

# Comunicado 32

## Técnico

ISSN 1516-8638  
Jaguariúna, SP  
Setembro, 2005

## Efeito do Lodo de Esgoto nos Fluxos de Gases na Interface Solo-Atmosfera

Wagner Bettiol<sup>1</sup>  
Silvana A.P. Fernandes<sup>2</sup>  
Carlos C. Cerri<sup>3</sup>

### Introdução

O lodo de esgoto contém altos teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes, sendo recomendada a sua disposição agrícola e florestal (Bettiol & Carvalho, 2001; Melo & Marques, 2000), desde que sejam atendidos requisitos referentes à presença de contaminantes. De forma geral, as pesquisas com lodo de esgoto estão concentradas em seus efeitos no desenvolvimento das plantas (Melo et al., 2001; Melo & Marques, 2000) e na contaminação do solo com metais pesados (Berton, 2000). Entretanto, o lodo de esgoto, além de alterar as propriedades químicas e físicas do solo, também altera as suas propriedades biológicas.

O funcionamento do ecossistema do solo é governado pela dinâmica de sua microbiota. O componente biológico é responsável pela formação do húmus, ciclagem de nutrientes, estrutura física e por outras funções (Lynch & Bragg, 1985). A microbiota tem função essencial na decomposição da matéria orgânica e reduções na sua diversidade ou abundância podem afetar a ciclagem de nutrientes (Giller et al., 1998). Resultados contraditórios têm sido obtidos em relação à redução ou estímulo da atividade microbiana após a aplicação de lodo de esgoto (Baath, 1989; Jahnelt, 1997; Giller et al., 1998; Fortes Neto, 2000; Khan & Scullion, 2000; Carmo, 2001).

Uma questão a ser investigada no uso agrícola do lodo de esgoto é o fluxo de gases na interface solo-atmosfera. Esta questão tem preocupação mundial, pois as emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> podem contribuir para o efeito estufa (Hutchinson & Davidson, 1993). Com a aplicação do lodo de esgoto, os processos biológicos do solo são alterados, e conseqüentemente o fluxo de gases na interface solo-atmosfera. Com isso, o solo atua como fonte ou sumidouro de carbono. Existem poucos estudos sobre fluxo de gases em solo que receberam aplicação de lodo, sendo que todos os trabalhos foram desenvolvidos em clima de solo temperado (Flessa & Beese, 2000; Scott et al., 1999; Blechschmidt et al., 1999; Alvarez et al., 1999; Wong et al., 1998). De acordo com esses autores, a aplicação de lodo em solo aumenta a emissão de gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>). Contudo, foi verificada quantidade significativa de C, proveniente do lodo, que ficou retido no solo (Alvarez et al., 1999).

O objetivo do presente trabalho foi estudar o efeito da aplicação a longo prazo e continuada de lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, SP, no fluxo de gases na interface solo-atmosfera sob condições de campo e em condições tropicais.

<sup>1</sup> Biólogo, Doutor em Fitopatologia, Embrapa Meio Ambiente, C Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP. [bettiol@cnpma.embrapa.br](mailto:bettiol@cnpma.embrapa.br)

<sup>2</sup> Bolsista de Pós-doutorado/FAPESP

<sup>3</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura, (CENA-USP), C Postal 96, CEP 13416-000, Piracicaba, SP. [cerri@cena.usp.br](mailto:cerri@cena.usp.br)

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio Ambiente, localizado em Jaguariúna (SP), latitude 22°41' sul, longitude 47° W. Gr. e altitude de 570 m, em Latossolo Vermelho Distroférico (textura argilosa), cujas características físicas e químicas na camada de 0-20 cm, antes do início do estudo foram as seguintes: pH em água = 5,8; MO = 25,5 g kg<sup>-1</sup>; P = 3,5 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,51, Ca = 27,5, Mg = 8,5, Al = 1, H = 35 e CTC = 73,5 mmolc dm<sup>-3</sup>; V% = 50,8; e argila = 450 g kg<sup>-1</sup>.

O lodo de esgoto foi obtido na Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri, SP, que trata esgotos doméstico e industrial. As principais características do lodo são apresentadas na Tabela 1 e foram determinadas de acordo com EPA SW-846-3051 (EPA, 1986).

Os tratamentos estudados foram: testemunha absoluta; fertilização mineral (NPK) recomendada para a cultura (Raj et al., 1996); lodo de esgoto com base na concentração de nitrogênio para fornecer a mesma quantidade de N da fertilização mineral; e duas, quatro e oito vezes a dose de lodo de esgoto recomendada. Os cálculos das doses de lodo foram realizados em função do nitrogênio disponível para as plantas, considerando como sendo 30% a taxa de mineralização do nitrogênio (CETESB, 1999). Para os tratamentos com lodo de esgoto, quando necessária, foi realizada complementação com potássio, sendo que esta foi dependente do teor de potássio no lodo e da quantidade total aplicada em cada tratamento. Na Tabela 2 encontram-se as quantidades de lodo e de fertilizantes aplicadas em cada tratamento, durante quatro safras de milho. Os lodos foram distribuídos a lanço, na área total das parcelas experimentais, e incorporados a 20 cm de profundidade com auxílio de enxada rotativa, três a quatro dias antes da semeadura.

Os estudos foram conduzidos por quatro anos, sendo que no primeiro foi cultivado o milho variedade CATI AL 30, com semeadura realizada em 05/04/1999; no segundo foi cultivado o híbrido AG1043, com semeadura em 13/12/1999 e no terceiro e quarto com o híbrido Savana 133S, com semeadura em 30/10/2000 e 05/11/2001, respectivamente. Um mês antes da aplicação do lodo, para o terceiro cultivo, foi realizada correção do pH, em cada parcela individualmente para pH 5,7, tendo como base uma curva de neutralização elaborada especificamente com o solo de cada parcela. Para todos os cultivos, os tratamentos culturais foram os padrões utilizados na cultura, sem irrigação. No final de cada safra foram retirados os restos culturais das parcelas, que permaneceram em pousio até o plantio subsequente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições. Cada parcela apresentava dimensão de 10 x 20 m, com 12 linhas cada. As parcelas foram separadas por bordaduras, de, pelo menos, 5 m de cada lado, com braquiária mantida roçada.

As amostras de gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>) foram coletadas em outubro de 2000 (antes da aplicação do lodo referente ao terceiro cultivo de milho), março de 2001 (final do terceiro cultivo), outubro de 2001 (antes da aplicação do lodo referente ao quarto cultivo), novembro de 2001 (33 dias após a aplicação do lodo para o plantio do milho, referente ao quarto cultivo) e março de 2002 (final do quarto cultivo).

As medidas da taxa de emissão de gases foram feitas em três câmaras, segundo a concepção de Bowden et al. (1990) em cada parcela. As bases das câmaras foram instaladas no solo, cinco dias antes de cada coleta, em cada tratamento. Por ocasião das amostragens, as tampas foram colocadas sobre as bases sem remover a liteira acumulada. Os gases liberados pelo solo foram coletados em seringas de náilon de 20 ml seguindo o procedimento descrito por Bowden et al. (1990) no início da incubação de 20 minutos e a cada intervalo de 5 minutos. Foram feitas três amostragens às 7, 12 e 17 horas no mesmo dia para todos os tratamentos. As amostras de gases foram levadas ao laboratório e analisadas dentro de uma semana. A concentração de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O foi determinada por cromatografia gasosa com um detector <sup>63</sup>Ni de captura de elétrons operado a 230°C (Stuedler et al., 1991). A concentração de CH<sub>4</sub> foi determinada usando cromatografia de gás com um detector de ionização de chama (Stuedler et al., 1989). Dois padrões Scott certificados de 234 e 2030 ppmv (parte por milhão em volume) de CO<sub>2</sub>, e 0,618 e 3,02 ppmv de CH<sub>4</sub> foram usados para calibração. Os fluxos foram calculados pela alteração linear da concentração dos gases com o tempo, considerando as médias das observações.

## Resultados e Discussão

Não foram observados padrões de evolução de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> relacionados com o ciclo diário de temperatura nos tratamentos avaliados. Portanto, os dados apresentados referem-se às médias diárias no período de amostragem (Fig.1). Esta ausência de padrão também foi verificada por Feigl (1995) e Fernandes et al. (2002) em crono-sequências de floresta/pastagem no Brasil. As informações sobre a taxa respiratória do solo com aplicação de lodo de esgoto são escassas, pois poucos estudos foram feitos sob condições tropicais. Os estudos realizados no Brasil de fluxos de gases na interface solo/atmosfera são relativos à mudança do uso da terra, na conversão da floresta Amazônica em pastagens (Feigl, 1995; Stuedler et al., 1991; Bernoux et al., 1998; Fernandes et al., 2002).

As maiores taxas de liberação de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> foram observadas no solo que recebeu a maior dose de lodo de esgoto, com 123,2 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, 8,6 mg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e 0,05 μ C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente. Deve-se salientar que, com exceção da coleta realizada em



novembro de 2001, as demais taxas de liberação dos gases do efeito estufa são provenientes do solo sem a cultura do milho, portanto, reflete a mineralização da matéria orgânica do solo, sem a interferência da respiração das raízes do milho.

A aplicação de lodo de esgoto teve como consequência o aumento no fluxo de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, de 220, 320 e 165 % para a maior dose de lodo de esgoto, quando comparado com a testemunha. Houve um aumento no fluxo de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, de 85, 45 e 105 % para o tratamento NPK, quando comparado à testemunha. Comparando o tratamento com a maior dose de lodo com o tratamento NPK, o aumento nos fluxos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera foram de 83, 190 e 30%.

Esses resultados demonstraram que tanto a adição de NPK, como de lodo de esgoto alteraram a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo, consequentemente aumentando os fluxos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera quando comparados à testemunha. Entretanto, há necessidade de se considerar que na dose recomendada o lodo de esgoto apresentou comportamento semelhante à adubação mineral recomendada.

Os valores observados no presente estudo estão dentro da faixa esperada para solos tropicais (Feigl, 1995; Steudler et al., 1989; Fernandes et al., 2002; IPCC, 2001). Valores obtidos de fluxos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera em solos tropicais de pastagens no Brasil foram em média de 60,1 a 166,0  $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , de 3,0 a 21,0  $\text{mg N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  e -0,0120 a 0,0032  $\mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , respectivamente (Feigl et al., 1995; Steudler et al., 1989; Fernandes et al., 2002). Segundo Mer & Roger (2001), a concentração média do metano presente na atmosfera é 1,7 ppm, com variação entre o hemisfério Sul e Norte, em média, de 0,14 ppm e variação sazonal de 0,03 ppm. As concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  na atmosfera, segundo IPCC (2000) são de 360 ppm e 310 ppb, respectivamente.

A emissão de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera foi diretamente proporcional à concentração de lodo de esgoto aplicado ao solo (Fig.1). Entretanto, quando o lodo de esgoto foi aplicado na dose recomendada, as emissões foram semelhantes às do tratamento NPK. Apesar de estar havendo maior emissão de gases nos tratamentos com as doses de duas, quatro e oito vezes a dose recomendada, quando comparada com os tratamentos NPK e testemunha absoluta, é importante observar que parte do C adicionado via lodo está sendo seqüestrado no solo, pois Fernandes et al. (2005) verificaram, na mesma área experimental, que com a aplicação de doses de lodo de esgoto há um incremento no C do solo e este aumento no teor de carbono é originário do C proveniente do lodo de esgoto, conforme mostram as análises de  $\delta^{13}\text{C}$ . Essas informações são importantes para a discussão do uso agrícola do lodo de esgoto e um indicativo de que estes parâmetros também devem ser considerados ao se realizar a avaliação de impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Um aspecto importante a ser considerado é o efeito

acumulativo das aplicações do lodo de esgoto, dessa forma, para minimizar possíveis problemas, não se recomenda aplicações anuais.

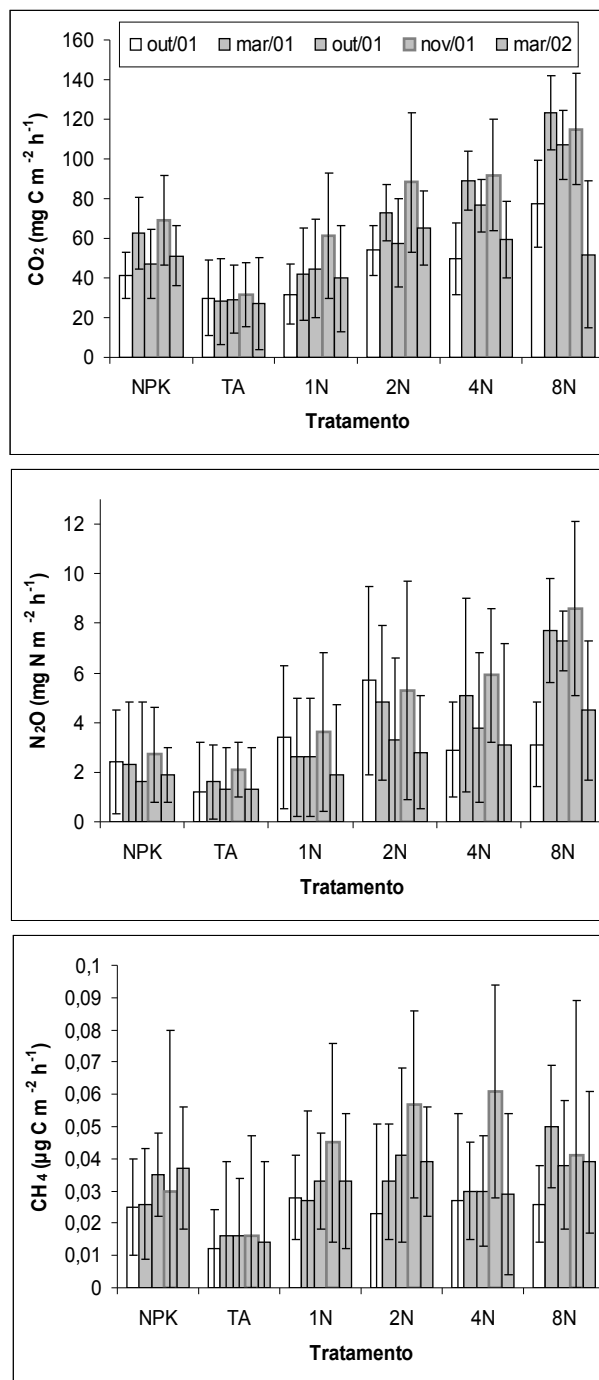


Fig. 1. Média diária do fluxo de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  ( $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ,  $\text{mg N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  e  $\mu\text{g C m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) e seus respectivos erros padrão da média ( $\pm \text{ep}$ ) amostrado em outubro de 2000, março de 2001, outubro de 2001, novembro de 2001 e março de 2002. TA=Testemunha absoluta; NPK=fertilização mineral recomendada para a cultura; 1N, 2N, 4N e 8N=uma, duas, quatro e oito vezes a dose de lodo de esgoto recomendada de nitrogênio.

## Conclusão

Com a aplicação de lodo de esgoto no solo há uma maior emissão de gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, nas condições estudadas.

## Referências

- ALVAREZ, R.; ALCONADA, M.; LAVADO, R. Sewage sludge effects on carbon dioxide-carbon production from a desurfaced soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, p.1861-1866, 1999.
- BAATH, E. Effects of heavy metals in soil on microbial process and population (a review). **Water, Air and Soil Pollution**, v.47, p.335-379, 1989.
- BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C.; MORAES, J. F. L. de. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, v.82, p.43-58, 1998.
- BERTON, R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.259-268.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Reciclagem de lodo de esgoto na agricultura. In: MELO, I.S.; SILVA, C.M.M.S.; SCRAMIN, S.; SPESSOTO, A. (Ed.). **Biodegradação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.93-106.
- BLECHSCHMIDT, R.; SCHAFF, W.; HUTT, R.F. Soil microcosm experiments to study the effects of waste material application on nitrogen and carbon turnover of lignite mine spoils in Lusatia (Germany). **Plant and Soil**, v.213, p.23-30, 1999.
- BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soils in the northeastern United States. **Journal of Geophysical Research**, v.95, p.13997-14005, 1990.
- CARMO, J. B. **Impacto da aplicação de biossólidos nas atividades microbiana do solo**. 2001. 105p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CETESB. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação (P4230)**. São Paulo, 1999.
- EPA. **Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods**. 3. ed. Washington: US Environmental Protection Agency: Office of Solid Waste and Emergency Response: US Government Printing Office: Washington, DC, 1986.
- FEIGL, B.J. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). **Plant and Soil**, v.175, p.21-29, 1995.
- FERNANDES, S.A.P.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, J.; CARVALHO, M.C. Seasonal variation of soil chemical properties and trace gas fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultissol (Amazon, Brazil). **Geoderma**, v. 107, p.227-241, 2002.
- FERNANDES, S.A.P.; BETTIOL, W.; CERRI, C.C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil  $\delta^{13}\text{C}$  and on total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**, v.125, p.49-57, 2005.
- FLESSA, H.; BEESE, F. Laboratory estimates of trace gas trace emissions following surface application and injection of cattle slurry. **Journal of Environmental Quality**, v.29, p.262-268, 2000.
- FORTES NETO, P. **Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas**. 2000. 113p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- GILLER, K.E.; WITTER, E.; McGRATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial process in agricultural soils: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.1389-1414, 1998.
- HUTCHINSON, G.L.; DAVIDSON, E.A. Processes for production and consumption of gaseous nitrogen oxides in soil. **American Society of Agronomy**, v.55, p.79-93, 1993.
- IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/pub.htm>>. Acesso em: 2000 e 2001.
- JAHNEL, M.C. **Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos**. 1997. 79p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- KHAN, M.; SCULLION, J. Effect of soil on microbial responses to metal contamination. **Environmental Pollution**, v.110, p.115-125, 2000.
- LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, v.2, p.133-171, 1985.
- MELO, W.J. de; MARQUES, O.M. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.139-142.
- MELO, W.J. de; MARQUES, O.M.; MELO V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.;

## Efeito do Lodo de Esgoto nos Fluxos de Gases na Interface Solo-Atmosfera

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. Cap. 11, p.289-363.

MER, L.J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil: A review. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.25-50, 2001.  
RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico: Fundação IAC, 1996.

SCOTT, A.; CRICHTON, I.; BALL, B.C. Long-term monitoring of soil gas fluxes with closed chambers using automated and natural systems. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.1637-1643, 1999.

STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BOWDEN R.D.; ABER J.D. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, v.341, p.314-316, 1989.

STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BOWDEN, R.D.; CASTRO, M.S.; LUGO, A.E. The effects of natural and human disturbances on soil nitrogen dynamics and trace gas fluxes in Puerto Rican wet forest. **Biotropica**, v.23, p.356-363, 1991.

WONG, J.W.C.; LAI, K.M.; FANG, M. Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. **Environment International**, v.24, p.935-943, 1998.

### Comunicado Técnico, 32

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na  
**Embrapa Meio Ambiente**

**Endereço:** Rodovia SP-340 – km 127,5  
Tanquinho Velho – Caixa Postal 69  
Cep. 13820-000 – Jaguariúna, SP

**Fone:** (19) 3867-8700

**Fax:** (19) 3867-8740

**E-mail:** sac@cnpmma.embrapa.br

1ª edição

### Comitê de editoração

Presidente: *Ladislau Araújo Skorupa*

Secretário-executivo: **Sandro Freitas Nunes**

membros: *Cláudio César de Almeida Buschinelli;*  
*Heloisa Ferreira Filizola;* *Manoel Dornelas de Souza;*  
*Maria Conceição Peres Young Pessoa;* *Marta*  
*Camargo de Assis;* *Oswaldo Machado R. Cabral*

### Expeditente

**Normalização Bibliográfica:** *Maria Amélia de Toledo Leme*

**Editoração Eletrônica:** *Silvana Cristina Teixeira*