

METANO NA ATMOSFERA

PRODUÇÃO DE METANO EM REGIÕES DE QUEIMADAS E ÁREAS ALAGADAS

Plínio C. Alvalá

Pesquisador adjunto do Laboratório de Ozônio, do Departamento de Geofísica Espacial do INPE. Doutor em Ciência Espacial pelo INPE, 1995. Especialista em observações de metano em ecossistemas naturais.

Volker W.J.H.Kirchhoff

Pesquisador sênior, chefe do Laboratório de Ozônio do INPE. PhD em Ciência Espacial pela Pennsylvania State University, 1975. Especialista em estudos da camada de ozônio e de gases do Efeito Estufa.

Hamilton G. Pavão

Doutor em Ciência Espacial pelo INPE, 1994. Professor adjunto do Departamento de Física da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS.

Fotos: Plínio Alvalá

Introdução

O metano (CH_4) é o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera terrestre, com uma concentração média global de 1,72 ppmv (partes por milhão por volume) em 1994. Medidas sistemáticas da sua concentração na atmosfera tiveram início na metade da década de 70, quando foram identificadas atuações importantes desse gás na química atmosférica e no clima. A partir dessas observações, determinaram-se várias de suas características na atmosfera, como um acentuado gradiente de concentração em função da latitude, com os maiores valores ocorrendo no Hemisfério Norte, uma variação sazonal nos dois hemisférios e uma taxa de crescimento global anual da ordem de 0,6%.

Análises de bolhas de ar aprisionadas em geleiras permanentes revelaram que a concentração média de metano era de 0,8 ppmv entre 200 e 2.000 anos atrás e que um crescimento mais rápido teve início há cerca de 150 anos até dobrar esse valor na atmosfera atual (Khalil e Rasmussen, 1987). Essa tendência de aumento é atribuída ao crescimento da população humana, que, por sua vez, acarreta uma maior demanda de alimentos, levando ao incremento, por exemplo, da criação de gado, de plantações de arroz e de utilização de combustíveis fósseis, principalmente gás natural e carvão, atividades geradoras de metano.

O metano e o monóxido de carbono (CO) são os sumidouros majoritários do radical OH, que, por sua vez, é responsável pela remoção de diversas espécies químicas da atmosfera terrestre. Assim, um aumento na concentração de um desses dois gases traços pode reduzir a concentração do radical OH e, portanto, a capacidade de oxidação em toda a atmosfera. Outra participação importante do metano está no ciclo de produção do ozônio em áreas de queimadas.

Além da sua participação na química da atmosfera, o metano apresenta uma banda de absorção para a radiação infravermelha na região entre 7 e 8 μm do espectro eletromagnético, região onde a atmosfera apresenta uma maior transparência à radiação terrestre. Gases que possuem bandas de absorção nessa região do espectro podem alterar o balanço de radiação no sistema Terra-atmosfera, já que parte da energia absorvida é reirradiada para a superfície, contribuindo para um aquecimento secundário adicional, conhecido como efeito estufa. O metano é, depois do CO_2 , o gás que mais contribui para o efeito estufa de origem antropogênica, tornando-se um dos gases importantes no estudo das alterações climáticas induzidas pelo homem.

A produção de gás metano na natureza ocorre pela degradação de material orgânico por bactérias em meios livres de oxigênio (meios anaeróbicos), tais como sedimentos aquáticos, trato gastro-intestinal de alguns animais e nos esgotos. Vários fatores químicos e biológicos influenciam a produção de metano em determinado meio, destacando-se a temperatura, o pH e a disponibilidade de alimento. As bactérias produtoras de metano ou também conhecidas como metanobactérias, podem processar apenas um pequeno número de compostos para o seu crescimento. Entre os substratos utilizados tem-se o formato, o acetato, o metanol e o dióxido de carbono (Cicerone e Oremland, 1988).

A degradação de material orgânico em meios livres de oxigênio envolve uma cadeia complexa de processos, que se inicia com o ataque de micróbios também anaeróbicos sobre os substratos, sejam eles biopolímeros (celulose, proteínas e pectinas) ou biomônômeros (aminoácidos, açúcares, álcoois), resultando na formação dos alimentos para as metanobactérias. Estas, por sua vez, vivem por meio de

interações com outros microorganismos, podendo ocorrer de forma complementar ou mesmo competitiva (Cicerone e Oremland, 1988). Nas interações complementares, organismos realizam a fermentação de um dado composto e os produtos desse metabolismo são consumidos pela bactéria produtora de metano. Algumas interações podem assumir a forma de simbiose, como a existente no rúmen dos herbívoros. As interações competitivas existem em geral, nos meios onde ocorrem as bactérias redutoras de sulfato em conjunto com as metanobactérias. Nessas situações, as bactérias redutoras de sulfato irão competir com as bactérias produtoras de metano pelo hidrogênio e/ou acetato, restringindo a disponibilidade desses substratos.

Fontes e Sumidouros

O metano é liberado para a atmosfera a partir da superfície terrestre, onde os processos biológicos são responsáveis por aproximadamente 80% da emissão global, e os restantes 20% devem-se aos processos de extração e distribuição de gás natural e carvão, e à queima de combustíveis fósseis.

Embora atualmente seu balanço global seja determinado a partir de uma grande base de dados, até recentemente as fontes e sumidouros de metano não eram bem conhecidos e incertezas importantes ainda permanecem nos fluxos individuais. A Tabela 1 (Watson, et al., 1990, Amstel, 1998)) apresenta o balanço global de metano, onde a emissão global é estimada em 515 Tg (= 10^{12} gramas) de metano por ano. O principal sumidouro na atmosfera ocorre pela reação com o radical oxidrila (OH) na troposfera, a qual é responsável pela remoção de mais de 90% do metano emitido. Além desse, existem mais dois sumidouros menores, a absorção pelos solos aerados e o transporte para a estratosfera. No balanço global, observa-se um excedente de emissão em relação ao removido anualmente de 32 Tg de metano, o que corresponde ao crescimento anual (0,6%) desse gás na atmosfera.

Entre as principais fontes de CH_4 para a atmosfera, três são de especial importância para as regiões tropicais, onde o Brasil tem a sua maior área:

1. As áreas alagadas, as quais respondem individualmente por mais de 22% da emissão global no balanço do metano. São especialmente importantes durante a época das chuvas, quando grandes áreas do Brasil são alagadas, como a região amazônica e o Pantanal Mato-grossense.

2. Fontes urbanas relacionadas com a



Parte do procedimento de coleta de dados

queima de combustíveis fósseis e os depósitos de lixo urbano (lixeiros).

3. A queima de biomassa (matéria vegetal), especialmente durante a época seca, como as queimadas que ocorrem na região do cerrado, no Brasil central, e em algumas áreas da região amazônica.

O INPE, por intermédio do Laboratório de Ozônio, vem estudando duas das três fontes destacadas acima; as áreas alagadas e a queima de biomassa. Para o estudo da emissão de metano pela queima de biomassa, foram realizadas duas campanhas na região do cerrado e na borda da região amazônica, durante a época de seca, nos anos 1992 e 1995. Nestas campanhas foram obtidos perfis verticais da distribuição de metano na baixa troposfera, cujos resultados evidenciaram a importância dessa fonte para a atmosfera, incluindo efeitos na química do ozônio troposférico (Kirchhoff et al., 1996). O Laboratório também mantém coletas sistemáticas na região de Natal, RN, onde as amostras de ar são coletadas para análise dos gases CO , desde 1987, N_2O , desde 1991 e CH_4 , desde 1993. Nesse caso, como o local de coleta está situado no litoral, e este recebe massas de ar vindas do Oceano Atlântico, é portanto, livre de influências antropogênicas, como as queimadas e a poluição urbana. Devido às baixas concentrações encontradas, esta localidade tornou-se uma referência no estudo dos gases-traço (Kirchhoff e Marinho, 1989).

A Figura 1 apresenta a comparação entre as concentrações médias de metano obtidas para a localidade de Natal, no ano de 1995 (losango cheio), de 1690 ± 26 ppbv, a qual se ajusta muito bem à curva formada pelas concentrações determinadas em 37 estações oceânicas da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) distribuídas em várias latitudes.

Os efeitos das queimadas na concentração do metano podem ser observados nesse gráfico, onde são apresentados os resultados para o experimento Smoke, Clouds And Aerosols - Brazil (SCAR-B) realizado nos meses de agosto e setembro de 1995 (Alvalá, 1995; Alvalá et al., 1996), na área do cerrado e na borda da floresta amazônica (\oplus), cuja concentração média foi de 1739 ± 20 ppbv, cerca de 4 vezes a variação sazonal para a mesma latitude.

Áreas Alagadas Tropicais

As áreas alagadas naturais e as usadas para a agricultura, tais como os cultivos de arroz irrigado, são fontes importantes de metano, pois fornecem o hábitat necessário para a bactéria produtora desse gás. Essas bactérias necessitam de um meio livre de oxigênio, o que é fornecido pela coluna d'água, e de matéria orgânica, também disponível em abundância nesses meios.

Em termos globais, as áreas alagadas estão concentradas nas regiões de altas latitudes do Hemisfério Norte e nas regiões tropicais, entre 20°N e 30°S . Embora as áreas tropicais compreendam somente 35% das áreas alagadas, sua contribuição anual é estimada em 42 Tg CH_4 /ano (Bartlett e Harris, 1993), o que corresponde a 36,5% do total emitido por essa fonte, sendo o restante dividido entre as áreas alagadas nas regiões subtropical, temperada e boreal, evidenciando assim a sua grande importância no balanço global desse gás.

Uma das principais características das áreas alagadas na região tropical é a variação da área inundada em função da precipitação, a qual varia de ano para ano. Nessas áreas, as taxas de produtividade primária são relativamente altas, com as altas temperaturas e insolação, bem como

as taxas de decomposição. Muitas das áreas alagadas compreendem áreas de florestas próximas aos rios, ou em planícies, como ocorre na região do pantanal mato-grossense.

O estudo da emissão de metano nas áreas alagadas tropicais teve um grande avanço no final da década de 80, quando vários experimentos avaliaram a sua emissão na região amazônica e nas florestas equatoriais africanas. Os resultados desses experimentos ressaltaram a importância das regiões tropicais como fontes de metano em relação às florestas temperadas e aos pântanos do hemisfério norte. As áreas alagadas nas regiões tropicais foram divididas em três tipos de habitat: florestas alagadas, corpos d'água sem vegetação e corpos d'água cobertos por vegetação. Os fluxos individuais encontrados apresentaram grande variabilidade, com valores entre 7,5 mgCH₄/m²/dia e 967 mgCH₄/m²/dia, onde as regiões alagadas com cobertura vegetal registraram os maiores fluxos médios, de 200 mgCH₄/m²/dia (Bartlett e Harris, 1993). Essa variabilidade está relacionada principalmente com os processos de produção e de transporte do metano na coluna d'água, nos diferentes habitats.

As regiões de pântanos de papiros na África e a do pantanal mato-grossense, no Brasil, compreendem áreas consideráveis, mas estão entre as que têm muito pouca ou nenhuma informação sobre a emissão de metano. A região do pantanal cobre uma área de 2 aproximadamente, 140.000 km², com sua maior parte dentro do território brasileiro. A uniformidade de sua topografia, com pequeno gradiente de altitude, levam o Pantanal a inundações periódicas, de maior ou menor intensidade, dependendo dos ciclos anuais das precipitações pluviométricas. A grande extensão de áreas alagadas que são formadas durante as inundações, bem como as lagoas e várzeas que permanecem nos períodos de seca naquela região constituem habitats de grande potencial de produção de metano, ainda muito pouco explorados (Alvalá, 1995).

Com o objetivo de diminuir as incertezas com relação à emissão de metano pelas áreas alagadas, em especial na área do Pantanal, o Laboratório de ozônio do INPE, em conjunto com a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), vem desenvolvendo, desde 1994, um programa de experimentos na Base de Estu-

dos do Pantanal da UFMS, na região do Passo do Lontra. Nesses experimentos mede-se a emissão de metano em uma lagoa perene da região. Para esse estudo, utiliza-se uma câmara estática e flutuante, onde são coletadas amostras de ar em tempos regulares (ver fotografias documentando o processo de coleta), em cilindros especiais de aço inoxidável. Essas amostras retornam ao INPE para análise através da técnica de cromatografia gasosa em conjunto com um detector de ionização de chama (Oliveira et al., 1993). A utilização da técnica de câmara estática é bastante difundida, não só para o estudo do metano, mas também de outros gases-traço emitidos para a atmosfera, como o N₂O e outros hidrocarbonetos.

emissão de metano para a atmosfera depende, entre outros fatores, dos mecanismos de transporte através da coluna d'água, além da própria produção pelas bactérias, a qual, por sua vez, depende das condições do substrato. Como a temperatura ótima para a atividade da maioria das metanobactérias está entre 30 e 50°C (Thiele e Zeikus, 1988) e a temperatura da água, nesse período, teve um valor médio de 33°C, essa pode ser um dos principais fatores que contribuíram para os fluxos observados. Esses fluxos mais altos durante o período de inundação evidenciam como aquela área pode ser uma importante fonte de metano para a atmosfera.

Já no período de inverno, nos meses de maio, junho e julho, o fluxo médio obtido apresentou uma considerável redução para 1,0±0,6 mgCH₄m⁻² dia⁻¹, com uma diminuição também na sua variabilidade. Com o fim do período de inundação, nos meses de abril/maio tem início a vazante, quando, então, ocorre uma diminuição na entrada de material para a lagoa, a qual está conectada com o rio Miranda por pequenos canais, por onde a água acaba escoando lentamente. Observou-se uma variação de aproximadamente 1 metro da profundidade, no ponto de coleta entre os períodos de cheia e estiagem. A temperatura da água também foi menor nesse período, apresentando um valor médio de 23°C, com alguns dias chegando a 21°C. Acredita-se que essa queda na temperatura ambiente teve grande influência na atividade bacteriana, contribuindo para a queda no fluxo médio observado. Nossos resultados revelam uma forte variação sazonal (de 1 para 100) na emissão de metano pela lagoa, o que pode ser importante se as demais áreas alagadas da região tiverem o mesmo comportamento.

Conclusão

O Laboratório de Ozônio do INPE verificou *in loco* a emissão de metano para a atmosfera terrestre pelas queimadas. Os resultados dos experimentos na região de queimadas mostraram como essa fonte pode alterar a concentração de metano na atmosfera, produzindo concentrações mais altas em toda a troposfera por ocasião da estação da seca. Verificou-se que o efeito da queimada representa uma variação em magnitude de 4 vezes a variação sazonal média esperada.

A emissão de CH₄ por uma lagoa típica

Fontes Naturais	TgCH ₄ /ano
Áreas alagadas	115
Cupins	20
Oceanos	10
Rios	5
Hidratos de metano	5
Fontes Antropogênicas	
Combustíveis fósseis (carvão, gás natural, petróleo)	85
Cultivo de arroz irrigado	60
Fermentação entérica	80
Queima de biomassa	40
Dejetos de animais	25
Tratamento de esgotos domésticos	55
Lixeiras	30
Sumidouros	
Remoção na atmosfera	470
Remoção pelos solos	30
Excedente anual	32

A Figura 2 apresenta os fluxos médios de metano obtidos na lagoa, a partir das campanhas mensais realizadas nas épocas de verão e de inverno, nos anos de 1997 e 1998. Nota-se que uma das barras é bem maior que a outra. Para a época de verão, nos meses de janeiro, fevereiro e março, ocorre o período de inundação na área do Pantanal, trazendo para a lagoa uma maior quantidade de nutrientes. O fluxo médio obtido nesse período é de 101,2 ± 116,0 mgCH₄m⁻² dia⁻¹, valor dentro do esperado para uma área alagada, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, como é a lagoa em estudo. A variabilidade observada nos fluxos é grande, uma vez que a

da região do pantanal mato-grossense foi também avaliada. O estudo do fluxo de metano da lagoa natural mostrou que esta representa uma fonte considerável de metano, principalmente no período de verão. Nessa época, ocorrem as cheias na região de coleta e também temperaturas mais altas, propícias para a atividade bacteriana. Já durante o período de inverno, quando ocorre a estiagem no Pantanal e uma queda na temperatura média da água, observou-se uma diminuição considerável no fluxo médio de metano para a atmosfera, de um fator de 100 para 1. Essa forte tendência sazonal pode ser representativa para toda a região, o que deve ser confirmado em experimentos já programados para futuro próximo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do Prof. Amaury de Souza, vice-Reitor da UFMS, e de Massao Vetanabaro, responsável pela unidade de pesquisa do Passo do Lontra, e dos técnicos Waldeir Moreshi Dias e Jorge A.D. Gonçalves pela excelente colaboração que têm prestado ao Projeto.

Referências

Alvalá, P. C., V. W. J. H. Kirchhoff, F. Zamorano B., C. Casiccia S., Atmospheric

methane observations in Brazil: SCAR-B Mission. *Proceedings of the Smoke/Clouds and Radiation-Brazil (SCAR-B) Science Symposium*, Fortaleza, CE, Brazil, pp.1-4, 1996.

Alvalá, P. C., Observações do metano atmosférico no Brasil, Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), INPE-5969-TDL/573, 1995.

Amstel, A. V., Global anthropogenic methane emission comparisons. *IGAC Activities Newsletter*, **12**, 11-17, 1998.

Bartlett, K.B., R.C. Harris, Review and

Cycles, **2**, 299-327, 1988.

Khalil, M. A. K., R. A. Rasmussen, Atmospheric methane trends over the last 10,000 years. *Atmospheric Environment*, **21**, 2445-2452, 1987.

Kirchhoff, V. W. J. H., E. V. A. Marinho, A survey of continental concentration of CO in the Southern Hemisphere. *Atmospheric Environment*, **23**, 461-466, 1989.

Kirchhoff, V. W. J. H., P. C. Alvalá, Y. Sahai, Ozone measurements from na aircraft platform during the SCAR-B field Experiment, *Proceedings of the Smoke/Clouds and Radiation-Brazil (SCAR-B) Science Symposium*, Fortaleza, CE, Brazil, pp 109-112, 1996.

Oliveira, M. A. S., V. W. J. H. Kirchhoff, P. C. Alvalá, Performance of a monitor for atmospheric methane measurements. *Revista Brasileira de Geofísica*, **11**, 57-64, 1993.

Thiele, J. H., J. G. Zeikus, Interactions between hydrogen- and formate producing bacteria and methanogens during anaerobic digestion in: *Handbook on Anaerobic Fermentations*, Ed. L. E. Erickson, D. Yee-Chak Fung, Marcel Dekker Inc., N.Y., 537-595, 1988.

Watson, R. T., H. Rode, H. Oeschger, V. Siegenthaler, Greenhouse gases and aerosols. In: Houghton, J. T., J. Jenkins, J. J. Ephrauns. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge, MA, Cambridge University Press, 1990.



Parte do equipamento usado para coletar amostras de metano na lagoa

assessment of methane emission from wetlands, *Chemosphere*, **26**, 261-320, 1993.

Cicerone, R. J. and R. S. Oremland, Biogeochemical aspects of atmospheric methane, *Global Biogeochemical*

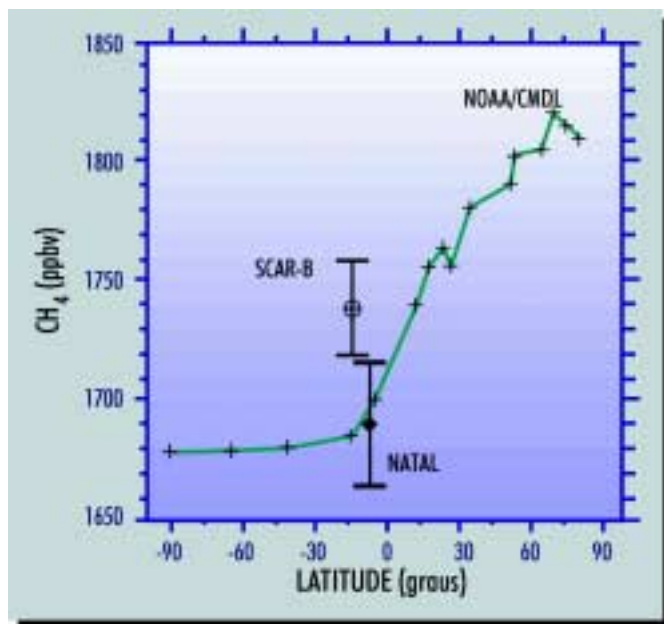


Fig. 1: Variação latitudinal da concentração do metano para o Experimento SCAR-B, Natal e para as estações da rede NOAA/CMDL. Todos os dados são para o ano de 1995.

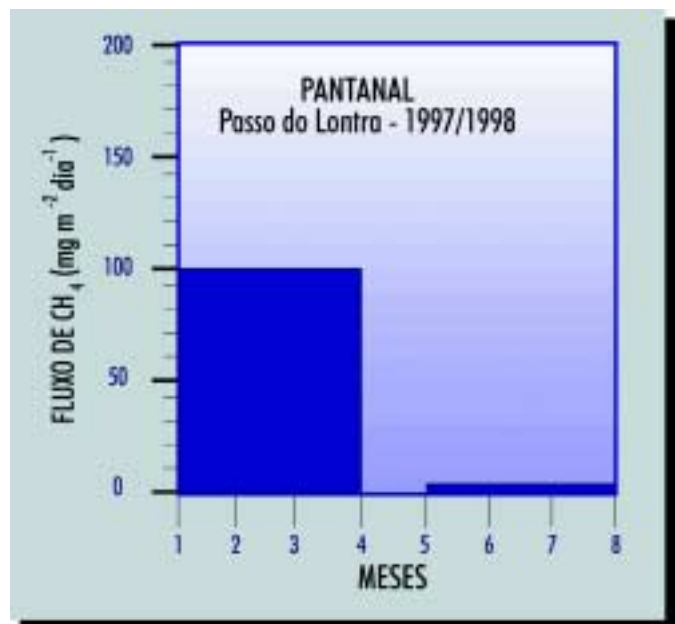


Fig. 2: Variação do fluxo de metano para os meses de verão (janeiro a março) e de inverno (maio a julho), determinados a partir de amostras de ar coletadas em câmara estática sobre uma lagoa na região do Pantanal (ver foto).