

ESTIMANDO FLUXO DE CO₂ ATRAVÉS DO GÁS TRAÇO RADÔNIO EM UMA PASTAGEM NA REGIÃO AMAZÔNICA

Daniel M. dos Santos¹, Cláudio A. Teichrieb², Hans R. Zimerman³, Otávio C. Acevedo³,
Oswaldo L. L. de Moraes³

¹Mestre em Meteorologia, Doutorando do PPG em Física, CCNE, UFSM, Brasil
E-mail: danielmichelon@gmail.com

²Mestre em Física, Doutorando do PPG em Física, CCNE, UFSM, Brasil
E-mail: teichrieb@gmail.com

³Prof. Dr. do departamento de Física, CCNE, UFSM, Brasil
E-mail: zrhans@gmail.com

E-mail: acevedo@pq.cnpq.br
E-mail: osvaldo.moraes@pq.cnpq.br

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: Um sítio experimental de pastagem, caracterizado por forte estabilidade térmica durante a noite, pode suprimir boa porção da mistura turbulenta local, de forma que técnicas como a covariância dos vórtices apresentam dificuldades para a estimativa de fluxos turbulentos noturnos. Os fluxos de Radônio medidos em campanhas experimentais são utilizados para estimar os fluxos de CO₂ através da relação entre os gradientes entre os dois escalares em seis noites, três em cada estação. A comparação com os fluxos determinados pela covariância dos vórtices é satisfatória na estação úmida, mas ruim na estação seca e os motivos são discutidos.

Palavras – chave: Amazônia, fluxos turbulentos, sazonalidade.

ABSTRACT: One experimental site over a pasture, characterized by a strong thermal stability along the night, can be responsible for suppressing a good portion of the local turbulent mixing. Therefore, it is problematic to use techniques such as the eddy covariance for estimating nocturnal turbulent fluxes. Radon fluxes measured during experimental field campaigns are used to estimate CO₂ fluxes from the relationship between the vertical gradients of both scalars on six nights, three on each season. The comparison to the eddy covariance fluxes is satisfactory during the wet season, but poor during the dry season and the motives for that are discussed.

Key - words: Amazon, turbulent fluxes, seasonality.

1. INTRODUÇÃO

A determinação de fluxos superficiais turbulentos se tornou uma das maiores aplicações da micrometeorologia em anos recentes. A técnica da covariância dos vórtices permite a determinação com boa precisão de fluxos de energia, momentum e escalares como umidade e dióxido de carbono (Massman e Lee, 2002). Entretanto, uma série de dificuldades limita a aplicabilidade dessa técnica. A correta determinação dos fluxos em condição de forte estratificação térmica é, hoje, um dos maiores desafios para os micrometeorologistas. Um artigo recente, Acevedo et al. (2008) analisaram a acumulação superficial de dióxido de carbono em um sítio experimental no qual a estratificação térmica é tipicamente muito estável. A análise da acumulação superficial pode permitir a estimativa dos fluxos superficiais por uma técnica alternativa à da covariância dos vórtices, mas que depende de que uma série

de condições idealizadas sejam satisfeitas. Os resultados sugerem que processos de escala muito pequena podem ocorrer nos casos mais estáveis e originar situações contra-intuitivas, como a ocorrência de transporte vertical de CO₂ de cima para baixo em alturas bastante próximas à superfície. Seria, portanto, interessante que a acumulação de CO₂ fosse comparada com medidas independentes de outro escalar, de preferência inerte. Neste trabalho são estimados os fluxos noturnos de CO₂ para um sítio de pastagem com características turbulentas muito estáveis localizado na Região Amazônica através de um método alternativo utilizando medidas do gás traço Radônio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição do Sítio:

O sítio KM 77 pertence ao projeto LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazon) e estava coberto por pastagem no período dos dados utilizados. No local encontra-se instalada uma torre de fluxo de 20 metros de altura (3,0121°S; 54,5371°W) em uma área de aproximadamente 500 hectares cercada por floresta com um dossel de 40 m de altura média. Um sistema composto de um anemômetro sônico 3D (*SATI / 3K*), e um analisador de gás infravermelho (*IRGA, Licor 6262*), instalados a 8,75 m são usados para medir as componentes do vento, temperatura e concentrações de CO₂ e H₂O em alta frequência (Sakai et al. 2004). Amostras de Radônio na torre foram coletadas continuamente por detectores (fluxômetros) em instalados em diferentes alturas, enquanto que medições de Radônio no solo foram feitas na forma de campanha através de fluxômetros de solo (Santos, 2010).

2.2 Analisando Trocas de Gases com Radônio (Rn-222)

Utilizando a Lei de Fick, na forma da teoria K, tradicionalmente utilizada em micrometeorologia, pode-se relacionar o fluxo turbulento de Radônio com seu gradiente vertical. Assumindo que as difusividades turbulentas de Radônio e dióxido de Carbono sejam iguais por se tratarem de dois escalares passivos e que sabemos o fluxo superficial de Radônio, podemos fazer de forma análoga para determinar o fluxo superficial de dióxido de Carbono, através da expressão:

$$F_{CO_2} = F_{Rn} \frac{\Delta_{CO_2}}{\Delta_{Rn}} \quad (2.21)$$

Este método de determinação de fluxo superficial de escalares foi utilizado por Rahn et al. (2002) e por Pendall et al. (2010) para diferentes gases traço. Como condição necessária à sua aplicação está a de que as difusividades turbulentas de ambos os gases sejam semelhantes, e isto é testado através da correlação temporal entre as duas concentrações. Em caso da hipótese ser válida, haverá um alto coeficiente de correlação. No presente trabalho, utilizaremos esta metodologia para comparar com o cálculo de fluxo de CO₂ através da covariância dos vórtices.

3. RESULTADOS

3.1 Estimando Fluxo de CO₂ Através do Gás Traço Radônio

3.1.1 Correlações Entre as Concentrações de Radônio e CO₂

Para estimar os fluxos turbulentos de CO₂ utilizamos o método usado por Rahn et al. (2002) e por Pendall et al. (2010), que relaciona os fluxos de dois escalares com seus

gradientes através da Equação 2.21. Onde F_{Rn} é o fluxo de Radônio no solo, Δ_{CO_2} é o gradiente vertical de CO_2 e Δ_{Rn} é o gradiente vertical de Radônio.

Conforme mencionado, para tal método ser aplicado de forma satisfatória precisamos, entre outras condições, que a difusividade turbulenta do CO_2 e do Radônio sejam semelhantes. Para garantir que esta condição seja satisfeita, consideramos apenas noites em que haja grande correlação entre as concentrações dos escalares em questão. Se a correlação for baixa, processos diferentes são responsáveis pelo transporte de cada um deles, violando a condição de mesma difusividade turbulenta.

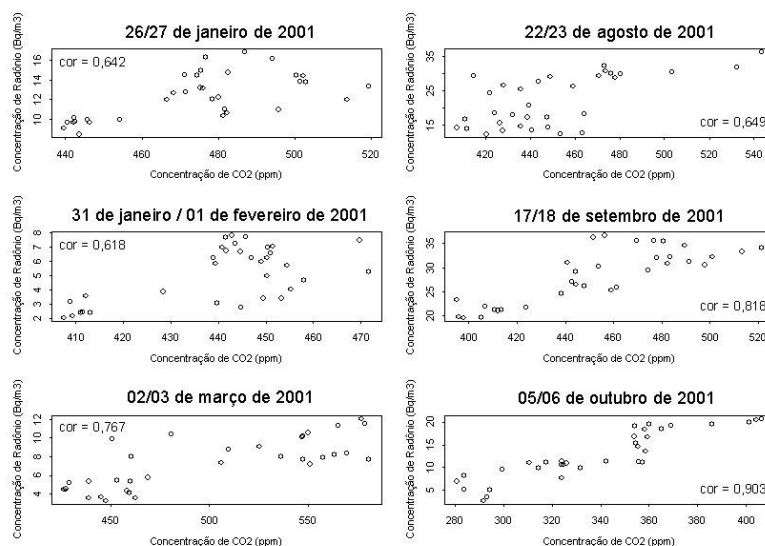


Figura 3.1 – Correlação entre as concentrações de CO_2 e Radônio para noites selecionadas na estação úmida (coluna da esquerda) e para a estação seca (coluna da direita). Os valores dos coeficientes de correlação são indicados no interior de cada painel.

A Figura 3.1 mostra a correlação entre as concentrações de CO_2 e Radônio, para seis noites selecionadas. A correlação foi obtida a partir dos dados de concentração CO_2 no nível de 2,7 m relacionados com os dados de concentração de Radônio no nível de 3,0 m, medidos na torre. As noites selecionadas apresentam boa correlação entre as concentrações, assim podemos implementar o uso do método proposto para estimar os fluxos de CO_2 a partir dos fluxos de Radônio e compararmos com os calculados através do método das covariâncias.

3.1.2 Comparação Entre Fluxos Estimados e Calculados

Os fluxos de CO_2 estimados pela Equação 2.21 mostram maiores valores para a estação úmida que para a estação seca. Este é um indicativo promissor, pois este padrão corresponde ao que se espera que aconteça com as taxas de respiração, que são proporcionais à umidade do solo, e tendem a ser maiores na estação úmida.

Calculamos o fluxo de CO_2 utilizando a técnica de multirresolução aplicada ao método de covariância dos vórtices. Isso é importante, pois sendo um ambiente tão estável, uma grande dependência existe em relação às escalas temporais. Seria muito provável, portanto, que ao fazermos a comparação utilizando uma escala temporal fixa, obtivéssemos resultados incorretos pelo fato de estarmos considerando processos de mesoescala ou escalas temporais cujo resultado tem grande erro associado à não estacionariedade do sinal.

Portanto, os fluxos turbulentos são decompostos e integrados até uma dada escala de tempo, utilizando da propriedade a decomposição em multirresolução de que os seus coespectros quando integrados até uma escala T são idênticos à covariância determinada com escala T . Os fluxos integrados desta forma são apresentados na Figura 3.2 como função da escala temporal limite de integração, e juntamente com os valores estimados através da Equação 2.21.

Para a noite entre os dias 26 e 27 de janeiro de 2001 (Figura 3.2, painel superior esquerdo), o fluxo médio de CO_2 estimado (linha tracejada), é de $0,04 \text{ mg/m}^2\text{s}$. Os fluxos médios calculados pelo método da covariância dos vórtices (linha cheia) convergem conforme aumenta a escala temporal para o valor de $0,03 \text{ mg/m}^2\text{s}$. A convergência dos valores indica que a estimativa da covariância é robusta, independentemente fortemente da escala temporal e, portanto, este é um valor confiável. A comparação entre a estimativa através dos gradientes dos dois escalares e a medida da covariância dos vórtices nesta noite é, portanto, boa.

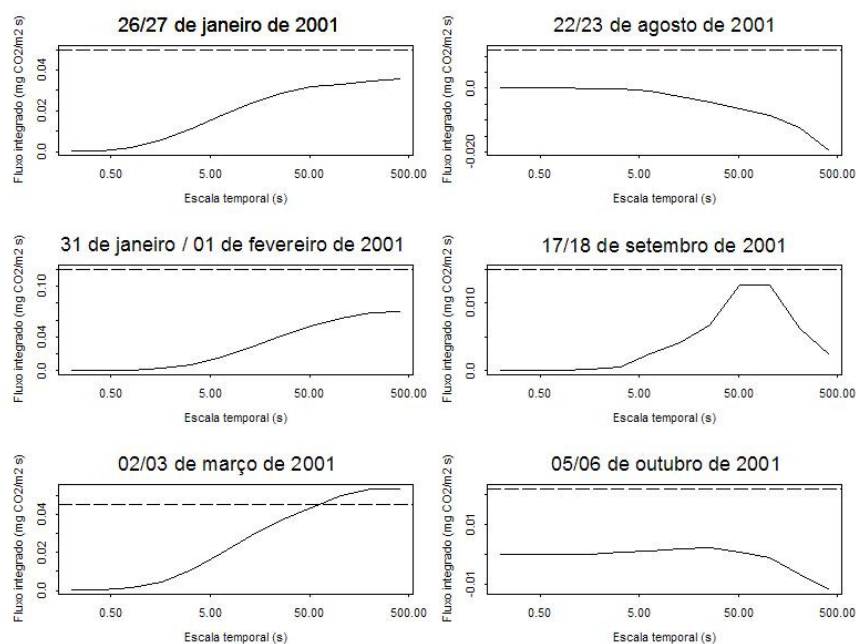


Figura 3.2 – Fluxos estimados (linha tracejada) e calculados através do método de covariância do vórtices (linha cheia) para noites selecionadas dentro da estação úmida (coluna da esquerda) e da estação seca (coluna da direita). Os fluxos por covariância dos vórtices são mostrados em função da escala temporal até a qual eles são integrados.

O mesmo pode-se dizer das duas outras noites referentes a estação úmida apesar de em uma delas (02/03 de março) a técnica de alternativa tenha subestimado os fluxos quando comparamos com o calculado.

Nos painéis da direita da Figura 4.32, temos as noites selecionadas referentes à estação seca do ano de 2001 e, neste caso, um padrão bastante diferente aparece.

Na noite de 22 para 23 de agosto, a Equação 2.21 proporciona um fluxo estimado de $0,012 \text{ mg/m}^2\text{s}$ representado pela linha tracejada (Figura 3.2, painel superior direito). Enquanto isso o método das covariâncias (linha cheia) reporta fluxos negativos, atingindo $-0,02 \text{ mg/m}^2\text{s}$ para as maiores escalas de tempo consideradas, sem que haja convergência conforme aumenta a escala temporal. De fato, vários resultados deste trabalho evidenciaram os fluxos negativos de CO_2 na estação seca. Este processo é atípico, provavelmente estando associado a transportes de dióxido de carbono proveniente de outras localidades (da floresta ao redor do KM 77, possivelmente), através de fluxos de mesoescala. Sendo um processo específico para

o CO₂, não há porque esperar que seja semelhante para Radônio. A Equação 2.21 não deve, portanto, funcionar para estimar fluxos negativos de CO₂.

Vale salientar que na noite entre 17 e 18 de setembro os fluxos calculados tendem a convergir para o valor estimado, o que acaba não acontecendo. Já na última noite analisada (05/06 de outubro) a não convergência volta a aparecer.

Os resultados destas seis noites mostram que a técnica de estimar o fluxo de um escalar a partir do fluxo de outro escalar e das relações entre seus gradientes pode ser aplicada com razoável confiança no KM 77 apenas na estação úmida. De fato, se poderia até mesmo argumentar que é só nesta estação que a própria covariância dos vórtices é confiável, havendo convergência dos fluxos determinados por esta técnica com o aumento da escala temporal. Além disso, nesta estação as estimativas através dos gradientes não diferem muito dos valores para os quais as medidas por covariância dos vórtices convergem. Para a estação seca, por sua vez, a técnica perde o sentido devido a ocorrência de processos muito pouco usuais, como o transporte negativo noturno de dióxido de carbono. Entretanto, em uma das três noites analisadas houve uma aparente convergência dos fluxos da covariância dos vórtices para um valor semelhante ao estimado, indicando que na ausência destes processos anômalos a técnica funcionaria bem também na estação seca.

4 CONCLUSÕES

As medidas de fluxos de Radônio, obtidas em campanhas experimentais, permitiram uma estimativa dos fluxos de CO₂ totalmente independente das determinações a partir da covariância dos vórtices. Os resultados mostraram concordância satisfatória para a estação úmida, e não concordaram na estação seca. A discrepância é certamente devido ao padrão anômalo de fluxos negativos na estação seca, que não respondem à relação clássica entre fluxo e gradiente (teoria K), na qual se baseia o método. De qualquer forma, a proximidade das estimativas para a estação úmida indica que havendo um comportamento clássico dos fluxos, os gradientes verticais de diferentes escalares podem ser comparados entre si, de forma a que o fluxo de um escalar possa ser usado para estimar o fluxo dos demais.

5 REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, O. C., SILVA, R., FITZJARRALD, D. R., MORAES, O. L. L., SAKAI, R. K., CZIKOWSKY, M. J. Nocturnal vertical CO₂ accumulation in two Amazonian ecosystems.** Journal of Geophysical Research, vol. 113, 2008.
- MASSMAN W. J., Lee, X. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges.** Agricultural and Forest Meteorology, vol. 113, p. 121 – 144, 2002.
- PENDALL, E., SCHWENDENMANN, L., RAHN, T., MILLER, J. B., TANS, P. P., WHITE, J. W. C. Land use and season affect fluxes of CO₂, CH₄, CO, N₂O, H₂ and isotopic source signatures in Panama: evidence from nocturnal boundary layer profiles.** Global Change Biology, vol. 16, p. 2721–2736, 2010.
- RAHN, T., EILER, J. M., KITCHEN, N. D/H ratios of atmospheric H₂ in urban air: results using new methods for analysis of nano-molar H₂ samples.** Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 66, p. 2475–2481, 2002.
- SANTOS, DANIEL M. Variação sazonal da acumulação e fluxo noturnos de escalares em uma pastagem na região Amazônica.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.