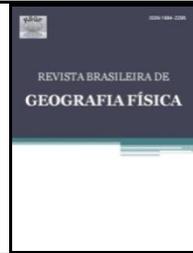




# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## A Transformada em Ondas aplicada a séries de Ozônio Troposférico e Monóxido de Carbono sobre regiões de Pastagem e Floresta a partir de Sondagens AQUA

Jurandir Moura Dutra<sup>1</sup>, Rodrigo Augusto Ferreira de Souza<sup>2</sup>, Júlio Tóta da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor Assistente da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. [jurandir.dutra@gmail.com](mailto:jurandir.dutra@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor Adjunto da Universidade do Estado do Amazonas - UEA. [souzaraf@gmail.com](mailto:souzaraf@gmail.com)

<sup>3</sup>Professor Adjunto da Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA. [totaju@gmail.com](mailto:totaju@gmail.com)

Artigo recebido em 13/02/2013 e aceite em 27/05/2013

### RESUMO

Relações entre estimativas de ozônio ( $O_3$ ) troposférico associado a monóxido de carbono (CO) foram estudadas através de análises observacionais da plataforma AQUA para o período de 2004 a 2009. O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade das concentrações de  $O_3$  troposférico e as relações com a variabilidade das concentrações de CO. Foram estudadas duas áreas de um quadrado medindo  $5^\circ \times 5^\circ$ , sendo o primeiro centrado sobre a cidade de Sinop – MT, denominado de região de pastagem e o segundo sobre as coordenadas geográficas  $2,5^\circ$  de latitude sul e  $60^\circ$  de longitude oeste, próximo a sede do município de Tefé-AM, denominado região de floresta. As análises de coerência e fase entre as séries de CO e  $O_3$ , queimadas e CO e queimadas e  $O_3$  sugerem uma relação moderada a forte entre as variáveis para diferentes escalas temporais. Para uma escala de tempo de 0,25 anos a 1ano (três meses a um ano) o fluxo de CO precede o fluxo de  $O_3$  sem diferença de fase para todos os anos da série, sugerindo que incrementando as concentrações de CO há incremento imediato de  $O_3$ . Quando cruzadas as séries de queimadas com as séries de CO, observou-se significância estatística apenas para o nível de 850 mb e uma forte relação de dependência para a mesma escala de tempo apenas para a região de pastagem. No cruzamento das séries de queimadas e  $O_3$  encontrou-se relevância apenas para o nível de 500 mb e somente na paisagem de pastagem.

**Palavras-chave:** Ozônio troposférico, monóxido de carbono, queimadas, sondagem AQUA

## The Wavelet Transform is applied to a series of Tropospheric Ozone and Carbon Monoxide on regions of Grassland and Forest soundings from AQUA

### ABSTRACT

Relationships between the estimates of tropospheric ozone ( $O_3$ ) and carbon monoxide (CO) were studied using observational analysis from the AQUA platform from 2003 to 2010. The objective of this research was to study the variability of tropospheric  $O_3$  concentration and its relationship with the variability of CO concentration. It was studied two areas (square of  $5^\circ \times 5^\circ$ ), the first area is a pasture located in Sinop–MT, and the second one is a primary forest close to Tefé-AM ( $2.5^\circ$  S  $60^\circ$  W). Analyses of coherence and phase between series of CO and  $O_3$ , CO and fires, and  $O_3$  and fires suggest a moderate to strong relationship between the variables for different time scales. For a time scale from 0.25 year to one year (three months to one year), the flux of CO first occurs that  $O_3$  flux with no phase difference for all years of the study, which suggests that the increasing of CO concentrations causes increasing of  $O_3$ . The relationship of fires and CO was statistically significant only for the level of 850 mb and a strong dependent relationship, for the same time scale, only for pasture area. The relationship of fires and  $O_3$  was statistically significant only for the level of 500 mb and only for pasture area.

**Key words:** Tropospheric ozone, carbon monoxide, fires, AQUA sounding

## Introdução

O ozônio é um alótropo do oxigênio formado, na estratosfera, pela reação fotoquímica entre a radiação ultravioleta e uma molécula de gás oxigênio ( $O_2$ ). Devido a sua instabilidade, esse processo não catalítico e insistente à presença de luz, forma e destrói ozônio, protegendo os seres humanos de seus efeitos nocivos à saúde e da fitotoxicidade às lavouras. Na troposfera a formação e extinção de ozônio ocorrem a partir do lançamento de precursores. Parte da radiação ultravioleta atravessa a coluna atmosférica atingindo a camada mais próxima à superfície. Essa radiação em contato com o CO,  $NO_x$ , vapor d'água e/ou hidrocarbonetos, como o isopreno ( $C_5H_8$ ), estimula a quebra dessas substâncias químicas e produz ozônio (LOGAN et al., 1981; LOGAN, 1985; TREBS et al., 2012.).

O CO é um importante indicador das atividades humanas, estando associado diretamente às mudanças de uso da terra, pois seu lançamento na atmosfera decorre, principalmente, da queima de biomassa como mecanismo de preparação da terra para a agricultura ou pecuária intensiva ou de subsistência, e da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia como resultado das atividades humanas em regiões sob forte processo de urbanização (KIRCHHOFF, 1996, HOOGHMISTRA, et al., 2012).

No Brasil, as queimadas são práticas recorrentes. Durante o inverno austral, conhecidamente a estação seca, na região do cerrado, sul e leste da Amazônia iniciam-se os eventos de queima de biomassa. O CO lançado influenciará não somente o ambiente local, mas provavelmente será transportado para outras regiões do Brasil. Há estudos e evidências indicando que os gases gerados em regiões de forte queima de biomassa são transportados, via circulação atmosférica, para outras regiões do país (LONGO et al., 1999; AIRES & KIRCHHOFF, 2001, HUANG et al., 2012; LIVESEY et al., 2013). Mas, esse fenômeno tem sua própria dinâmica. Enquanto o máximo de focos é notado nos meses de agosto e setembro para o Brasil Central, o ápice dessas observações será registrado em outubro e novembro na região

leste do estado do Pará e adjacências. Entre tantos malefícios ao meio, as queimadas liberam grandes quantidades de CO que em contato com outras espécies químicas favorecem a produção de ozônio. Diversas campanhas realizadas por aeronaves ou radiossondas mediram, em sítios e tempos diferentes, as concentrações de CO e  $O_3$  na troposfera. Esses experimentos convalidaram a hipótese de que as mudanças de uso da terra, associadas às queimas de biomassa, elevam as concentrações de  $O_3$ . Portanto, o aumento nas concentrações de CO incrementa as concentrações de  $O_3$  (KIRCHHOFF, 1996; BOIAN, et al., 2006; ARMENTERAS, 2012).

Os sensores orbitais de última geração permitiram monitorar a concentração de gases, em grande escala, a partir de informações de satélites ambientais. Nos últimos anos os esforços foram concentrados no desenvolvimento de sistemas de sondagem com alta resolução espectral. Nesse cenário surge o “*Atmospheric Infrared Sounder*” – *AIRS*. O *AIRS* foi o primeiro sondador avançado, com 2378 canais que operam no infravermelho próximo. Lançado em maio de 2002 a bordo da plataforma *AQUA*, já representou o avanço mais importante na tecnologia de sensoriamento remoto por satélites (AUMANN et al., 2003). Essa ferramenta tem cobertura global e oferece, publicamente, informações da composição atmosférica e atributos da superfície.

Suas variáveis têm sido comumente validadas, pois diversos trabalhos tem buscado avaliar a qualidade de suas estimativas (GETTELMAN et al., 2004; BIAN et al., 2007). Recentemente, um estudo de avaliação da qualidade das estimativas do perfil de ozônio, cujas medidas foram extraídas por radiossondagem e comparadas com as estimativas da versão 5, constatou que o viés não ultrapassou 20%, embora tenha apresentado variação de comportamento para outros sítios. Entretanto, concluiu-se sobremaneira, que a principal vantagem dessa tecnologia é a capacidade de estabelecer tendências e padrões de sazonalidade (DIVAKARLA et al., 2008).

Por tudo isso, espera-se que esse trabalho elaborado a partir das estimativas de satélites – sensor *AIRS* – seja capaz de

contribuir para um melhor entendimento nas análises de coerência e fase da transformada da ondeleta nas relações entre as concentrações de monóxido de carbono e ozônio troposférico na atmosfera.

### Material e Métodos

O presente trabalho compreendeu a análise em duas regiões distintas do Brasil, cujas realidades apresentam impactos diversificados em relação ao uso da terra. Foi estudada uma área quadrada de 5°x5° no cerrado brasileiro, centrada sobre a cidade de Sinop-MT (11° S e 56° W), aqui denominada de região de pastagem, e outra área quadrada de 5°x5° na Amazônia Ocidental, cujo centro está localizado nas coordenadas geográficas (2,5° S e 66° W), definida como região de floresta, com o intuito de encontrar resultados associados para cada paisagem específica: zona de pecuária ou agricultura intensiva e floresta tropical.

A região de floresta, delimitada no estudo, apresenta elevados índices de precipitação anual - em torno de 2800 mm - com estação seca definida, mas com pequena amplitude. A densidade populacional é pouco expressiva e não ultrapassa 3 hab/km<sup>2</sup>. O clima é tropical úmido com elevadas temperaturas e altas taxas de umidade durante todo o ano. A região de pastagem é ativa contribuinte dos episódios de queima de biomassa, pertencente ao arco do desmatamento, na fronteira agrícola. O clima é o tropical semiúmido, com precipitação média em torno de 1900 mm anuais, estação seca muito bem definida e elevada amplitude (FISH 1990; FISH et al. 1998; MARENGO, 1992). O município de Sinop (11° S e 56° W) é o centro do quadrado, possui uma área de 3.194 km<sup>2</sup> e uma população de aproximadamente 110.000 habitantes (IBGE,2010). O setor agropecuário é considerado a sua principal atividade econômica, com destaque para o cultivo de grãos (soja, milho e arroz), mas também há forte desenvolvimento de atividades pecuaristas (bovinos e suínos), além da presença da indústria, sobretudo, a madeireira.

A metodologia deste trabalho baseou-se em métodos matemáticos e estatísticos. Inicialmente foram analisadas as séries de

concentração de gases (O<sub>3</sub> e CO) estimadas pelo sistema de sondagem AQUA (versão 5), sobre a região de floresta e pastagem, para dois diferentes níveis de pressão na troposfera (500 mb e 850 mb). As concentrações diárias de O<sub>3</sub> e CO nos dois níveis de pressão foram obtidas a partir da média sobre cada uma das áreas de estudo, considerando também uma média na vertical, extraíndo-a de cinco níveis de pressão, sendo dois imediatamente acima e dois abaixo, cujo centro foi o nível desejado. Os dados preliminares foram obtidos no portal da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA.

A fim de ler os arquivos com extensão HDF disponibilizados no portal da NASA utilizou-se o software MATLAB 7.6, versão 2008, como um instrumento de leitura e análise matriciais. As séries temporais diárias compõem um vetor equivalente ao número de dias para o período. Entretanto, em razão da cobertura remota não atingir todos os pontos de grade da área de estudo diariamente, algumas linhas (dias) do vetor não receberam dados. A fim de solucionar essa questão, essas lacunas foram preenchidas obtendo-se a média aritmética simples dos dados das linhas imediatamente anterior e posterior. Assim, para a região de floresta e pastagem foram interpolados cerca de 14% dos dados da série temporal para complementar a dimensão da série histórica, nos dias em que o satélite não cobriu nenhum ponto da área de estudo. Em seguida, para compor a escala de variabilidade foram extraídas as séries de anomalias diárias dos gases, baseada na climatologia do período. Da mesma forma, da série diária de focos de queimadas, extraídas do portal do INPE, foram obtidas também, as séries de anomalias diárias.

Foram, então, cruzadas as séries de anomalias diárias entre as concentrações de ozônio e monóxido de carbono sobre as duas áreas de estudo para o período compreendido entre 2004 a 2009. Além disso, foram cruzadas também, as séries de anomalias diárias de queimadas para o mesmo período com as séries de anomalias dos gases citados.

Esse cruzamento ocorreu com o propósito de analisar as relações entre as séries temporais de CO, O<sub>3</sub> e focos de queimadas. Para isso foram realizadas as

análises de coerência e fase, aplicada à Transformada de Ondeleta (TORRENCE & COMPO, 1998). Neste caso, a técnica foi aplicada às séries de anomalias de queimadas, O<sub>3</sub> e CO para cada área de estudo nos dois níveis de pressão. Especificamente, a análise de coerência da ondeleta é usada para quantificar o grau de relação linear entre duas séries temporais não estacionárias no domínio da frequência e do tempo, de forma a determinar, por exemplo, se a presença de particular frequência dominante em um determinado período de tempo na série de O<sub>3</sub> corresponde à presença daquela mesma frequência, no mesmo intervalo de tempo, para a série de CO ou de queimadas.

Por outro lado, a análise de fase do espectro cruzado da ondeleta pode determinar o tempo de separação (defasagem) entre as duas séries analisadas. Assim as análises de coerência e fase da ondeleta foram realizadas para investigar as relações entre as séries de anomalias de O<sub>3</sub> e as séries temporais de anomalias de outras variáveis (CO e queimadas). Desta forma, foi possível identificar as bandas de frequência e intervalos de tempo dentro dos quais as séries temporais de O<sub>3</sub>, de CO e/ou queimadas estão relacionadas.

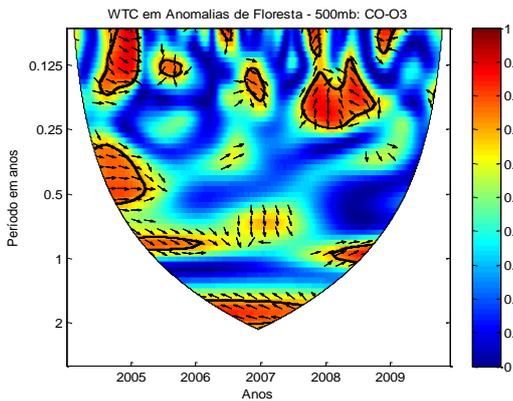
### Resultados e discussões

A análise dos padrões de variabilidade associando os gases (CO com O<sub>3</sub>), Queimadas com CO e Queimadas com O<sub>3</sub>, foi estudada. Para isso, a análise de coerência e fase foi realizada com o propósito de identificar as escalas de tempo em que as variáveis apresentam maior relação entre si. Dessa forma, análises de coerência e fase entre as concentrações de CO e O<sub>3</sub>, entre os focos de queimadas e CO e também, entre focos de queimadas e O<sub>3</sub> foram realizadas para cada nível de pressão da série de gases.

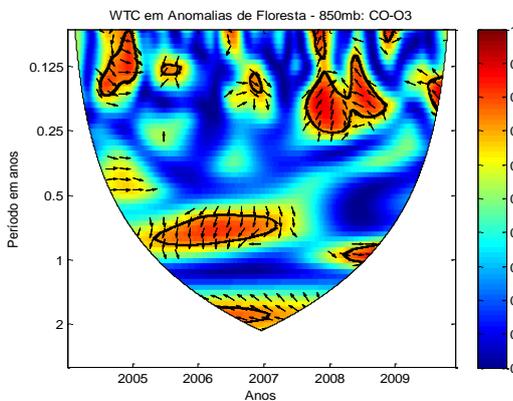
Vale ressaltar que, baixos valores de coerência entre as séries é um indicativo de que as variabilidades entre elas são independentes. Por outro lado, elevados valores de coerência, perceptíveis em certas frequências e períodos, indicam que as séries apresentam variações na mesma frequência. Nesses períodos e escalas, as séries entre gases (CO e O<sub>3</sub>) e entre focos de queimadas e

gases (CO e O<sub>3</sub>) podem relacionar-se, com maior ou menor intensidade. A análise da fase ou defasagem entre as séries fornecem uma melhor caracterização da relação entre elas, sendo ilustrada nas figuras por uso de setas. Quando as setas apontam para a direita, as séries estão em fase; para a esquerda, as séries estão fora de fase de até 180 graus; para baixo, a série de CO ou de queimadas está antecedendo a da série de gases (CO e O<sub>3</sub>) em até 90 graus; e para cima precedendo.

Seguindo essa terminologia e as análises para os dois níveis de pressão, sobre a região de floresta, as Figuras 1 e 2 exibem as relações entre a série temporal de CO com a série temporal de O<sub>3</sub>. Para o nível de 500 mb (Figura 1) foi notada uma relação significativa entre o CO e O<sub>3</sub> em diferentes escalas de tempo. Na escala diária (até 90 dias) coerência significativa, nos anos de 2004, 2005 e 2007 indicam forte relação entre as séries de CO e O<sub>3</sub>, com uma defasagem em torno de 6 a 10 dias. Para a escala sazonal, valores significativos de coerência foram encontrados para o ano de 2005. Consistente com resultados anteriores, a relação entre CO e O<sub>3</sub> na escala sazonal está praticamente em fase. Para escalas maiores que um ano, coerência significativa foi observada nos anos de 2005, 2006 e 2008. O mesmo comportamento é notado para o nível de 850 mb (Figura 2), exceto para a escala temporal entre 6 meses e 1 ano onde há uma forte relação de dependência das séries para os anos de 2005, 2006 e 2007. De maneira geral, nesse nível, coerências significativas são distribuídas durante todo o período de estudo, nas diversas escalas de tempo analisadas similar ao que ocorre para o nível de 500 mb.



**Figura 1** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de CO e O<sub>3</sub>, no nível de 500 mb para a região de floresta.



**Figura 2** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de CO e O<sub>3</sub>, no nível de 850 mb para a região de floresta.

As relações entre as variações na concentração de CO e O<sub>3</sub> sobre uma região de pastagem para os dois níveis são apresentadas nas Figuras 3 e 4. No nível de 500 mb (Figura 3) para uma escala de tempo de 3 meses a 1 ano, as séries apresentam grande relação de dependência para todos os anos. Particularmente, na escala sazonal (3 meses) valores significativos de coerência são evidentes nos anos de 2004, 2006 e 2008. Para todas as escalas a série de CO está praticamente em fase com a série temporal de O<sub>3</sub>. Para o nível de 850 mb (Figuras 4), um comportamento similar é notado para todas as escalas e período de estudo.

Assim, para os dois níveis de pressão (Figura 3 e 4) considerando uma escala de

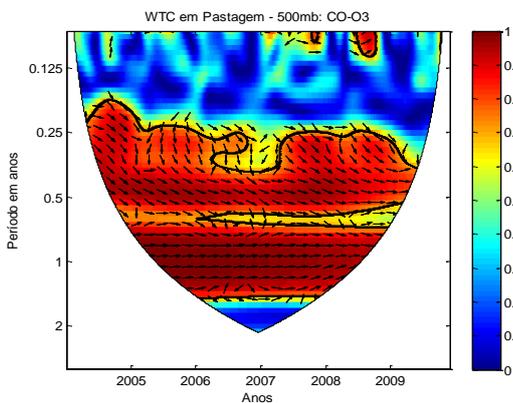
tempo que varia de 3 meses a 1 ano as relações são significativas e se apresentam em fase. Além disso, quando comparamos essas análises em relação às análises sobre as regiões de floresta, nota-se uma relação mais significativa sobre a pastagem. Isso pode estar associado ao fato de que as queimadas são mais frequentes sobre paisagem.

Essas relações entre as concentrações de CO e O<sub>3</sub> e a dinâmica das queimadas, para o período de 2004 a 2009, foram estudadas em dois níveis de pressão e em duas regiões distintas, usando técnicas estatísticas de análise exploratória de dados e análises de séries temporais. Os resultados obtidos nas análises das concentrações de gases sugerem que os incrementos de O<sub>3</sub> observados sobre as regiões do estudo acompanham o aumento das concentrações de CO, em conformidade com trabalhos anteriores (KIRCHHOFF 1988; 1990; 1996). Os comportamentos dos gases nos dois níveis estudados estão em consonância com os seus respectivos perfis atmosféricos. O O<sub>3</sub> apresenta uma função inversa com a pressão atmosférica, enquanto o CO apresenta uma relação direta.

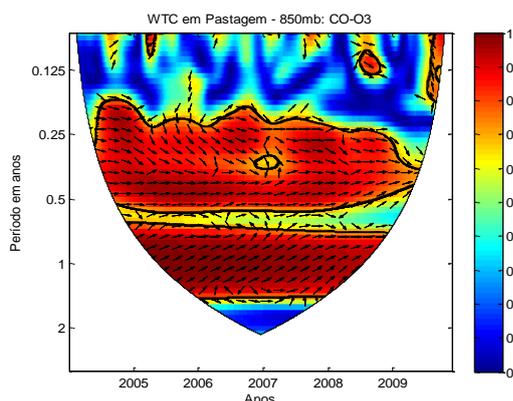
Durante a estação seca, os episódios de queima são observados com maior frequência e o salto no volume de focos acompanha o incremento nas concentrações de CO e conseqüente de O<sub>3</sub>. Contudo, suas dinâmicas têm temporalidades diferentes, pois o máximo de focos é observado nos meses de agosto e setembro no Brasil Central, enquanto que no leste da Amazônia e parte oeste da região Nordeste, o máximo é registrado nos meses de outubro e novembro (KIRCHHOFF, 1996; BOIAN, 2006; HOOGHIEMSTRA, et al., 2012).

O maior número de focos de queimadas ocorre na região de pastagem, onde a produção agrícola e agropecuária é intensiva. As práticas e os mecanismos que facilitam as mudanças de uso da terra são fundamentalmente responsáveis pelas alterações nas concentrações de precursores de O<sub>3</sub> (MOURA et al, 2004). Atividades humanas associadas ao processo de urbanização, também, tem sua parcela de contribuição originada na queima de combustíveis fósseis, contribuindo com o aumento da poluição atmosférica.

As análises de coerência e fase entre as séries de CO e O<sub>3</sub> sugerem uma relação significativa para todas as regiões estudadas. A mais forte dependência foi observada para a região de pastagem, em escala temporal de 3 meses a um ano, para os anos de 2005 a 2009 e também, para um período de tempo menor que 0,3 anos para o ano de 2004. Na região de floresta, para um período de tempo entre 0,5 a 1 ano há uma forte dependência para os anos de 2005 a 2007 e numa escala de tempo menor – 45 dias a 0,4 anos – essa forte relação revela-se para os anos de 2007 e 2008.



**Figura 3** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de CO e O<sub>3</sub>, no nível de 500 mb para a região de pastagem.



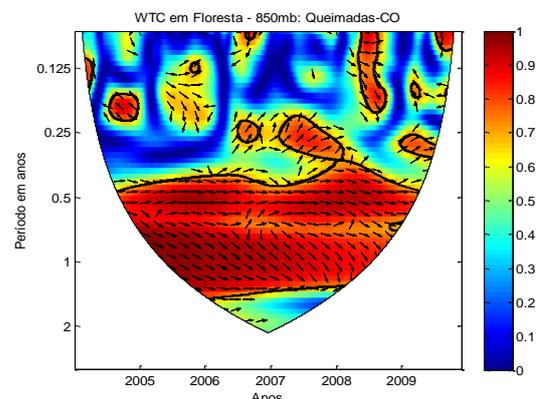
**Figura 4** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de CO e O<sub>3</sub>, no nível de 850 mb para a região de pastagem.

Contudo, a fim de se investigar melhor essa relação, as análises a seguir mostram os resultados sobre a relação entre focos de queimadas e CO para o nível de 850mb, para

*Dutra, J. M.; Souza, R. A. F.; Silva, J. T.*

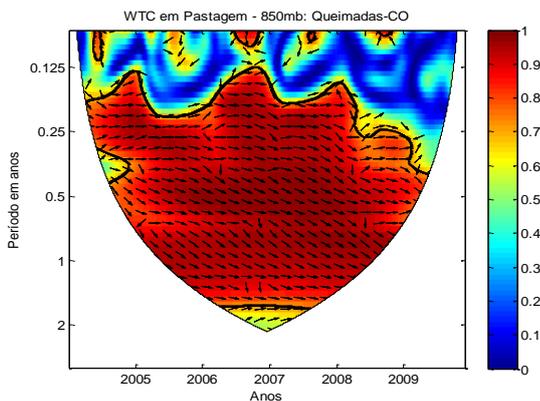
as duas regiões de estudo: floresta e pastagem. O cruzamento apresentou-se interessante para essas duas séries apenas nesse nível, provavelmente porque as concentrações de CO são maiores quando próximas a superfície, de acordo com o perfil atmosférico desse gás, sendo diretamente proporcional às de queimadas. Da mesma forma, mas em sentido inversamente proporcional, obtém-se as mais fortes relações no cruzamento das séries de queimadas e O<sub>3</sub> apenas no nível de 500mb para a região de pastagem, consoante o perfil atmosférico do gás e a expressiva observação de focos de queimadas nessa paisagem.

As Figuras (5 e 6) apresentam os resultados das análises de coerência e fase entre as séries de focos de queimadas e CO, sobre as regiões de floresta e pastagem, no nível de 850mb. Sobre região de floresta (Figura 5) são notados valores significativos de coerência para a escala temporal semianual e anual (6 meses a um ano). Em relação à defasagem, para a escala semianual as variações ocorrem praticamente em fase, enquanto para a escala anual a série de queimadas permanece adiantada em até 45 graus em relação à de CO o que equivale à aproximadamente 45 dias. Ainda é notável uma relação significativa entre as séries para o ano de 2005 em uma escala de tempo entre 1,5 meses e 3 meses com a mesma defasagem apresentada para o mesmo período em escala superior de tempo a 3 meses



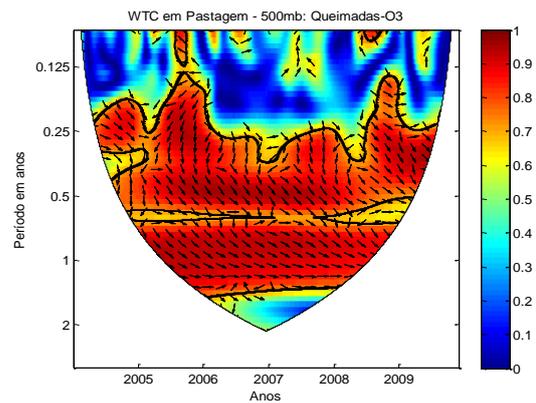
**Figura 5** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de queimadas e CO, no nível de 850 mb para a região de floresta.

Sobre a pastagem (Figura 6) valores significativos de coerência são encontrados desde a escala de 2 meses até 2 anos. A série de focos de queimadas ligeiramente adiantada em relação à série de CO. Por outro lado, somente para o ano de 2009, a relação de dependência é menos significativa que os demais anos, mas mesmo assim, apenas para um escala de tempo inferior a 6 meses.



**Figura 6** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de queimadas e CO, no nível de 850 mb para a região de pastagem.

A Figura 7 apresenta a coerência e fase entre as relações de queimadas e O<sub>3</sub> para o nível de 500 mb, na região de pastagem. Apenas essa região e nesse nível de pressão, os resultados da análise apresentaram significância estatística entre essas duas séries. Esse fato pode ter ocorrido porque os focos de queimadas são mais frequentes nessa região. A série de queimadas está adiantada em até 90 graus em relação à série de O<sub>3</sub> para todos os anos em uma escala de tempo que varia de 3 meses a 1,5 anos. Para uma escala de tempo próxima a 4 meses, a dependência foi relativamente menor. Não houve significância estatística para uma escala de tempo inferior a 3 meses em nenhum ano da série.



**Figura 7** - Coerência (hachuras do azul ao vermelho, de acordo com a escala de valores) e diferença de fase da ondeleta (em setas) entre as séries de anomalias de queimadas e O<sub>3</sub>, no nível de 500 mb para a região de pastagem

### Conclusões

A relação entre as séries de queimadas e CO mostrou, novamente, a mais forte relação de dependência entre as séries, para uma escala de tempo superior a 3 meses e inferior a 1,5 anos para todos os anos. Para a região de floresta, a forte dependência apresentou-se numa escala de tempo entre 0,5 anos e 1,5 ano, para todos os anos. Entretanto, só foi detectada significância entre as séries no nível de 850 mb.

Na análise de coerência e fase entre as séries de queimadas e O<sub>3</sub> foi detectada significância estatística apenas para a região de pastagem e somente no nível de 500 mb. Esse fato pode estar associado ao nível de maior concentração deste gás e ao maior número de focos de queimadas nessa região. Essa relação de forte dependência, ocorreu em todos os anos da série, em uma escala de tempo de 3 meses a 1,5 anos.

Ainda uma característica notável nas análises de coerência e fase entre as séries de anomalias de CO e O<sub>3</sub>, entre queimadas e CO ou queimadas e O<sub>3</sub> foi a relação entre essas variáveis em diferentes escalas de tempo e entre elas a escala de tempo interanual. Para essa escala de tempo, os eventos de ENOS desempenham um papel fundamental na variabilidade climática do Brasil. Esses eventos de ENOS associados às variações nos episódios de queimadas sugerem que as

variações climáticas podem afetar as concentrações desses gases. Neste contexto, as sondagens do satélite ambiental AQUA podem desempenhar um papel importante no monitoramento de áreas submetidas a condições ambientais favoráveis para formação de O<sub>3</sub>.

Sintetizando, os resultados sugerem que há significativa relação entre CO e O<sub>3</sub> em diferentes escalas de tempo. Em concordância com estudos anteriores, estes resultados mostram maior relação sobre a região de pastagem, que pode estar associado ao maior número de queimadas na região (AIRES & KIRCHHOFF 2001).

Finalmente, estimativas remotas da concentração de gases traço podem auxiliar modelos de qualidade do ar, tanto na metodologia como na definição das condições de contorno e fronteira nas regiões estudadas, uma vez que os padrões e as tendências são consistentes (DIVAKARLA et al, 2008).

#### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA; a Universidade do Estado do Amazonas – UEA; ao Projeto LBA; ao Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente; e a CAPES, pelo apoio técnico, financeiro e acadêmico que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa.

#### **Referências**

Aires, C.B.; Kirchhoff, V.W.J.H. (2001). Transporte de monóxido de carbono gerado em queimadas para regiões onde não se queima. *Brazilian Journal of Geophysics*. Vol. 19(1).

Armenteras, D.; Retana, J. (2012). Dynamics, Patterns and Causes of Fires in Northwestern Amazonia. *Plos One*. Vol. 7, issue 4, e35288.

Aumann, H.H.; Chahine, M.T.; Gautier, C.; Goldberg, M.D.; Kalnay, E.; McMillin, L.M.; Revercomb, H.; Rosenkranz, P.W.; Smith, W.L.; Staelin, D.H.; Strow, L.L.; Susskind, J. (2003). AIRS/AMSU/HSB on the Aqua mission: design, science objectives, data products, and processing systems. *IEEE*

*Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41: 253-264.

Bian, J.; Gettelman, A.; Chen, H.; Pan, L.L. (2007). Validation of satellite ozone profile using Beijing ozonesonde data. *Journal Geophysical Research*. 112: D06305.

Boian, C.; Kirchhoff, V.W.J.; Munger, J.W.; Saleska, S.R.; Wofsy, S.C. (2006). Very High Mixing Ratios at a Primary Forest Site. *Revista Brasileira de Meteorologia*. V. 21, n. 3a, 20-28.

Divakarla, M.; Barnet, C.; Goldberg, M.; Maddy, E.; Irion, F.; Newchurch, M.; Xingpin, L.; Wolf, W.; Flynn, L.; Labow, G.; Xiaozhen, X.; Jennifer, W.; Lihang, Z. (2008). Evaluation of Atmospheric Infrared Sounder ozone profiles and total ozone retrievals with matched ozonesonde measurements, ECMWF ozone data, and Ozone Monitoring Instrument retrievals. *Journal of Geophysical Research*. 113: D15.

Fisch, G. (1990). Climatic aspects of the Amazonia tropical forests. *Acta Amazonica*. 20: 39-48.

Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. (1998). Uma revisão geral do clima da Amazônia. *Acta Amazonica*. 28(2): 101-126.

Hooghiemstra, P.B.; Krol, M.C.; Leeuwen, T.T.; Werf, G.R. Novelli, P.C.; Deeter, M.N.; Aben, I.; Röckmann, T. (2012). Interannual variability of carbon monoxide emission estimates over South America from 2006 to 2010. *Journal Geophysical Research*, 117, D15308.

Huang, L.; Fu, R.; Jiang, J.H.; Wright, J.S.; Luo, M. (2012). Geographic and seasonal distributions of CO transport pathways and their roles in determining CO centers in the upper troposphere. *Atmospheric Chemistry Physics*, 12, 4683–4698.

IBGE, 2010. Rio de Janeiro: IBGE-CIDADES. Disponível em <http://www.ibge.org.br>. Acesso em 18/07/2011.

INPE, 2011. Monitoramento de Queimadas por Satélites – Combinação de todos. 2004-2009. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. Acesso em 12/09/2010.

Kirchhoff, V.W.J.H. (1988). Surface Ozone Measurements in Amazonia. *Journal Geophysical Research*. 93: 1469-1476.

Kirchhoff, V.W.J.H.; Marinho, E.V.A. (1990). Surface Carbon Monoxide Measurements in Amazonia. *Journal Geophysical Research*. 95: 16.933-16.943.

Kirchhoff, V.W.J.H. (1996). Increasing concentrations of CO and O<sub>3</sub> rising deforestation rates and increasing tropospheric carbon monoxide and ozone in Amazonia. *Environmental Science and Pollution Research*. 3: 210-212.

Livesey, N.J.; Logan, J.A.; Santee, M.L.; Waters, J.W.; Doherty, R.M.; Read, W.G.; Froidevaux, L.; Jiang, J.H. (2013). Interrelated variations of O<sub>3</sub>, CO and deep convection in the tropical/subtropical upper troposphere observed by the Aura Microwave Limb Sounder (MLS) during 2004–2011. *Atmospheric Chemistry Physics*, 13, 579–598  
Logan, J.A.; Prather, M.J.; Wofsy, S.C.; McElroy, M.B. (1981). Tropospheric Chemistry: A Global Perspective. *Journal Geophysical Research*. 86: 7.210-7.254.

Logan, J.A. (1985). Tropospheric Ozone: Seasonal Behavior, Trends, and Anthropogenic Influence. *Journal Geophysical Research*. 90: 10.463- 10.482.

Longo, K.M.; Thompson, A.M.; Kirchhoff, V.W.J.H.; Remer, L.A.; Freitas, S.R.; Dias, M.A.F.S.; Artaxo, P.; Hart, W.; Spinhirne, J.D.; Yamasoe, M.A. (1999). Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation – Brazil (SCAR-B). *Journal Geophysical Research*. 104: 12.113-12.129.

Marengo, J.A. (1992). Interannual Variability of surface climate in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*. Vol. 12, 853-863.

Moura, M.A. L.; Meixner, F.X.; Trebs, I.; Molion, L.C.B.; Nascimento Filho, M.F. (2004). Medições de NO – NO<sub>2</sub> – O<sub>3</sub> na Amazônia Central durante o experimento LBA/CLAIRE-2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 19: 49-58.

NASA, 2011. *National Aeronautics and Space Administration*. Disponível em <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/homepageAlt.pl?keyword=AIRX2SUP>. Acesso em 10/08/2010.

Torrence, C.; Compo, G.P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Am. Meteorology Society*. 79: 61-78.

Trebs, I.; Mayol-Bracero, O.L.; Pauliquevis, T.; Kuhn, U.; Sander, R.; Ganzeveld, L.; Meixner, F. X.; Kesselmeier, J.; Artaxo, P.; Meinrat, O.A. (2012). Impact of the Manaus urban plume on trace gas mixing ratios near the surface in the Amazon Basin: Implications for the NO-NO<sub>2</sub>-O<sub>3</sub> photostationary state and peroxy radical levels. *Journal of Geophysical Research*. 117: D05307.