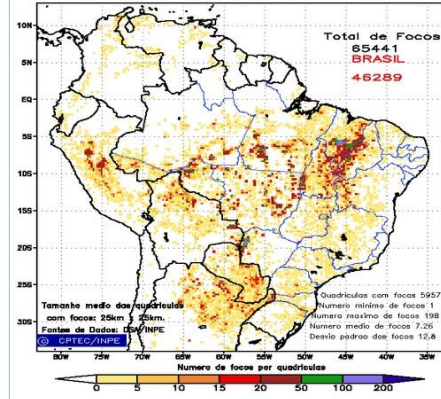
2012

MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Aug2012)

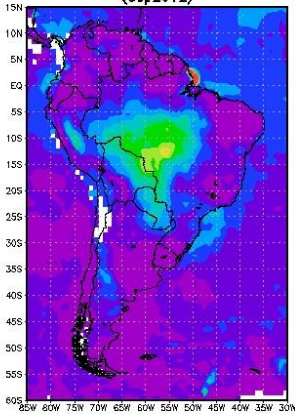


2012

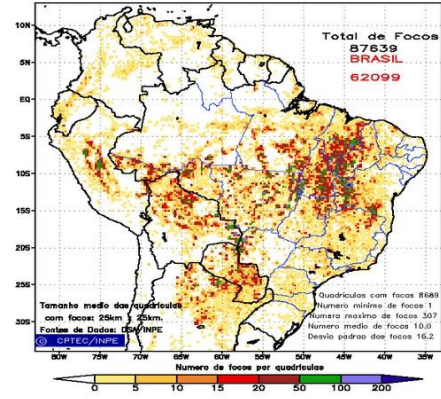
Focos de Queima  
Acumulado de Agosto de 2012  
AQUA M-T - passagem as 17:30 UTC



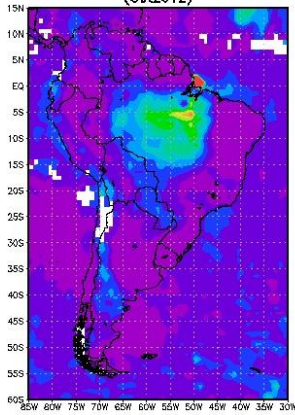
MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Sep2012)



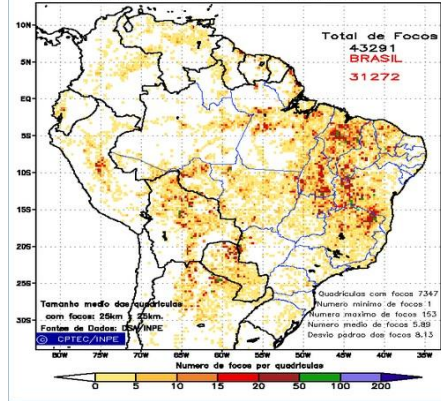
Focos de Queima  
Acumulado de Setembro de 2012  
AQUA M-T - passagem as 17:30 UTC



MOD08\_M3.051 Aerosol Optical Depth at 550 nm [unitless]  
(Oct2012)



Focos de Queima  
Acumulado de Outubro de 2012  
Satelite de Referencia: AQUA M-T



### 3.2 Estudo da relação entre AOD e anomalia de chuva

Análises estatísticas foram feitas e apresentaram uma correlação significativamente negativa nos meses de Agosto a Outubro no período entre 2000-2012, para a região centro-oeste do Brasil, indicando alta concentração de aerossol e baixa taxa de chuva. Os meses restantes apresentaram uma correlação mais fraca e não significativa estatisticamente.

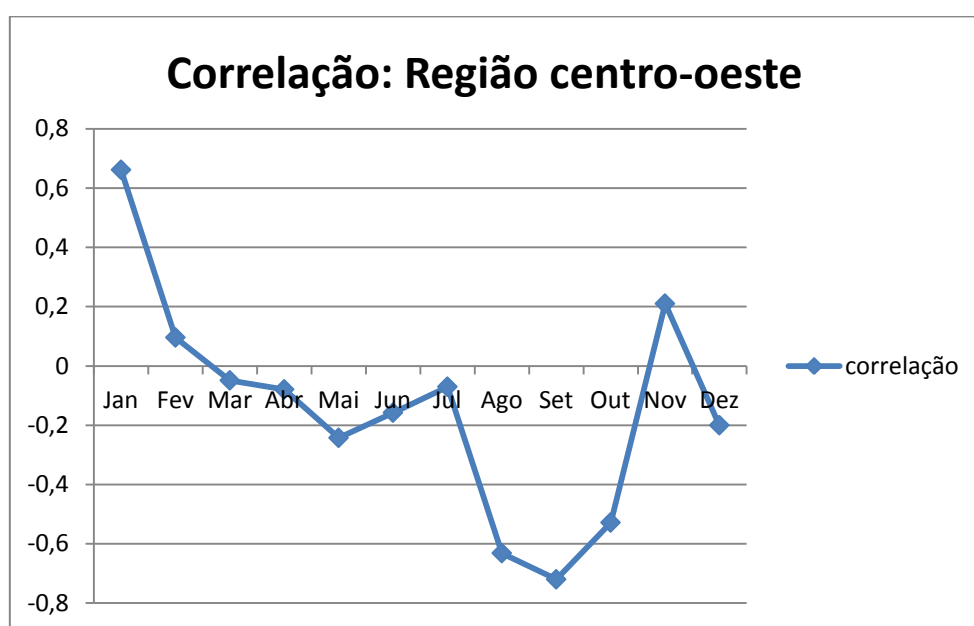


Figura 2 – Correlação entre a quantidade de AOD e a anomalia de precipitação para a região centro-oeste do Brasil.

### 3.3 Relação observada entre anomalia de precipitação e quantidade de aerossóis atmosféricos analisando possíveis influências dos fenômenos El Niño e La Niña

A Figura 3 mostra a média da profundidade óptica do aerossol que aumenta monotonamente com a diminuição da anomalia de chuva, apresentando um coeficiente de correlação negativo numa escala de -1 a 1. Para ambos os meses de Agosto a Outubro o coeficiente de correlação negativo está de acordo, uma vez que a reta é descendente, destacando-se o mês de Setembro, por obter o maior coeficiente de correlação negativo (-0,72).



Foi ainda destacado nestes três gráficos os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño, La Niña além dos anos tidos como neutros. Os pontos em vermelho simbolizam anos de El Niño, os pontos em azul são anos de La Niña e os em preto são anos neutros. A partir destes gráficos, buscou-se analisar se existia alguma interferência destes fenômenos com a intensidade da concentração do aerossol e a precipitação. Foi observado em especial que, em 2005, cuja concentração de aerossol foi bem alta e a precipitação foi baixa, como um possível indicativo de que o aumento da concentração de AOD diminui a precipitação como diz a literatura, uma vez que este ano ficou livre de influência dos fenômenos (ano classificado como Neutro a partir de dados de IOS).

O Índice de Oscilação Sul caracteriza-se por funcionar como uma espécie de “gangorra barométrica” de grande escala observada sobre a Bacia do Pacífico Tropical e ficou definida desta maneira como sendo uma flutuação inversa verificada no campo da pressão ao nível médio do mar nas estações de Darwin (12.4 S – 130.9 E) localizada no norte da Austrália e Tahiti (17.5 S – 149.6 W) situada no Oceano Pacífico Sul. A diferença entre as pressões normalizadas nas estações de Tahiti e Darwin é definida como Índice de Oscilação Sul (IOS). O IOS apresenta valores negativos em anos de El Niño e positivos em anos de La Niña. Abaixo segue uma tabela com a classificação e a intensidade dos fenômenos estudados para os anos de 2000 a 2012.

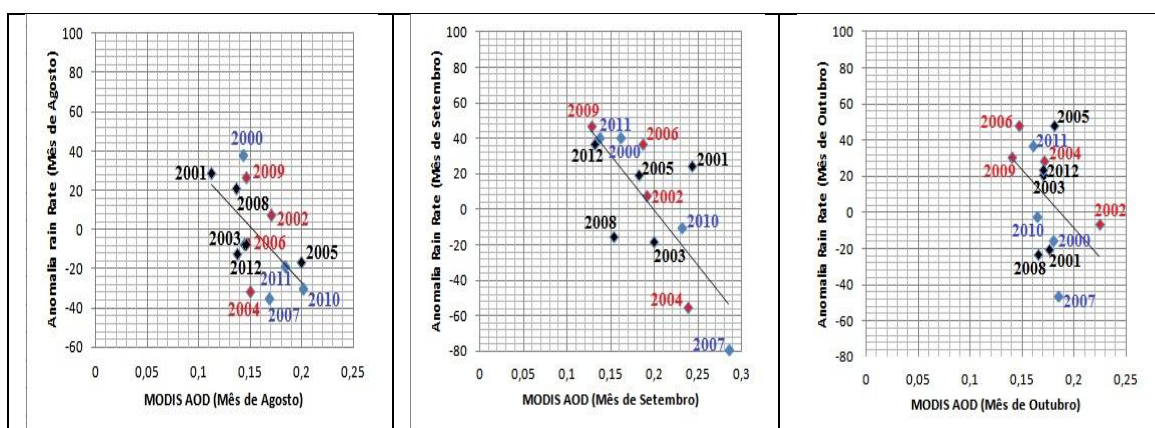


Figura 3 – Relação observada entre a anomalia de precipitação e a quantidade aerossóis atmosféricos para a região centro-oeste do Brasil para os meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2000-2012, destacando os anos de El Niño e La Niña.

Tabela 2: Anos de El Niño, La Niña e Neutro e seus respectivos IOS para os meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2000 a 2012

Ano	JAS	ASO	SON	OND	Classificação	Intensidade
2000	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8	La Niña	fraco
2001	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	Neutro	-----
2002	0,8	0,9	1,2	1,3	El Niño	moderado
2003	0,4	0,4	0,4	0,4	Neutro	-----
2004	0,7	0,8	0,7	0,7	El Niño	fraco
2005	0,1	0,0	-0,2	-0,5	Neutro	-----
2006	0,3	0,5	0,8	1,0	El Niño	fraco
2007	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	La Niña	moderado
2008	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	Neutro	-----
2009	0,6	0,8	1,1	1,4	El Niño	moderado
2010	-1,2	-1,4	-1,5	-1,5	La Niña	forte
2011	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	La Niña	fraco
2012	0,4	0,5	0,6	0,2	Neutro	-----

Fonte: Disponível em

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

(acesso em 28/02/13)

O limite para a classificação da intensidade do El Niño e da La Niña é dividido em fraco (com uma anomalia de TSM entre 0,5 – 0,9), moderada (de 1,0 a 1,4) e forte (maior que 1,5). Recebe essa classificação ultrapassando o limite de, pelo menos, 3 meses.

### **3.4 Estudo da relação entre anomalia de AOD e anomalia de precipitação**

Para os anos de La Niña (2000, 2007, 2010 e 2011), percebe-se que o mês de Agosto é um mês de iminência de aumento de Aerossol Optical Depth (observados principalmente em 2007, 2010 e 2011); com exceção para o ano de 2000, em que ocorre uma diminuição da concentração de AOD. Ao iniciar a estação seca (em Julho) começamos a ter uma diminuição da concentração de AOD e aumento na precipitação. Porém, percebe-se que este aumento na precipitação ganha um grande salto no mês de Julho para o mês de Agosto, não condizendo com o raciocínio de que o aumento da profundidade óptica do aerossol diminui a precipitação para as estações secas, podendo o fenômeno La Niña ter intensificado os efeitos na precipitação.

O ano de 2007 é um dos quais condizem com o raciocínio para a estação seca (Julho – Setembro) sobre o aumento da concentração de AOD diminui a precipitação. Aparentemente a La Niña pode ter intensificado os efeitos de seca para a estação seca e de chuva para a estação chuvosa (Dezembro – Janeiro), pois se verifica um aumento muito grande na precipitação.

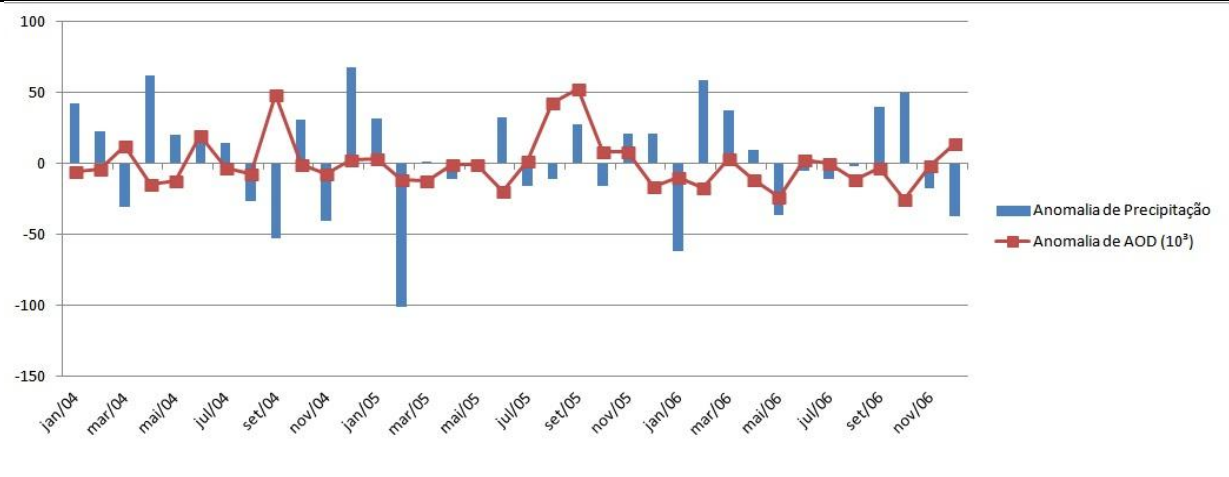
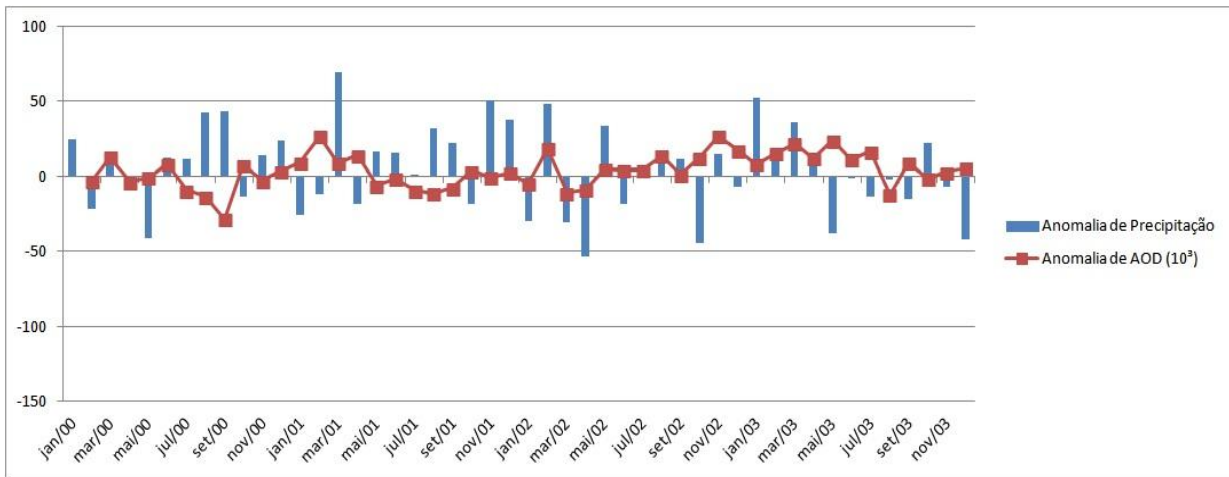
O começo de 2010 vem de resquícios do El Niño de 2009, podendo ser classificado de forte intensidade, considerando os índices de TSM (Temperatura de Superfície do Mar) e, no entanto, temos durante a estação chuvosa, uma baixa anomalia de precipitação e, para a estação seca, verificamos altos índices da anomalia de AOD em compensação, observamos uma baixa anomalia de precipitação.

Nos anos decorrentes do fenômeno El Niño (2002, 2004 e 2006), percebe-se que, ao contrário do que ocorre durante os anos sob influência de La Niña, o mês de Agosto é um mês de iminência de diminuição na concentração do AOD.

Para a precipitação também ocorre o oposto do que ocorre em anos de La Niña para o mês de Agosto: a precipitação aumenta para os anos de 2002 e 2009, mas diminui para os anos de 2004 e 2006.

Observações mostram que 2004 foi um ano parcialmente neutro até meados de Julho quando se torna parcialmente um ano típico de El Niño. É um ano que condiz com o raciocínio para os meses de seca e também podemos ressaltar que foi um ano com quantidade de chuva bastante elevado, podendo o fenômeno ter intensificado o período chuvoso. Já para 2006, no seu decorrer, dando continuidade a um período de La Niña do final do ano anterior, o que pode explicar as baixas taxas de chuva para o período considerado chuvoso (verão – Dezembro a Janeiro). Em seguida, manteve neutralidade até meados de Agosto, tornando sua classificação como sendo de fato El Niño entre Agosto e Setembro, quando começa a se intensificar e obter uma mudança de até 1°C na TSM (Temperatura de Superfície do Mar), podendo explicar assim o aumento da anomalia de precipitação no período de estação seca a partir de Setembro, atingindo um pico em Outubro.

A respeito dos anos classificados como neutros, ocorre algo semelhante ao que ocorre em anos de El Niño para o mês de Agosto. No que diz respeito à concentração de AOD, ocorre uma diminuição em sua concentração para os anos de 2001, 2003, 2008 e 2012, com exceção para o ano de 2005, que ocorre um aumento na concentração de aerossol. Sobre a precipitação, Agosto de 2011 e 2008 sofrem um determinado aumento e um decréscimo para os anos de 2003 e 2012. Verificou-se que 2008 é um ano interessante pelo fato de prosseguir de um ano de La Niña com valores de TSM de até -1,5°C, que diminuem até atingirem neutralidade em Julho (período seco) e, no entanto, como notavelmente percebe-se no gráfico da Figura 4, que, mesmo no início deste ano, sendo predominantemente um ano de La Niña, percebe-se taxas de anomalia de precipitação consideradas relativamente altas, num período que é considerado chuvoso, podendo o fenômeno ter intensificado o período de chuvas e de seca de Julho a Setembro. 2005 é um ano que também condiz com o raciocínio de que o aumento da concentração de AOD diminui a precipitação e funciona perfeitamente para os meses de estação chuvosa. A partir de Julho (início de estação seca), temos uma diminuição da precipitação e o AOD começa a se intensificar. Verificamos um tempo de resposta para os resultados começarem a surgir de Agosto para Setembro, sendo este último, um mês pico positivo.





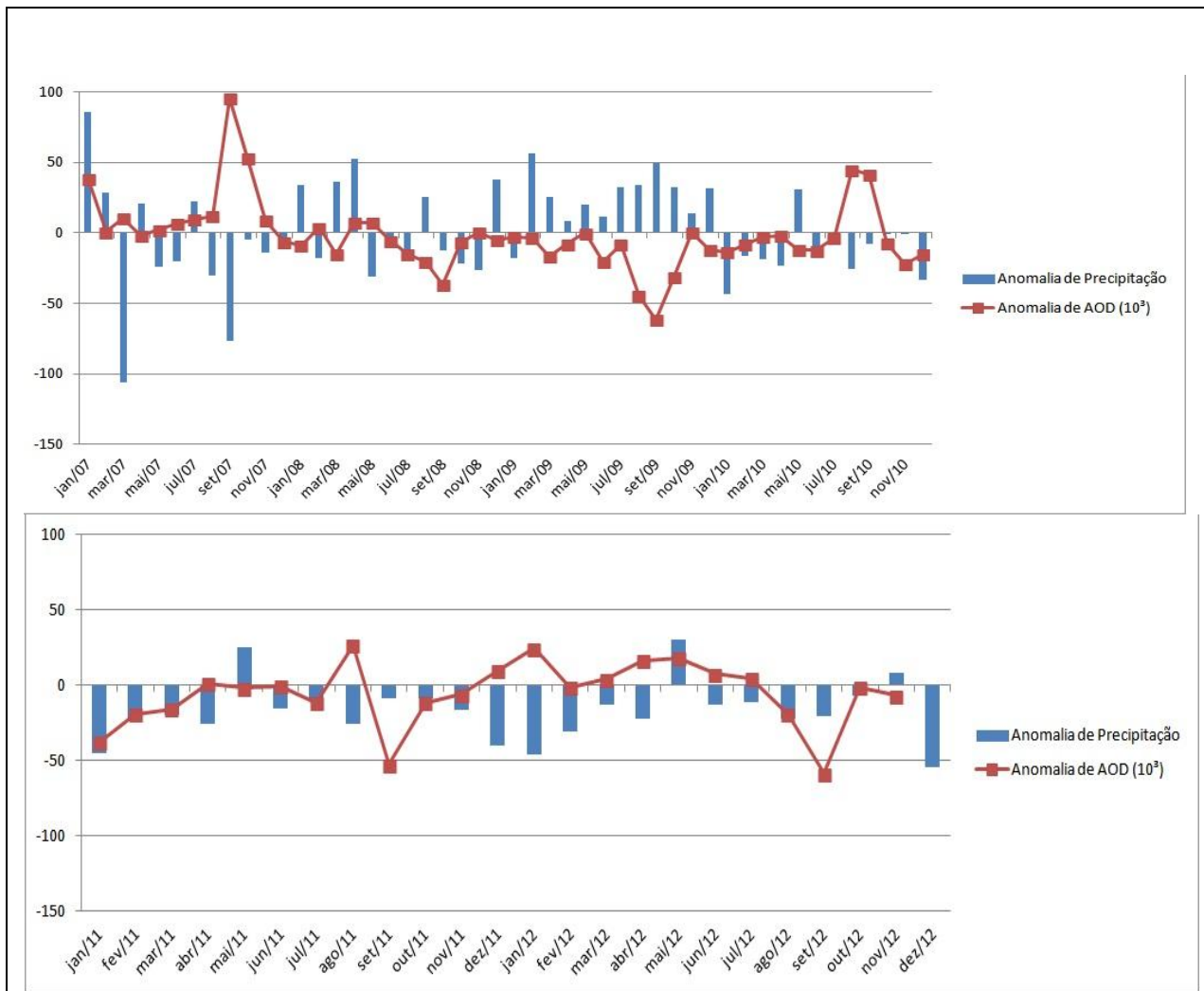


Figura 4 – Anomalias de precipitação e concentração de profundidade óptica do aerossol

#### 4. CONCLUSÕES FINAIS

Com as observações sobre a análise da relação entre anomalias de precipitação e espessura óptica, nota-se uma possível relação da emissão de aerossóis devido às queimadas e o déficit de chuva no período de transição entre a estação seca e estação úmida. Estes resultados estão em plena concordância com aqueles que apresentam na literatura, que diz que a emissão de queimadas na Amazônia desregula a composição da atmosfera e o processo de formação de nuvens (ARTAXO, 2006).

As análises sobre as anomalias da profundidade óptica do aerossol e da precipitação mostraram que num geral o mês de Agosto é sempre um mês de iminência de aumento na concentração de AOD. Verificou-se que, em anos de El Niño e La Niña, ocorre um aumento um pouco mais acentuado na concentração da profundidade óptica do aerossol e um decaimento na taxa de chuva, podendo estes fenômenos terem intensificado o ocorrido. O ano de 2005 destaca-se neste estudo pelo fato de ser um ano que apresenta neutralidade, sem influências dos fenômenos El Niño e La Niña, e condizer com o raciocínio que diz na literatura de que o aumento na concentração de aerossóis aumentam os núcleos de condensação. Neste caso, a quantidade de vapor de água disponível à formação de gotículas de chuva é distribuída para maior número de núcleos de condensação, de modo que as gotas não apresentam tamanho suficiente para precipitar.

A próxima etapa deste trabalho consiste em realizar uma análise espacial da relação da profundidade óptica de aerossol e a precipitação. Adicionalmente, o efeito do aerossol na radiação incidente à precipitação será avaliada.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTAXO, P.; *Efeitos Climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. Revista Brasileira de Meteorologia, p.1-5, 3 abr. 2006.*

PAULIQUEVIS, T; ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; PAIXÃO, M., *O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. Ciência e Cultura, São Paulo, v.59, n.3, p.1-6, set. 2007.*

TORRES, O.; CHEN, Z.; JETHVA, H.; AHN, C.; FREITAS, S. R.; BHARTIA, P. K. *OMI and MODIS observations of the anomalous 2008–2009 Southern Hemisphere biomass seasons. Atmospheric Chemistry and Physics, 16 abr. 2010.*

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L., *Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. Estudos Avançados, São Paulo, v.19, n.53, p.1-7, jan./abr.2005.*

SAMPAIO, G.; *O El Niño e Você, o Fenômeno Climático, Editora Transtec, 1999.*