

## **Avaliação da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo: Cuidados na Interpretação**



## **República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente

## **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Roberto Rodrigues*  
Ministro

## **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa**

### **Conselho de Administração**

*José Amauri Dimázio*  
Presidente

*Clayton Campanhola*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*  
*Alexandre Kalil Pires*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

### **Diretoria Executiva da Embrapa**

*Clayton Campanhola*  
Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*  
*Herbert Cavalcante de Lima*  
*Mariza Marilena Tanajura Luz Barbosa*  
Diretores-Executivos

### **Embrapa Clima Temperado**

*João Carlos Costa Gomes*  
Chefe-Geral

*José Dias Vianna Filho*  
Chefe-Adjunto de Administração

*Waldyr Stumpf Júnior*  
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Apes Roberto Falcão Perera*  
Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1516-8840

Outubro, 2004

## **Documentos 130**

# **Avaliação da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo: Cuidados na Interpretação**

Clenio Nailto Pillon  
Mariana Potes  
Carla da Silva Moraes  
Lúcia Elena C. da Cruz

Pelotas, RS  
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Clima Temperado**

Endereço: BR 392 km 78

Caixa Postal 403 - Pelotas, RS

Fone: (53) 275 8199

Fax: (53) 275 8219 - 275 8221

Home page: [www.cpact.embrapa.br](http://www.cpact.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpact.embrapa.br](mailto:sac@cpact.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia

**Membros:** Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio Suita de Castro, Sadi Macedo Sapper, Regina das Graças V. dos Santos

**Suplentes:** Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper/Ana Luiza Barragana Viegas

Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Editoração eletrônica: Oscar Castro

**1ª edição**

1ª impressão 2004: 100 exemplares

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

---

Avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo: cuidados na interpretação/Clenio Nailto Pillon... [et. al.]. -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004.

19p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 130).

ISSN 1516-8840

1. Solo - Manejo - Cobertura. I. Pillon, Clenio Nailto. II. Série.

---

CDD 631.452

# **Autores**

## **Clenio Nailto Pillon**

Doutor

Embrapa Clima Temperado, BR 392, km 78

Cx. Postal 403, 96001-970, Pelotas, RS

Fone (53) 275 8222

E-mail: pillon@cpact.embrapa.br

## **Mariana Potes**

Acadêmica do Curso de Química Ambiental da

Universidade Católica de Pelotas

E-mail: marianapotes@yahoo.com.br

## **Carla da Silva Moraes**

Acadêmica do Curso de Ecologia da Universidade

Católica de Pelotas

E-mail: carlasil.moraes@bol.com.br

## **Lúcia Elena Coelho da Cruz**

Eng. Agrôn., Mestranda do Curso de Pós-

Graduação em Agronomia da Universidade

Federal de Pelotas

E-mail: luciaccruz@aol.com

# Apresentação

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, com a utilização de práticas como a semeadura em plantio direto, tem propiciado alterações nos fluxos da matéria orgânica (MO) do solo, permitindo, de modo geral, melhorias na qualidade deste, devido ao aumento das adições de resíduos vegetais e também à redução nas operações de preparo do solo.

O monitoramento das alterações na MO do solo ao longo do tempo, comparada a condição inicial (marco zero) ou a um sistema de referência (sistemas cuja MO encontra-se em estado estável - por exemplo, um campo nativo ou mata nativa), permite inferir se o sistema está caminhando em direção a sustentabilidade ou a degradação. Entretanto, a medida destas alterações tem gerado confusões na interpretação das alterações da MO no solo. Alterações no teor e conteúdo ou estoque total de MO do solo têm sido tratadas como sinônimos, quando na verdade representam grandezas diferentes.

O presente trabalho fornece subsídios teóricos e exemplos práticos para que técnicos e profissionais possam compreender as diferenças entre teor e conteúdo de MO do solo, de modo a facilitar a interpretação adequada de resultados de análise da MO do solo e de sua evolução em agroecossistemas.

Waldyr Stumpf Júnior  
*Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento*  
Embrapa Clima Temperado

# Sumário

<b>Introdução .....</b>	<b>11</b>
<b>Teor e conteúdo de matéria orgânica do solo .....</b>	<b>13</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>18</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>19</b>

# Introdução

---

O solo é constituído pelas fases líquida, representada pela água armazenada no solo num determinado momento, pela fase gasosa, da qual fazem parte gases como o oxigênio, o gás carbônico, metano e outros, pela fase mineral, constituída por minerais e/ou rochas em diferentes estágios de intemperismo e diferentes granulometrias (tamanhos de partícula), por uma fração orgânica, representada pela matéria orgânica (MO) do solo e por integrantes da fauna do solo, como ácaros, colêmbolos, térmitas, minhocas, etc.

O termo matéria orgânica (MO) do solo refere-se ao material orgânico total do solo, incluindo os resíduos identificáveis de plantas (recursos primários), resíduos de animais do solo e microorganismos (recursos secundários), MO dissolvida, exudatos radiculares e substâncias húmicas (SHs) macromoleculares de estrutura mais complexa, como os ácidos húmicos e humina. A MO do solo apresenta um papel importante na ciclagem do carbono do planeta e constitui-se o segundo maior compartimento de carbono do mundo, desconsiderando-se as reservas de combustíveis fósseis. Enquanto os estoques de C na atmosfera atingem 750 Pg (1 Pg =  $10^{15}$  g) e o C armazenado na vegetação está ao redor de 550 Pg, a MO do solo armazena 1500 Pg de C. Somente o C existente nos oceanos supera o C armazenado no solo na forma de MO. Queimadas, a queima de combustíveis fósseis e a oxidação da MO do solo contribuem para a manutenção, ou mesmo o incremento dos níveis de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Na contramão

deste processo está a fotossíntese, o processo mais eficiente e econômico de captura do  $\text{CO}_2$  atmosférico, transformando o carbono presente no ar em tecido vegetal na presença de luz.

Considerando que no tecido vegetal das plantas, em base seca, existe em média 40% de C (o restante são outros constituintes como N, S, Ca, Mg, Zn, O, H, etc...), quando as plantas morrem ou seus resíduos são depositadas sobre o solo, ocorre a adição de C ao solo. Neste caso, já na superfície do solo, começa o processo de decomposição dos resíduos vegetais, através, inicialmente, da atividade da fauna e, posterior ou concomitantemente, dos microorganismos. Os microorganismos do solo (principalmente bactérias, fungos e actinomicetos) utilizam os resíduos vegetais como fonte de C e de energia para seu crescimento e multiplicação. Neste processo, nem todo o C adicionado pelas plantas permanece no solo. Somente uma parte (20%, em média) persiste por um determinado período de tempo, dependendo da sua forma, localização e constituição química e fará parte da MO do solo. Os 80% restantes retornarão para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$  oriundo do processo de decomposição.

Num processo concomitante ao anterior e especialmente quando a adição de resíduos vegetais ao solo é pequena, como nos sistemas que apresentam pousio de inverno ou de verão, os microorganismos do solo, para sua sobrevivência, utilizam parte do C armazenado na MO já presente no solo como fonte de C e de energia. Neste processo, uma percentagem do C é oxidado, liberando  $\text{CO}_2$  e água, constituindo a taxa básica de mineralização anual da MO do solo. Esta taxa é maior para solos arenosos (média de 5% ao ano) do que para os argilosos (média de 2-3% ao ano) (dados de regiões subtropicais) e maior em regiões de clima quente e úmido do que em regiões de clima frio e/ou seco. Como resultado da ação microbiana sobre o C adicionado ou já existente no solo, ocorrem fluxos de C dos compartimentos mais lábeis (resíduos vegetais em decomposição) para compartimentos mais estáveis da MO do solo (MO associada à fração mineral ou frações de maior grau de humificação).

O balanço entre as adições e a taxa de perda de C do sistema determinam se o solo tenderá para o aumento, manutenção ou declínio do conteúdo de MO ao longo do tempo. A avaliação ou monitoramento

da MO do solo no tempo ou a comparação do conteúdo de MO de um sistema a uma determinada condição de referência (por exemplo, uma área de mata nativa ou de campo nativo) constitui-se num indicador da qualidade do solo, já que a MO é extremamente sensível ao manejo do solo e às ações antrópicas.

Ao mesmo tempo em que a importância da MO no ambiente e sua dinâmica são bem conhecidos, uma das grandes dificuldades frequentemente observadas na interpretação de estudos envolvendo MO do solo reside na falta de rigor conceitual entre os termos "teor e conteúdo" de MO do solo. Os termos não são sinônimos e representam grandezas diferentes. O objetivo central deste trabalho é fornecer subsídios teóricos para a correta interpretação de resultados de pesquisa e/ou de análises de carbono orgânico total (COT) ou MO do solo.

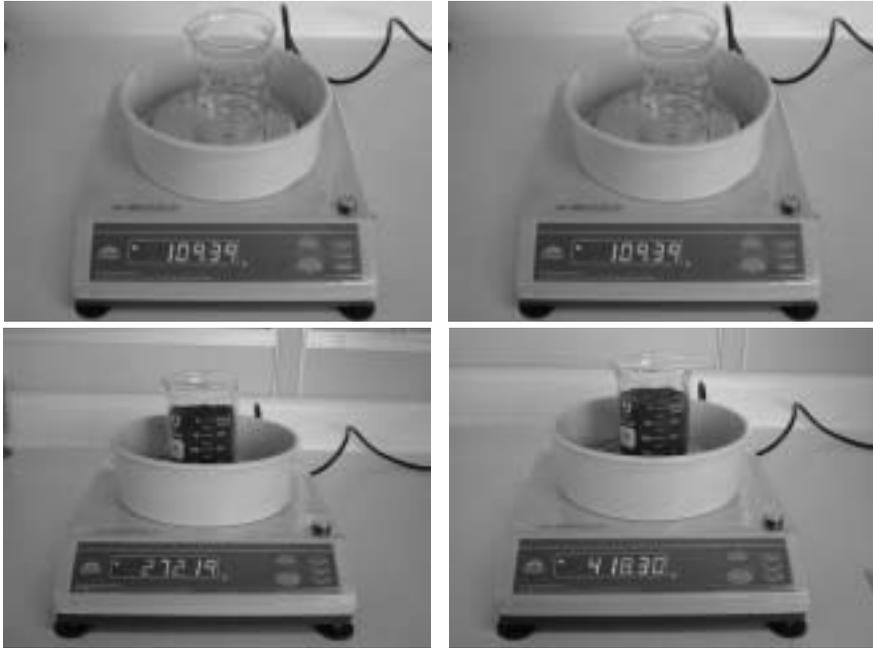
## **Teor e conteúdo de matéria orgânica do solo**

**Teor** dá idéia de parte de um todo, expresso em percentagem, relação massa/massa ou volume/volume. Por exemplo, 2% de MO significa que existem 2kg de MO em cada 100 kg de solo. Às vezes, nos deparamos com informações como "naquele solo, a MO aumentou 40% em três anos, passando de 2% para 2,8%". Isso significaria dizer que em um hectare e na camada 0-20 cm de solo, considerando-se uma densidade do solo média de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ , teríamos  $3.000 \text{ Mg}$  de solo ( $10.000 \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3 \times 1,5 \text{ Mg m}^{-3} = 3.000 \text{ Mg}$  de solo por hectare) ( $1 \text{ Mg} = 1 \text{ T}$ ). Dois por cento (2%) de MO, significa que existem  $60 \text{ Mg}$  de MO por hectare. O aumento absoluto de 0,8% no teor de MO implicaria num acréscimo de  $24 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MO no solo. Assumindo o fator de conversão de MO para C igual a 1,724 (em média, em cada 100kg de MO existem 58 kg de C, logo,  $100/58 = 1,724$ ); dividindo-se  $24 \text{ Mg ha}^{-1}$  por 1,724, temos um acréscimo de  $13,92 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C em três anos. Para que isso fosse possível, seria necessária uma adição anual de  $23,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C ao solo, considerando-se que somente 20% do C adicionado efetivamente é convertido em MO do solo, ou seja, o equivalente a adição de  $58 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca vegetal, considerando-se ainda não haver nenhuma perda de MO dessa mesma camada de solo por decomposição, fato que não é verdadeiro. Comparado às adições médias anuais de C para sistemas intensivos como lablab no inverno e milho no

verão, cujo máximo valor obtido para a Depressão Central do RS foi  $6,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ , obter uma adição anual praticamente quatro vezes maior utilizando-se somente plantas é, do ponto de vista técnico, inviável. Portanto, é preciso ter cuidado na interpretação de alguns resultados.

Além da falta de exatidão na determinação do teor de MO do solo por colorimetria (procedimento comumente adotado na análise de rotina), um dos principais motivos de erros na interpretação das variações na MO ao longo do tempo consiste em desconsiderar as alterações na densidade do solo. Por exemplo, incrementos no teor de MO do solo podem determinar redução na densidade do solo pelo aumento da agregação e porosidade e também porque a densidade de partícula de resíduos vegetais é menor do que a de partículas minerais. Em função dessas ponderações, é sempre mais adequado expressar as variações da MO em termos do conteúdo de MO ou conteúdo de carbono orgânico total (COT) do solo, já que o termo **conteúdo** reflete a expressão de uma determinada quantidade de massa por unidade de volume de solo ou área de superfície, ambos referentes a uma camada conhecida de solo, levando em conta as alterações na densidade do solo.

A Figura 1 representa esquematicamente uma analogia que ajuda no entendimento das diferenças entre teor e conteúdo de MO do solo. Assumindo-se uma amostra de solo coletada da camada 0-20cm e cuja análise de MO apresentou um teor de  $10 \text{ g kg}^{-1}$  ou 1%, ao enchermos um recipiente de volume conhecido com este solo, por exemplo, um becker de 200 mL, de forma que o solo seja simplesmente solto dentro do copo e procedermos a pesagem do solo adicionado ao copo até o volume de 200mL, poderemos ter um valor de massa de 162,80g de solo ( $272,19\text{g}-109,39\text{g}$ ) (Figura 1c). Nesta situação, o **teor** de MO do solo continua sendo 1% e o **conteúdo** de MO contido no recipiente será de **1,628g**. Por que 1,628g de MO no copo? A explicação é a seguinte: se o solo possui 1% de MO, então, a cada 100g de solo existe 1g de MO; como no copo couberam 162,80g de solo, por uma regra de três direta, em 162,80g de solo existirão 1,628g de MO.



**Solo solto**

**Solo compactado**

**Figura 1.** Representação da variação da massa de solo por unidade de volume (200mL) em função da compactação do solo. a e b) massa do copo de becker vazio; c) massa do solo solto mais massa do copo de becker e d) massa do solo compactado mais massa do copo de becker.

O mesmo exemplo hipotético adotado para os copos pode ser utilizado para demonstrar as diferentes interpretações de evolução da MO ou COT no solo ao longo do tempo. O efeito da variação no teor de carbono orgânico, da densidade do solo e da espessura da camada de solo sobre a alteração no conteúdo de COT do solo pode ser observado na Tabela 1. Teores similares de carbono orgânico no solo nem sempre significam conteúdo similar, uma vez que a variação na densidade do solo promove alteração no conteúdo de carbono orgânico total do solo. Da mesma forma, os conteúdos de COT ou de MO devem sempre se referir a uma determinada camada de solo.

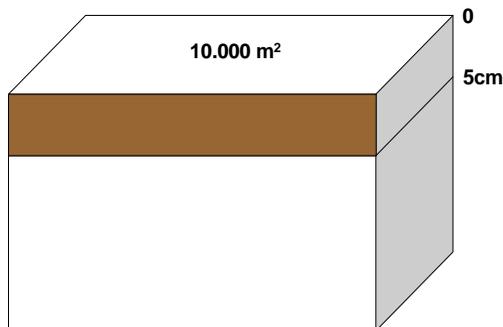
**Tabela 1.** Efeito da variação no teor de carbono, na densidade do solo e na espessura da camada de solo sobre o conteúdo de COT do solo.

Teor de carbono	Camada de solo	Densidade do solo	Conteúdo de COT
<b>g kg<sup>-1</sup></b>	<b>cm</b>	<b>Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>
<b>10,00</b>	<b>0-2,5</b>	<b>1,54</b>	<b>3.850</b>
<b>10,00</b>	<b>0-2,5</b>	<b>1,30</b>	<b>3.250</b>
<b>10,00</b>	<b>0-5,0</b>	<b>1,54</b>	<b>7.700</b>
<b>10,00</b>	<b>0-5,0</b>	<b>1,30</b>	<b>6.500</b>
<b>20,00</b>	<b>0-2,5</b>	<b>1,54</b>	<b>7.700</b>
<b>20,00</b>	<b>0-2,5</b>	<b>1,30</b>	<b>6.500</b>
<b>20,00</b>	<b>0-5,0</b>	<b>1,54</b>	<b>15.400</b>
<b>20,00</b>	<b>0-5,0</b>	<b>1,30</b>	<b>13.000</b>

Por exemplo, o efeito da densidade do solo sobre a alteração no conteúdo de COT do solo observado na Tabela 1 pode ser melhor visualizado apresentando-se a metodologia de cálculo, usando-se como apoio a Figura 2. Tomando-se como referência a área de 1 ha, ou seja, 10.000m<sup>2</sup> (área da base da figura geométrica), e a camada de 0-5cm de solo (altura da figura geométrica), é possível obter-se o volume de solo ocupado por esta camada. Assim, o volume pode ser calculado pela seguinte expressão:

Volume ocupado (m<sup>3</sup>) = área base (10.000m<sup>2</sup>) x altura (0,05m);

**Volume = 500m<sup>3</sup> de solo por ha**



**Figura 2.** Representação esquemática da camada 0-5cm de um solo.

Após obtido o volume de solo, diretamente relacionado à espessura da camada de solo, é preciso calcular a massa de solo (peso) existente na referida camada. O parâmetro que permite fazer a conversão de volume em massa equivalente é a densidade do solo. Logo, utilizando-se a densidade do solo de  $1,54 \text{ Mg m}^{-3}$ , ou seja,  $1.540 \text{ kg m}^{-3}$  (Tabela 1), é possível obter a massa equivalente de solo, conforme segue:

**Massa de solo, camada 0-5cm =**

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 1.540 \text{ kg solo} \\ 500\text{m}^3 \longrightarrow x \end{array}$$

$$X = 770.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de solo}$$

Sabendo-se a massa de solo, em kg por ha e conhecendo-se o teor de COT da respectiva camada de solo (0-5cm), no exemplo igual a 2% ou  $20\text{g kg}^{-1}$  de solo, é possível calcular o conteúdo de COT, conforme segue:

**Conteúdo de COT,  $\text{kg ha}^{-1}$ , camada 0-5cm =**

$$\begin{array}{l} 1 \text{ kg solo} \longrightarrow 20\text{g de COT} \\ 770.000 \text{ kg solo} \longrightarrow X \end{array}$$

$$X = 15.400.000 \text{ g COT ou } 15.400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de COT}$$

Entretanto, se o teor de COT do solo for idêntico ao exemplo anterior (2%) e se a densidade do solo for igual a  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  (Tabela 1), adotando-se a mesma memória de cálculo, o conteúdo de COT na camada 0-5cm de solo reduzirá para  $13.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , redução esta diretamente proporcional à redução na densidade do solo.

Usando-se a mesma memória de cálculo, é possível checar os efeitos dos diferentes teores de COT ou das diferentes espessuras de camada de solo no conteúdo de COT do solo, conforme exemplos ilustrados na Tabela 1.

## **Considerações finais**

Recomenda-se que os técnicos tomem cuidado na interpretação de resultados de análise de MO e COT do solo. O primeiro cuidado é lembrar que teor e conteúdo são grandezas diferentes. Resultados de análise de solo que informem somente o teor, seja de MO ou COT, não permitem inferir sobre alterações no conteúdo total, pois uma das conseqüências do aumento do teor de MO no solo é a redução da densidade do solo. O perfil superficial de solo numa mata nativa é um bom exemplo desta constatação.

Comparar camadas de solo idênticas também é fator decisivo na interpretação dos resultados, especialmente de conteúdo, pois camadas mais espessas implicam em uma maior massa equivalente de solo, com reflexos diretos sobre o conteúdo total. Adicionalmente, é importante lembrar que a MO é acumulada inicialmente nas camadas superficiais, aumentando em profundidade com o tempo. Portanto, os efeitos desta estratificação sobre os teores de MO e sobre a alteração na densidade do solo são diferenciados conforme a camada de solo.

## **Referências bibliográficas**

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

**BURLE, M.L. Efeito de sistemas de cultura em características químicas do solo.** Porto Alegre, 1995. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

**DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto.** 2003. 164p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

**PILLON, C.N. Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto.** 2000. 232p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

**PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; NETO, L.M. Efeito estufa: potencialidades e contribuições da agricultura.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 17p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 109).



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
BR 392 - km 78 - CEP 96001-970 - Palotas, RS - Cx. Postal 403  
Fone (53) 275-8208 - Fax (53) 275-8219  
[www.cpact.embrapa.br](http://www.cpact.embrapa.br)  
[sac@cpact.embrapa.br](mailto:sac@cpact.embrapa.br)*

**Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento**

**GOVERNO  
FEDERAL**