



# NORMA TÉCNICA

P4.233

Set/1999  
38 PÁGINAS

Lodos de curtumes - critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos: manual técnico

**Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**  
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345  
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP  
Tel.: (11) 3133 3000 Fax.: (11) 3133 3402

[http: // www . cetesb . sp . gov . br](http://www.cetesb.sp.gov.br)

|  |  |                          |
|--|--|--------------------------|
|  <p><b>CETESB</b></p> | <p><b>LODOS DE CURTUMES – CRITÉRIOS PARA O USO<br/>EM ÁREAS AGRÍCOLAS E PROCEDIMENTOS PARA<br/>APRESENTAÇÃO DE PROJETOS</b></p> <p><b>(Manual Técnico)</b></p> | <p>P4.233<br/>set/99</p> |
|--|--|--------------------------|

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| Introdução.....  | 2  |
| 1. Objetivo .....  | 2  |
| 2. Documentos normativos .....   | 2  |
| 3. Definições .....  | 2  |
| 4. Aplicação da norma .....  | 3  |
| 5. Condições para aplicação de lodos de curtumes na agricultura.....                                 | 3  |
| 6. Apresentação de projeto de sistemas de aplicação de lodos de curtumes na agricultura.....         | 4  |
| 7. Classificação dos lodos quanto à presença de patógenos e tratamento de redução de patógenos ..... | 8  |
| 8. Critérios para o uso de lodos de curtumes em áreas agrícolas.....                                 | 9  |
| 9. Critérios de operação .....   | 11 |
| 10. Responsabilidades do gerador.....  | 16 |
| 11. Revisão da norma.....  | 16 |
| Anexo A – Solicitação de renovação da aprovação para um local de aplicação de lodos .....            | 17 |
| Anexo B – Metodologia para as análises e apresentação dos resultados .....                           | 19 |
| Anexo C – Processos de redução adicional de patógenos.....   | 26 |
| Anexo D – Processos de redução de patógenos .....  | 28 |
| Anexo E – Processos de tratamento de lodos para redução de atração de vetores .....                  | 29 |
| Anexo F – Preparação e aplicação do bio sólido – Declaração .....                                    | 31 |
| Anexo G – Planilha para o cálculo do nitrogênio disponível no lodo NDisp.....                        | 33 |
| Anexo H - Tabela de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo..... | 34 |
| Referências bibliográficas .....   | 37 |

## Introdução

A aplicação de resíduos no solo é uma prática cada vez mais utilizada nos últimos anos. Nos Estados Unidos e Europa foram publicadas regulamentações específicas sobre a utilização de lodos de esgoto em solos, as quais estabelecem limites para concentrações de metais pesados no lodo e taxas de aplicação; necessidade de controle de organismos patogênicos; restrições quanto à seleção da área e uso em determinados tipos de cultura e critérios de manejo.

Devido ao seu elevado teor de nitrogênio e potencial de neutralização da acidez do solo, a utilização de lodos de curtumes em áreas agrícolas pode ser uma alternativa de reaproveitamento desses resíduos.

Para a aplicação de lodos de curtumes em áreas de uso agrícola, adotou-se a premissa de que, desde que atendidos critérios que garantam a minimização de riscos de poluição, tal prática deve proporcionar um benefício agrícola para a cultura e/ou melhoria na utilização da área.

## 1. Objetivo

Esta norma estabelece os procedimentos para a apresentação de projetos bem como os critérios e requisitos para a utilização de lodos de curtime em áreas agrícolas, visando o atendimento de exigências ambientais.

## 2. Documentos Normativos

Na aplicação desta norma é necessário consultar:

- Lei Estadual nº 997, de 31/05/76, e seu regulamento aprovado pelo Decreto Estadual nº 8468, de 08/09/76 e
- **Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT**
  - NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos;
  - NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduos e
  - NBR 13.221 - Transporte de Resíduos.

## 3. Definições

Para os efeitos desta norma são adotadas as seguintes definições:

- **Aplicação no Solo** - é a ação de aplicar o lodo uniformemente sobre a superfície do terreno (seguida ou não de incorporação), ou de promover a sua injeção subsuperficial, de modo a melhorar as condições do solo ou o desenvolvimento geral das culturas implantadas;
- **Áreas Agrícolas** - áreas destinadas à produção agrícola, florestal ou pecuária, ou áreas degradadas submetidas a processo de revegetação para sua recuperação;
- **Atratividade de Vetores** - é a característica do lodo, não tratado ou tratado inadequadamente, de atrair roedores, insetos ou outros vetores de organismos patogênicos;
- **Densidade de Microrganismos** - é o número de organismos presentes no lodo por unidade de massa dos sólidos totais (base seca);

- **Fração de Mineralização do Nitrogênio do Lodo** - representa a fração expressa em porcentagem do nitrogênio orgânico presente no lodo que, por meio do processo de mineralização, será transformada em nitrogênio inorgânico disponível para plantas (nitratos, nitritos, nitrogênio amoniacal);
- **Organismos Patogênicos** - organismos capazes de causar doenças em outros organismos vivos, estando incluídos, dentre outros, as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos;
- **Parcela** - é uma área homogênea, definida com base na sua posição topográfica e tipo de solo, onde será feita a aplicação do lodo;
- **Taxa Anual de Aplicação Máxima** - é a máxima quantidade de lodo (base seca), limitada pelo teor de metais, em toneladas e por hectare por ano, que pode ser aplicada e
- **Taxa de Aplicação** - é a quantidade projetada para a aplicação do lodo em toneladas (base seca) por hectare de solo, não superior à necessidade de macronutriente de um ciclo da cultura.

#### 4. Aplicação da Norma

4.1 Esta norma aplica-se à utilização de lodos gerados em sistemas de tratamento dos despejos de curtumes.

4.2 Resíduos constituídos exclusivamente de lodos dos banhos de curtimento e recurtimento com cromo, e aqueles provenientes de sistemas de decantação primária de curtumes que não efetuem segregação dos banhos que contenham cromo, não poderão ser aplicados em áreas de uso agrícola, devido às suas características de inibição da degradação da matéria orgânica e por se tratarem de lodos que não proporcionam benefício agrícola.

#### 5. Condições para Aplicação de Lodos de Curtumes na Agricultura

A aprovação do ponto de vista ambiental da aplicação de lodos na agricultura depende da apresentação de projeto a ser submetido à apreciação da CETESB.

Este projeto é específico para cada indústria e área de aplicação, devendo ser observado o roteiro apresentado no **item 6** e os critérios especificados nos **itens 7, 8 e 9**.

Para a aprovação do projeto de aplicação de lodos de curtume na agricultura, será emitido, pela CETESB, um documento de aprovação. Ele será temporário e renovável. Terá validade de um ano, com exceção feita aos lodos Classe A que apresentarem concentrações de cromo inferiores a 500 mg/kg, os quais receberão aprovação com 3 (três) anos de validade. A aprovação poderá ser renovada, mediante a análise do relatório anual de acompanhamento que deve ser encaminhado pelo gerador do lodo à CETESB, até 60 dias antes do vencimento da mesma. Para renovação, encaminhar à CETESB solicitação conforme documento especificado no **Anexo A**.

Com respeito ao transporte dos lodos para o local de aplicação, em conformidade com o regulamento da Lei Estadual nº 997, de 31/05/76, aprovado pelo Decreto Estadual nº 8468, de 08/09/76, a empresa transportadora do lodo deverá estar devidamente licenciada para tal atividade junto à CETESB.

## **6. Apresentação de Projeto de Sistemas de Aplicação de Lodos de Curtumes na Agricultura**

Os projetos de sistemas de aplicação de lodos na agricultura devem contemplar os sub itens descritos a seguir:

### **6.1. Caracterização da instalação de tratamento dos efluentes**

Deverão ser apresentadas informações sobre o processo produtivo e o fluxograma simplificado do sistema de tratamento dos efluentes onde o lodo é gerado. Incluir informações sobre as matérias-primas empregadas e segregação dos despejos.

### **6.2. Caracterização do lodo**

A caracterização do lodo é um dos aspectos mais importantes do projeto. A amostragem deverá considerar as exigências da norma da ABNT, NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos. Devem ser realizadas, no mínimo, três campanhas de amostragem, efetuadas em datas distintas. Em cada uma das campanhas as amostras devem ser compostas. Estas campanhas de amostragem devem ser planejadas de maneira a obter-se uma composição média do lodo, de acordo com a variabilidade esperada na sua geração.

As metodologias a serem adotadas para as análises do lodo, indicadas nos **itens 6.2.1 e 6.2.2**, estão especificadas no **Anexo B**.

#### **6.2.1. Caracterização quanto à composição e presença de patógenos**

Esta caracterização deverá incluir os parâmetros relacionados no **Quadro 1**.

Considerando as peculiaridades do processo produtivo, poderá ser exigida, para essa caracterização, a inclusão de parâmetros adicionais.

## Quadro 1. Relação dos parâmetros para análise no lodo

|  |
|--|
| Cálcio   |
| Carbono orgânico total                             |
| Cromo total  |
| Fósforo  |
| Magnésio   |
| Nitrogênio amoniacal                               |
| Nitrogênio nitrato/nitrito                         |
| Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl            |
| pH   |
| Potássio   |
| Sódio total  |
| Sólidos Voláteis (%) base seca                     |
| Umidade  |
| Número Mais Provável (NMP) de <i>Salmonella sp</i> |
| Número Mais Provável (NMP) de Coliformes Fecais    |

### 6.2.2. Caracterização quanto à mineralização do nitrogênio

Deverá ser apresentado resultado de ensaio para determinação da fração de mineralização do nitrogênio do lodo (conforme **Anexo B.6**), tendo em vista justificar a frequência e taxa de aplicação propostas. Alternativamente, durante o período de realização do ensaio, poderá ser adotado o valor de 35% para a taxa de mineralização, valor baseado em ensaios realizados com lodo de caleiro sem cromo (AQUINO NETO, V., 1998).

### 6.3. Caracterização do local de aplicação

#### 6.3.1. Identificação do local

Deverão ser apresentados o nome e o endereço do proprietário da área e a declaração de consentimento do uso da propriedade para aplicação do lodo.

#### 6.3.2. Localização

Deverão ser incluídas plantas planialtimétricas de situação dos locais de aplicação propostos, com a escala mínima de 1:10.000, abrangendo até 500 m dos limites da aplicação, trazendo indicações dos seguintes elementos:

- indicação do uso do solo na área a ser utilizada para a aplicação;

- localização de nascentes e olhos d'água;
- localização de corpos d'água indicando sua largura;
- localização de lagoas, lagos, reservatórios, captações, poços de abastecimento de água, residências;
- matas nativas remanescentes;
- levantamento das unidades de conservação incidente;
- acessos ao local e
- descrição da vizinhança.

Nos locais onde não se dispõe do levantamento planialtimétrico na escala 1:10.000, serão aceitos, excepcionalmente, os levantamentos na escala 1:50.000, complementados por descrição detalhada da área quanto à proteção de erosão e croqui com indicação das declividades das áreas de aplicação.

### **6.3.3. Caracterização do solo**

Apresentar resultados de análise textural dos solos do local, análise química padrão de fertilidade [pH, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases ( V%)]; cromo total, sódio trocável; resultado do cálculo da saturação em sódio em função do sódio trocável; condutividade elétrica. As análises devem ser realizadas em cada parcela, em amostras compostas de, no mínimo, 20 sub-amostras. Indicar, em planta, as parcelas definidas para fins de caracterização e monitoramento do solo, demarcando-as com base na uniformidade de manejo, homogeneidade do solo e a posição topográfica, não devendo cada parcela ultrapassar 20 hectares.

### **6.4. Taxa de aplicação**

Deverá ser apresentada a base de cálculo para a taxa de aplicação e frequência de reaplicação a ser utilizada, que deverá considerar o benefício agrônômico da utilização do lodo na área, levando em conta o tipo de cultura a ser utilizada e as limitações quanto à aplicação de nitrogênio, metais (sódio e cromo) e pH resultante da mistura solo-lodo.

### **6.5. Forma de tratamento, armazenamento e transporte do lodo**

Antes da aplicação em áreas agrícolas, os lodos devem ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores. Deverá ser apresentada descrição detalhada dos processos adotados para o tratamento do lodo, formas de transporte, armazenamento junto ao gerador e na área de aplicação do lodo.

### **6.6. Plano de aplicação e manejo**

#### **6.6.1. Plano de aplicação**

Deverá ser apresentado o plano de aplicação do lodo, compreendendo:

- planta da área de aplicação com delimitação de parcelas e
- descrição da seqüência da aplicação do lodo, detalhando períodos previstos para a aplicação ao longo do ano.

### **6.6.2. Plano de manejo da área**

Deverá ser apresentado plano de manejo da área, compreendendo:

- indicação em planta das culturas de cada parcela;
- descrição do manejo detalhando época de plantio e/ou desenvolvimento da cultura e
- apresentar justificativa do plano de manejo considerando a capacidade de estocagem, o plano de aplicação do lodo e o benefício agrícola.

### **6.7 Planos de Operação e Monitoramento**

Apresentar descrição detalhada dos planos de operação, registros e monitoramento propostos para o acompanhamento da aplicação do lodo, incluindo modelo do documento a ser utilizado para o encaminhamento do lodo ao responsável pela aplicação (ver **item 9**). A aplicação do lodo deve estar, necessariamente, atrelada ao manejo agrícola recomendado para a cultura adotada, assim sendo, os períodos de aplicação devem estar associados ao período de preparo do solo ou desenvolvimento da cultura planejada.

### **6.8 Certificado Agrônomo**

Apresentar a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do projeto agrônomo proposto. No preenchimento da ART deverá ser indicado o responsável pelo projeto quanto à escolha do local, taxa de aplicação e escolha do tipo de cultura, devendo ser feita a anotação de tipo 3 no campo 6.

### **6.9 Informações Adicionais**

Sempre que alguma informação solicitada nesta norma não for incluída, em especial quanto à caracterização do lodo, ou que seja proposta alguma alteração das taxas de aplicação, deverão ser apresentadas justificativas, dados, referências bibliográficas e/ou ensaios alternativos que tenham sido realizados, que garantam a segurança ambiental na execução do projeto.

## 7. Classificação dos Lodos quanto à Presença de Patógenos e Tratamento de Redução de Patógenos

Dependendo das suas características e do tratamento a que for submetido o lodo, este será classificado em classe A ou classe B.

Um lodo será considerado classe A, quando atender ao estabelecido no **item 7.1**, e será considerado classe B quando atender ao estabelecido no **item 7.2**.

### 7.1 Classe A

Um lodo será considerado classe A, se o processo adotado para o seu tratamento, quanto à redução adicional de patógenos, for aprovado pelo órgão de controle ambiental, como capaz de produzir este efeito. Deve ainda ser analisado quanto à presença de coliformes fecais e *Salmonella sp*, no momento de seu uso ou disposição no solo agrícola ou no momento da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação.

O lodo deve atender aos seguintes limites para a densidade dos organismos especificados:

- para coliformes fecais, densidade inferior a  $10^3$  NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais), e
- para *Salmonella sp*, densidade inferior a 3 NMP/4g ST (Número Mais Provável por 4 g de Sólidos Totais).

No **Anexo C, item C.1** estão apresentados os processos de redução adicional de patógenos aceitos pela CETESB como capazes de promover redução adicional de microrganismos patogênicos. No **item C.2** estão descritos os critérios para aprovação de novos processos de tratamento para redução adicional de patógenos. Lodos gerados em sistemas que tratem exclusivamente águas residuárias industriais não contaminadas com patógenos são classificados como lodo classe A, desde que devidamente comprovado o atendimento aos limites definidos neste item, quando da sua caracterização de acordo com o descrito no **item 6.2**.

### 7.2 Classe B

Um lodo será classificado como classe B se a densidade de coliformes fecais do mesmo for inferior a  $2 \times 10^6$  NMP/g ST.

Para confirmação da classificação de um lodo como classe B, deve ser verificado o atendimento de, no mínimo, uma das condições abaixo:

- o processo adotado para seu tratamento visando a redução de patógenos tiver sido aceito pelo órgão ambiental, ou
- o resultado do monitoramento de coliformes fecais no lodo preparado para aplicação no solo, no momento do uso, disposição ou da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação, indicar que a média geométrica da densidade de coliformes fecais de sete amostras é inferior a  $2 \times 10^6$  NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) ou  $2 \times 10^6$  UFC/g ST (Unidades Formadoras de Colônias por grama de Sólidos Totais).

O **Anexo D** apresenta alguns exemplos e uma breve explicação de processos de redução de patógenos.

## **8. Critérios para o Uso de Lodos de Curtumes em Áreas Agrícolas**

O uso de lodos de curtumes em áreas agrícolas deve atender aos critérios descritos a seguir:

### **8.1 Exigências quanto à presença de patógenos e atratividade de vetores**

Antes da aplicação em áreas agrícolas, os lodos devem ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores.

Os **Anexos C e D** apresentam exemplos de processos de redução de patógenos para cada classe de lodo, conforme definido no **item 7**.

O **Anexo E** apresenta os exemplos de processos de tratamento de lodos para redução da atratividade de vetores.

Não será aceita a aplicação, em áreas de uso agrícola, de lodos que não atendam, no mínimo, aos requisitos estabelecidos para classificação do lodo como classe B.

#### **8.1.1 Condições específicas para lodos não contaminados com microrganismos patogênicos**

Lodos provenientes do tratamento de efluentes de curtume que não contenham despejos líquidos sanitários, que não estejam contaminados com microrganismos patogênicos e onde não se detectou a presença desses microrganismos na caracterização, estão dispensados de tratamento para redução de patogênicos.

### **8.2 Critérios de localização**

Na escolha do local deverão ser levados em consideração aspectos referentes à legislação vigente, especialmente a Legislação Florestal, a quantidade de lodo a ser aplicada, a facilidade de acesso durante o período de aplicação, a proximidade de áreas residenciais, a direção predominante dos ventos, a aprovação e consentimento dos proprietários, bem como as limitações descritas a seguir:

- a) A declividade da área destinada à aplicação do lodo não deve ultrapassar 10% para aplicação superficial sem incorporação, 15 % para aplicação superficial com incorporação e 18% para aplicação subsuperficial;
- b) devem ser mantidas zonas de proteção em relação às propriedades vizinhas, de modo a não causar incômodos à vizinhança pela emissão de odores e
- c) devem ser mantidas distâncias de 15 (quinze) metros de vias de domínio público e 10 (dez) metros de drenos interceptores e diversores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais.

A profundidade entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático deverá ser superior a 1,2 m na época da aplicação.

### **8.3 Critérios para a determinação da taxa de aplicação**

Deverá ser adotado, para a taxa de aplicação, o menor valor calculado de acordo com os critérios apresentados a seguir.

### 8.3.1 Taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível

A aplicação de lodo em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a **quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura** (em kg/ha) e o teor de nitrogênio disponível no lodo (**NDisp** em kg/toneladas).

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{NDisp (kg/t)}}$$

Para verificar a **quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura**, sugere-se consultar o Boletim Técnico nº100 do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (Rajj et alii, 1996).

O **NDisp** é calculado com base na planilha apresentada no **Anexo G**.

### 8.3.2 Taxa de aplicação em função do teor de sódio total

Devem ser observados os critérios apresentados no **Quadro 2** quanto à taxa de aplicação anual máxima considerando o teor de sódio total do lodo.

**Quadro 2. Limites de aplicação anual de sódio total em função da textura do solo**

| Classificação textural do solo                         | aplicação anual máxima <sup>(1)</sup><br>(kg Na total/ha) |
|--|---|
| solos arenosos e silto-arenosos                        | 400   |
| Solos orgânicos, siltosos, silto-argilosos e argilosos | 1000  |

**Observações:** O acúmulo de sódio no solo pode causar danos irreversíveis à estrutura do mesmo. Tendo em vista que os resíduos de curtumes contêm elevadas concentrações de sódio, recomenda-se que os solos sejam bem drenados ou drenados artificialmente. Uma das práticas adotadas para redução do teor de sódio do lodo consiste em efetuar o deságue (centrifugação, prensagem, drenagem) antes da aplicação.

### 8.4 Limites de acumulação de metais no solo

Deverão ser respeitados os limites máximos de acúmulo de cromo no solo comparando-se os resultados de análises deste metal (solo superficial - camada 0-20 cm) com o limite a ser definido pela CETESB. Preliminarmente, fica estabelecido o limite de 500 mg Cr/kg de solo<sup>(2)</sup>.

Na programação das aplicações deve-se levar em consideração:

- 1) a concentração de cromo já existente no solo (caracterização inicial);
- 2) a carga total de cromo acumulada decorrente de aplicações autorizadas por projetos aprovados pela CETESB e
- 3) o limite de carga máxima acumulável (teórica) de cromo.

<sup>(1)</sup> MINISTRY OF THE ENVIRONMENT; MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS (1996). *Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Land* - Ontario, Canada.

<sup>(2)</sup> EIKMANN, T.; KLOKE, A. (1988) *Boden Schutz - Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Berlin:Erich Schmidt Verlag, cap 3590, p.17-18. 1993.

Preliminarmente este limite é de 1000 kg Cr/ha<sup>(3)</sup>. A reaplicação fica condicionada ao atendimento desse limite.

A seguir é apresentado um exemplo de cálculo.

Sejam:

- caracterização inicial do solo: 90 mg/kg
- concentração de Cr no lodo: 1000 mg/kg
- carga máxima acumulada: 1000 kg/ha

Cálculo:

1ª aplicação – 10 t/ha = 10 kg de Cr/ha

2ª aplicação – 10 t/ha = 10 kg de Cr/ha

Caracterização inicial = 90 kg de Cr/ha

Total acumulado após a 2ª aplicação = 110 kg/ha

Este local poderá receber até 890 kg de Cr/ha após as duas primeiras aplicações.

## 9. Critérios de Operação

### 9.1 Critérios de estocagem

Lodo desaguado e tratado, isento de líquidos livres, poderá ser armazenado diretamente sobre o solo, desde que coberto.

Lodo contendo líquidos livres só poderá ser armazenado em área com piso impermeabilizado, apresentando ligeiro caimento para escoamento do percolado, que deverá ser coletado em tanque de acumulação e tratado adequadamente.

Para identificação da presença de líquidos livres adotar a norma ABNT NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduos.

### 9.2 Registros e relatórios da operação

Devem ser mantidos registros da operação e de aplicação dos lodos, compreendendo os elementos descritos a seguir:

- a) origem do lodo;
- b) caracterização do lodo;
- c) data da aplicação do lodo;
- d) localização da aplicação do lodo (local, campo, ou n.º da parcela);
- e) massa de lodo aplicado em toneladas (base seca) por hectare;
- f) totais anuais de lodo aplicado em toneladas secas por hectare;
- g) totais acumulados, desde o início da aplicação, em quilogramas por hectare, de cada metal avaliado;

---

<sup>(3)</sup> Este limite de carga acumulada foi baseado no limite de 500 mg Cr / kg de solo, estabelecido preliminarmente, considerando a camada arável de solo de 20 cm e densidade do solo de 1 g/cm<sup>3</sup>.

- h) método de aplicação;
- i) tipo de vegetação existente ou cultura a ser implantada no local;
- j) quantidade de nitrogênio disponível para as plantas, aplicada no solo, por período de cultivo;
- k) observações quanto à ocorrência de chuvas por ocasião da aplicação e condições do solo quanto a erosões.

Os itens de **(a)** a **(g)** deverão ser mantidos em arquivo pelo responsável pela aplicação ou pelo proprietário do terreno, indefinidamente. Os itens **(h)**, **(i)**, **(j)** e **(k)** devem ser mantidos em arquivo por um período de cinco anos.

### **9.3 Documento de controle do tratamento e aplicação do lodo**

O gerador do lodo deverá encaminhar ao responsável pela aplicação, declaração baseada no modelo apresentado no **Anexo F**, contendo informações sobre a qualidade do lodo, em especial quanto ao tratamento para redução de patógenos e vetores adotado, sobre os laudos das análises realizadas e orientações quanto à aplicação.

O aplicador, num prazo de até quinze dias após a aplicação, deverá devolver ao gerador cópia do documento adequadamente preenchido e assinado. O gerador deverá manter a cópia em arquivo por um período de cinco anos.

### **9.4 Responsabilidades operacionais quanto à aplicação**

O controle do manejo da área, quanto às taxas de aplicação, formas de operação, monitoramentos e limitações nas reaplicações é de responsabilidade do aplicador. O responsável pela aplicação não deve receber lodos que não venham acompanhados da documentação especificada no **item 9.3** e orientações quanto à aplicação.

#### **9.4.1 Exigências quanto à operação**

O transporte, o manuseio e a aplicação do lodo devem ser feitos atendendo às seguintes exigências:

- a) o transporte do lodo deverá ser realizado de modo a atender ao estabelecido na Norma da ABNT, NBR 13.221 - Transporte de Resíduos, e legislação vigente;
- b) o equipamento de transporte do lodo deve ser operado de forma a evitar derramamentos;
- c) devem ser evitados problemas de odor e outros incômodos;
- d) demarcar claramente os limites da área de aplicação de lodo durante o processo de aplicação;
- e) não armazenar nenhum lodo, sob qualquer condição, em qualquer local da área de aplicação que não seja coberto e dotado dos dispositivos adequados para a contenção do mesmo;
- f) manter manejo uniforme em cada parcela;
- g) manter práticas adequadas de controle de erosão;
- h) proteger a mata ciliar existente ou efetuar a revegetação nos locais em que esta foi eliminada, para garantir a proteção das águas superficiais;
- i) por um período de 30 dias após a aplicação do lodo, não permitir que animais pastem em áreas onde foi efetuada a aplicação. Caso a área seja usada para pastagem antes desse período, deverá ser apresentada justificativa para este procedimento;

- j) tomar medidas adequadas para restringir o acesso do público às áreas de aplicação de lodo, durante um período de 12 meses após a última aplicação. Estas medidas devem necessariamente incluir sinalização que indique as atividades que estão sendo realizadas em cada local;
- k) não aplicar lodo em condições de chuvas intensas. Após um evento igual ou superior a 12,5 mm de chuva num período de 24 horas, deverá ser respeitado um intervalo de 24 horas antes de qualquer aplicação. As medidas de destinação emergencial do lodo devem ser previamente submetidas à aprovação da CETESB;
- l) assegurar que a operação de incorporação de lodo no solo, seja feita no momento adequado;
- m) assegurar que o pH do solo na área de aplicação seja mantido entre 5,5 e 7,0 (determinação em CaCl), considerando a elevação de pH provocado pelo lodo, conforme metodologia indicada no **Anexo B.7**;
- n) manter as distâncias mínimas estabelecidas como zonas de proteção, para aplicação, descritas no **item 8.2**;
- o) notificar para o órgão de controle quaisquer situações de desconformidade e
- p) usar equipamento adequado e regulado para efetuar a aplicação do lodo de forma uniforme no solo.

#### **9.4.2 Recomendações para uma boa prática de aplicação**

- a) possuir caminhões claramente identificados, com nome e telefone para contato;
- b) manter contato adequado com o transportador, uma vez que a responsabilidade pelo projeto continua sendo do gerador do lodo;
- c) indicar claramente as zonas de proteção;
- d) manter o proprietário informado das restrições de uso da área, caso existam e
- e) efetuar a incorporação do lodo no solo, sempre que possível, imediatamente após a sua aplicação tendo em vista o melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no mesmo.

#### **9.4.3 Exigências para lodos classe B**

Na aplicação de lodos classe B, devem ser respeitadas as seguintes exigências adicionais:

- a) evitar a aplicação manual e a realização de cultivo ou outro trabalho manual na área que recebeu o lodo, por um período de 30 dias após a aplicação. Caso este tipo de operação não possa ser evitado, os trabalhadores deverão utilizar equipamentos de proteção adequados e ser devidamente orientados quanto aos procedimentos de higiene e segurança;
- b) não cultivar, por um período de 14 meses após a aplicação, alimentos cuja parte consumida toque o lodo (melões, pepinos, hortaliças, etc.) e
- c) não poderão ser cultivados na área alimentos cuja parte consumida fique abaixo da superfície do solo (batatas, cenouras, rabanetes, etc.):
  - por um período de 38 meses após a aplicação, se o lodo for incorporado durante os 4 meses seguintes ao seu espalhamento ou
  - por um período de 9 meses, se o lodo não for incorporado antes de 4 meses após a aplicação.

## 9.5 Monitoramento

### 9.5.1 Monitoramento do solo

O monitoramento do solo é uma ferramenta valiosa para determinar se as condições da aplicação foram atendidas. Geralmente, quanto mais conservador for o critério para o estabelecimento das taxas de aplicação, tanto menos restritivos serão os requisitos para o monitoramento.

Para o monitoramento do solo deverá ser observada a metodologia indicada no **Anexo B.8**.

As exigências para o monitoramento do solo estão especificadas a seguir:

- a) A frequência de amostragem deverá ser anual ou antes de uma nova aplicação. Deverão ser efetuadas as determinações previstas para análise química do solo para fins de fertilidade, conforme rotina do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) [pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%) - ver **Anexo B.3**], condutividade elétrica, cromo total, sódio trocável e cálculo da saturação em sódio em função do sódio trocável e
- b) A cada 5 anos de aplicação, deverá ser efetuada uma determinação de cromo e sódio trocável, ao longo do **perfil** superficial do solo, nas seguintes profundidades: 0 - 20 e 20 - 40cm.

O Quadro 3 sumaria as exigências de monitoramento do solo.

**Quadro 3. Roteiro para programação das análises de solo**

| <b>Parâmetro</b>        | <b>Frequência</b> |
|-------------------------|-------------------|
| Análise de fertilidade  | Anual             |
| Condutividade           |                   |
| Sódio trocável          |                   |
| Cromo (perfil)          | A cada 5 anos     |
| Sódio trocável (perfil) |                   |

### 9.5.2 Monitoramento do lodo

O Quadro 4 indica as frequências exigidas para o monitoramento do lodo, baseada na quantidade aplicada em áreas agrícolas (em base seca).

**Quadro 4. Frequência de amostragem do lodo**

| Quantidade de lodo destinada para aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca) | Frequência de monitoramento do lodo |
|---|-------------------------------------|
| < 600   | uma amostra composta cada 12 meses  |
| 600-1200  | uma amostra composta cada 6 meses   |
| ≥ 1200  | uma amostra composta cada 3 meses   |

Nestas campanhas o lodo coletado deverá ser analisado quanto à presença de poluentes, confirmação da redução da atratividade a vetores, redução de patógenos (se aplicável) e quanto ao nutriente / aspecto agrônômico limitante da aplicação (por exemplo, série nitrogenada).

A análise do lodo deve incluir, mas não necessariamente se limitar, aos parâmetros listados no **Quadro 5**. A CETESB poderá exigir análises de parâmetros adicionais, considerando as peculiaridades do processo produtivo.

**Quadro 5. Relação dos parâmetros para monitoramento do lodo**

|   |
|---|
| Cálcio                                  |
| Carbono orgânico                        |
| Cromo total                             |
| Fósforo                                 |
| Magnésio                                |
| Nitrogênio amoniacal                    |
| Nitrogênio nitrato/nitrito              |
| Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl |
| pH                                      |
| Potássio                                |
| Sódio total                             |
| Sólidos voláteis                        |
| Umidade                                 |

Quanto a patógenos, para lodos classe A, analisar coliformes fecais e *Salmonella sp* e para lodos classe B, analisar coliformes fecais.

**9.5.3 Outros monitoramentos**

A critério da CETESB, poderão ser requeridos monitoramentos adicionais, incluindo-se o monitoramento das águas subterrâneas ou de cursos de águas superficiais.

## **10. Responsabilidades do Gerador**

### **10.1. Inspeções**

O gerador do lodo deverá inspecionar as instalações de armazenamento e o transporte do lodo, de modo a prevenir deteriorações, erros de operação e descartes que poderiam causar ou facilitar vazamentos de lodos no meio ambiente e apresentar riscos ou desconforto à saúde humana. Deverá ser mantido um registro de inspeção ou um sumário, que inclua, no mínimo, a data e hora da inspeção, as observações realizadas e quaisquer manutenções, reparos e/ou ações corretivas tomadas pelo requerente. Este registro de inspeção deve ser mantido pelo responsável por um período de cinco anos, contados a partir da data da inspeção, devendo estar disponível para consulta da CETESB, quando solicitado.

### **10.2 Relatório anual**

O gerador do lodo deverá enviar à CETESB uma cópia dos registros de operação (**item 9.2**) e resultados dos monitoramentos (**item 9.5**), anualmente, até 60 dias antes do vencimento da autorização.

## **11. Revisão da Norma**

A presente norma deverá ser submetida a uma revisão num prazo de no máximo 3 (três) anos, contados a partir de sua aprovação pela CETESB.

.../Anexo - A

**ANEXO A – SOLICITAÇÃO DE RENOVAÇÃO DA APROVAÇÃO PARA UM LOCAL DE APLICAÇÃO DE LODOS**

Processo no. \_\_\_\_\_

## 1. Gerador do Lodo:

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Código Postal \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

## 2. Proprietário do Local de Aplicação: (caso não seja o gerador)

Nome: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_

## 3. Arrendatário: (se aplicável)

Nome: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_

## – Direito de Uso – Documento anexo

Sim ( ) Não ( )

Eu, \_\_\_\_\_, consinto no uso da propriedade descrita abaixo para recebimento de condicionantes de solo originário de sistema de tratamento biológico de águas residuárias.

Assinatura: \_\_\_\_\_

## 4. Localização da Área de Aplicação

Denominação: \_\_\_\_\_

Lote nº: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

Município: \_\_\_\_\_

Área útil do local: \_\_\_\_\_ (ha)

Tipo de cultura: \_\_\_\_\_

Principais ressalvas (questões específicas do local em pauta):

---

---

---

---

5. Quantidade total de lodo a ser aplicada anualmente:

\_\_\_\_\_ (base seca)

\_\_\_\_\_ (base úmida)

a) Taxa de aplicação do lodo (estimar o mais próximo possível do real)

Toneladas por hectare base seca

|           |           |           |
|-----------|-----------|-----------|
| Jan _____ | Fev _____ | Mar _____ |
| Abr _____ | Mai _____ | Jun _____ |
| Jul _____ | Ago _____ | Set _____ |
| Out _____ | Nov _____ | Dez _____ |

b) Ano da última aplicação \_\_\_\_\_

6. Representante legal do gerador dos lodos

Nome: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

... / Anexo – B

## ANEXO B – METODOLOGIA PARA AS ANÁLISES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### B.1 Determinação de cromo

As análises de cromo a serem realizadas nas amostras de lodo e de solo devem permitir a determinação da totalidade do metal pesquisado que esteja presente na amostra bruta, devendo ser empregado o método EPA 3050 ou EPA 3051 (U.S. EPA, 1986) ou similar. Os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de lodo ou solo em base seca.

### B.2 Metodologia para determinação da fertilidade do solo - pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, H+Al, S, CTC e V%.

As determinações de pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%) nos solos deverão ser realizadas de acordo com procedimento estabelecido por Raij et alii (1987).

### B.3 Determinação de umidade, Ca total, carbono orgânico, P total, N amoniacal, N Kjeldahl, N total, N nitrato/nitrito, Mg total, Na total, K total, Sólidos Totais e Sólidos Voláteis no lodo.

As determinações de Ca total, Mg total, Na total e K total, no lodo, deverão ser realizadas de acordo com os procedimentos estabelecidos pela U.S. EPA (1986). Bigham (1996) apresenta a metodologia a ser adotada para Carbono orgânico (Nelson & Sommers, 1996), P total (Kuo, 1996), N amoniacal (Bremner, 1996), N total (Bremner, 1996) e N nitrato/nitrito (Mulvaney, 1996). Para N Kjeldahl, Sólidos Totais e Sólidos Voláteis adotar método estabelecido por APHA et alii (1992). Os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de lodo em base seca.

### B.4 Determinação de sódio trocável e condutividade elétrica em solo

As determinações de sódio trocável e condutividade elétrica no solo deverão ser realizadas de acordo com o procedimento estabelecido por Camargo et alii (1986). Na determinação da condutividade elétrica, empregar extrato de saturação de 1:1.

### B.5 Determinação de patógenos

Para as determinações de coliformes fecais e *Salmonella sp* deverão ser adotadas as metodologias estabelecidas pela U.S. EPA (1992).

### B.6 Metodologia para determinação da fração de mineralização do nitrogênio (FM)

Para os lodos de curtumes poderá ser adotado o valor teórico da **fração de mineralização (FM) de 35%**, dado este baseado em ensaios realizados por técnicos da CETESB para lodo de caleiro sem cromo. Este valor se mostra conservador. Para garantir o aporte de nitrogênio necessário à cultura, deverá ser realizado ensaio para determinação da **FM** para o lodo a ser aplicado.

Poderão ser adotados métodos de incubação com ou sem lixiviação.

Beauchamp et alii (1986), Parker & Sommers (1983) Stanford & Smith (1972) apresentam alguns exemplos de experimentos especialmente montados para o acompanhamento da taxa de mineralização.

As metodologias apresentadas a seguir indicam os procedimentos experimentais a serem adotados na determinação da curva de mineralização do nitrogênio orgânico contido em lodos.

A primeira é realizada efetuando-se lixiviação periódica de uma mistura solo-lodo, com determinação do N mineralizado no eluído (incubação com lixiviação).

A segunda envolve a coleta periódica de amostras de solo de uma mistura solo-lodo com posterior extração e determinação do N mineralizado (incubação sem lixiviação).

### **B.6.1 Incubação com lixiviação**

1. Adicionar o lodo a 40 g de solo, em doses que proporcionem aplicações de nitrogênio total equivalentes a: zero, uma, duas e três vezes a necessidade requerida pela cultura planejada. Para o cálculo das doses considerar que 1 ha equivale a 2000 toneladas de solo, ou determinar a densidade do solo estudado para efetuar este cálculo.
2. Adicionar à mistura solo-lodo 20 g de areia grossa lavada com solução de HCl 0,1 mol.L<sup>-1</sup> e água deionizada.
3. Ajustar o pH dos tratamentos para 6,5 com uma mistura de CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> (3:1). Para lodos neutralizados com cal, considerar o efeito neutralizante da quantidade de lodo aplicada, com base em curva de neutralização previamente obtida pela incubação dos solos com o lodo e com a mistura de carbonatos acima.
4. Transferir cada um dos tratamentos para tubo de percolação de vidro ou PVC com diâmetro mínimo de 30 mm, contendo em sua base manta geotêxtil. Este mesmo material deve ser colocado logo acima da superfície do solo, para evitar a sua dispersão e compactação durante a aplicação da solução extratora. Os tratamentos deverão ser montados em duplicata.
5. Os tubos devem ser tampados com folha de papel alumínio, com pequeno orifício para permitir a troca gasosa e evitar a perda de umidade e envoltos com cartolina preta, caso necessário, para impedir o desenvolvimento de vegetais e fungos entre o solo e a parede dos tubos.
6. O ensaio deve ser conduzido em ambiente com temperatura controlada (25-28°C).
7. Proceder a lixiviação dos tratamentos com 200 mL de solução 0,01 mol.L<sup>-1</sup> de KCl, em incrementos de 20 mL, após 0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, e 126 dias de incubação.
8. No lixiviado coletado, efetuar determinação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por destilação a vapor com MgO e liga de Devarda (Bremner & Keeney, 1966). O lixiviado pode ser armazenado por no máximo 12 horas, a 4°C.
9. Após a coleta do lixiviado, deve ser aplicado aos tratamentos 25 mL de uma solução nutritiva isenta de nitrogênio com a seguinte composição : 0,02 M CaSO<sub>4</sub>, 0,005 M KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,002 M MgSO<sub>4</sub>.
10. Após cada lixiviação, eliminar o excesso de solução dos tubos com vácuo (0,067 MPa), de modo a manter uma condição de aerobiose durante a incubação.

### B.6.2 Incubação sem lixiviação

1. Adicionar o lodo a 100 g de solo, em doses que proporcionem uma aplicação de nitrogênio total equivalentes a: zero, uma, duas e três vezes a necessidade requerida pela cultura planejada. Nessa transposição da dose considerar que 1 ha equivale a 2000 toneladas de solo, ou determinar a densidade do solo estudado para efetuar este cálculo.
2. Ajustar o pH dos tratamentos para 6,5 com uma mistura de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  (3:1). Para lodos neutralizados com cal, considerar o efeito neutralizante da quantidade de lodo aplicada, com base em curva de neutralização previamente obtida pela incubação dos solos com o lodo e com a mistura de carbonatos acima.
3. Transferir cada um dos tratamentos para frasco de polietileno ou vidro, aplicando-se água deionizada para ajustar a umidade até 70 % da capacidade de campo. Os tratamentos deverão ser montados em duplicata. Deve ser montado um frasco para cada período de coleta, tratamento e repetição, resultando em : 4 tratamentos x 2 repetições x 11 períodos de coleta = 88 parcelas x n.º de solos a serem utilizados.
4. Os frascos devem ser tampados com folha de papel alumínio com pequeno orifício, para permitir a troca gasosa e minimizar a perda de umidade, que deve ser controlada pela pesagem periódica dos vasos.
5. O ensaio deve ser conduzido em ambiente com temperatura controlada (25-28°C).
6. Um frasco de cada tratamento e sua duplicata devem ser sucessivamente desmontados após: 0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, e 126 dias de incubação.
7. Realizar extração do solo (aproximadamente 3 g de solo úmido) com 2M KCl (15 mL) e determinar no extrato  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$  por destilação a vapor com MgO e liga de Devarda (Bremner & Keeney, 1966).

### B.6.3 Cálculo da taxa e da fração de mineralização

Independentemente do procedimento experimental adotado, a seguinte análise dos dados deverá ser realizada:

1. Para cada período de incubação em que o N mineralizado foi determinado (0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112, e 126), deve-se calcular a quantidade do N total mineralizado, que vem a ser a soma do nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) e do nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) (média das 2 análises realizadas);
2. Calcular a quantidade do nitrogênio mineralizado acumulado (a soma dos valores de N mineralizado total determinados em cada período de incubação);
3. Elaborar o gráfico do nitrogênio mineralizado acumulado ao longo do período de incubação;
4. Ajustar uma curva para os dados obtidos, de acordo com o modelo proposto por Smith et alii (1980), baseado em uma equação de regressão exponencial simples:

$$N_m = N_0 - N_0 \cdot e^{-kt}$$

onde:  $N_m$  é o nitrogênio total mineralizado no tempo  $t$ ,  $N_0$  é o nitrogênio potencialmente mineralizável e  $k$  é a constante da taxa de mineralização e

5. A fração de mineralização, no tempo de ensaio (126 dias), para cada tratamento, é calculada dividindo-se o nitrogênio mineralizado líquido (nitrogênio mineralizado total menos nitrogênio mineralizado no tratamento testemunha) pela dose de nitrogênio aplicada.

#### B.6.4 Exemplo do cálculo da taxa e da fração de mineralização

As tabelas a seguir exemplificam os cálculos indicados nos sub-itens 1 e 2 do item B.6.3. (Resultados em mg/kg – média de 02 análises).

| Tratamento | Nitrogênio Mineralizado |                                 |                      | N miner. total<br>Acumulado |
|------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|
|            | Início                  |                                 |                      |                             |
|            | $\text{NH}_4^+$         | $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ | N mineralizado total |                             |
| 0          | 18,10                   | 34,35                           | 52,46                | 52,46                       |
| 1          | 33,98                   | 36,43                           | 70,42                | 70,42                       |
| 2          | 53,28                   | 28,05                           | 81,32                | 81,32                       |
| 3          | 65,67                   | 3,26                            | 68,93                | 68,93                       |

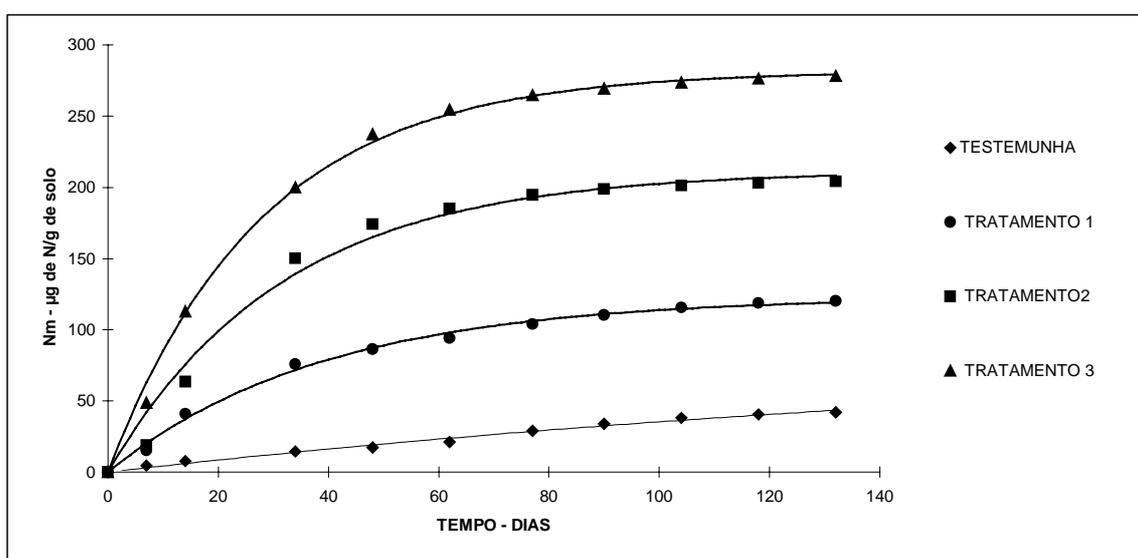
| Tratamento | Nitrogênio Mineralizado |                                 |                      | N miner. total<br>Acumulado |
|------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|
|            | 7º dia                  |                                 |                      |                             |
|            | $\text{NH}_4^+$         | $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ | N mineralizado total |                             |
| 0          | 3,49                    | 1,04                            | 4,53                 | 56,99                       |
| 1          | 14,77                   | 0,45                            | 15,21                | 85,63                       |
| 2          | 17,88                   | 1,04                            | 18,92                | 100,24                      |
| 3          | 47,56                   | 1,11                            | 48,68                | 117,61                      |

| Tratamento | Nitrogênio Mineralizado |                                 |                      | N miner. Total<br>Acumulado |
|------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|
|            | 14º dia                 |                                 |                      |                             |
|            | $\text{NH}_4^+$         | $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ | N mineralizado total |                             |
| 0          | 1,48                    | 1,86                            | 3,34                 | 60,32                       |
| 1          | 24,41                   | 1,34                            | 25,75                | 111,37                      |
| 2          | 42,74                   | 1,71                            | 44,45                | 144,69                      |
| 3          | 61,96                   | 2,15                            | 64,11                | 181,72                      |

.  
. .  
. .  
. .

| Tratamento | Nitrogênio Mineralizado      |   |                         | N miner. total<br>Acumulado |
|------------|------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|
|            | 132° dia                     |   |                         |                             |
|            | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | N mineralizado<br>total |                             |
| 0          | 0,37                         | 0,82  | 1,19                    | 94,31                       |
| 1          | 0,37                         | 0,89  | 1,26                    | 190,47                      |
| 2          | 0,59                         | 0,30  | 0,89                    | 285,30                      |
| 3          | 0,59                         | 1,11  | 1,71                    | 346,89                      |

O gráfico a seguir foi elaborado a partir desses resultados.



A tabela a seguir exemplifica os cálculos para a estimativa da fração de mineralização (FM) e da taxa de mineralização (k), onde pode ser observado:

- Na coluna 3 são apresentados os resultados obtidos na determinação do N mineralizado imediatamente após a montagem do experimento, indicando o N presente no resíduo que já se encontrava na forma mineral.
- Na coluna 4 são apresentados os valores de nitrogênio mineralizado total, determinado subtraindo-se do nitrogênio mineralizado acumulado no 132° dia, o valor apresentado na coluna 3 (N extraído inicialmente).
- Na coluna 5 são apresentados os valores do nitrogênio mineralizado acumulado líquido, calculado subtraindo-se, do N mineralizado total (coluna 4), o valor observado para o tratamento testemunha (41,85 no exemplo apresentado). Com isto determina-se qual a parcela do N orgânico aplicado que realmente foi mineralizada ao final de 132 dias.
- Na coluna 6, é apresentada a taxa de mineralização no período do experimento, que é a porcentagem do N orgânico aplicado que mineralizou. [(valor da coluna 5 / valor da coluna 2) x 100].

- Na coluna 7 e 8 são apresentados os valores da constante da taxa de mineralização e do N potencialmente mineralizável obtidos pela aplicação dos resultados ao modelo proposto ( $N_m = N_0 - N_0 \cdot e^{-kt}$ ), que permite a determinação do N disponibilizado em qualquer período de tempo.

| 1            | 2                   | 3                         | 4                       | 5                   | 6  |
|--------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|--|
| Tratamento   | Dose de N Aplicada  | N - extraído Inicialmente | Nitrogênio mineralizado |                     |  |
|              |                     |                           | Total                   | Líquido             | Fração de mineralização (FM) % do N aplicado |
|              | mg.kg <sup>-1</sup> | mg.kg <sup>-1</sup>       | mg.kg <sup>-1</sup>     | mg.kg <sup>-1</sup> | %  |
| Testemunha   | 0                   | 52,46                     | 41,85                   |                     |  |
| Tratamento 1 | 226                 | 70,42                     | 120,20                  | 78,35               | 34,7   |
| Tratamento 2 | 452                 | 81,32                     | 204,05                  | 162,20              | 35,9   |
| Tratamento 3 | 678                 | 68,93                     | 278,18                  | 236,33              | 34,9   |

| 1            | 7                         | 8  | 9         |
|--------------|---------------------------|--|-----------|
| Tratamento   | Taxa de Mineralização (k) | N Potencialmente Mineralizável (N <sub>0</sub> ) | Meia vida |
|              | dia <sup>-1</sup>         | mg.kg <sup>-1</sup>                              | dia       |
| Testemunha   | 0,0048                    | 93,15  | 146       |
| Tratamento 1 | 0,0256                    | 123,26   | 27        |
| Tratamento 2 | 0,0315                    | 211,54   | 22        |
| Tratamento 3 | 0,0360                    | 281,72   | 19        |

### B.7 Metodologia para determinação da elevação de pH provocada pelo lodo

Pesar 200 g de solo e adicionar o correspondente às seguintes doses de lodo em toneladas/ha (base seca): 0, 10, 20, 40, 80.

Homogeneizar a mistura e colocar em recipientes de material inerte.

Adicionar água de modo a manter a umidade a 70% da capacidade de campo, ao longo de todo o experimento.

Os recipientes devem ser mantidos cobertos de maneira a evitar ressecamento.

Amostrar o solo após 7, 15, 30 e 60 dias e determinar o pH em CaCl<sub>2</sub>, conforme Raij et alii (1987), até que apresente valor constante em 3 determinações consecutivas.

A curva de elevação de pH será obtida através de gráfico da variação do pH final da mistura solo-lodo em função da dose (dose de lodo na abcissa e pH na ordenada).

O ensaio deve ser realizado em triplicata.

**B.8 Metodologia para coleta de amostras de solo para monitoramento**

Para fins de monitoramento, a propriedade deve ser dividida em parcelas, nunca superiores a 20 ha, considerando-se, nesta delimitação, a uniformidade de manejo, homogeneidade, posição topográfica e tipo de solo.

Deverão ser coletadas amostras do solo em cada uma das parcelas demarcadas na área de aplicação. As análises solicitadas deverão ser realizadas em pelo menos uma amostra composta de cada parcela, preparada a partir de 20 sub-amostras coletadas em diferentes pontos da mesma, na camada a 0-20 cm.

.../Anexo - C

## ANEXO C – PROCESSOS DE REDUÇÃO ADICIONAL DE PATÓGENOS

A descrição dos processos de redução adicional de patógenos apresentada no **item C.1** foi baseada no estabelecido pela U.S. EPA, conforme 40 CFR Part 503 - Appendix B, Federal Register, 19/Feb/1993. Esta lista relaciona os processos aceitos pela CETESB para redução adicional de patógenos. Outros métodos poderão ser propostos, desde que haja comprovação da sua eficiência pelo acompanhamento do processo, conforme descrito no **item C.2**.

### C.1. Exemplos de processos de redução adicional de patógenos

- compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C no mínimo) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo);
- secagem térmica direta ou indireta para reduzir a umidade do lodo a 10% ou menos, devendo a temperatura das partículas de lodo superar 80°C ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C;
- tratamento térmico pelo aquecimento do lodo líquido a 180°C, no mínimo, durante um período de 30 minutos;
- digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60°C;
- processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137 e
- processos de pasteurização, pela manutenção do lodo a uma temperatura mínima de 70°C, por um período de pelo menos 30 minutos.

### C.2. Procedimento para verificação da adequação de processos de redução adicional de patógenos

- a) efetuar a análise inicial do lodo, antes do seu tratamento, para determinar e confirmar a presença do(s) indicador(es) selecionado(s) (ver densidade mínima no quadro C1);
- b) anotar e documentar os valores ou faixa de valores, para os parâmetros de operação do processo de tratamento de patógenos a ser testado;
- c) analisar o lodo após o tratamento para determinar a densidade(s) ou concentração(ões) do(s) indicador(es) selecionado(s).

Para vírus entéricos, ovos de helmintos e cistos de protozoários, o processo analisado será considerado como capaz de uma redução adicional de patógenos, desde que tenham sido atendidas as exigências apresentadas no **Quadro C.1**.

**Quadro C.1. Indicadores e densidades exigidas para verificação de processos de redução adicional de patógenos**

| <b>Indicador</b>          | <b>Densidade mínima antes do tratamento</b>                              | <b>Densidade máxima após tratamento</b>                                   |
|---------------------------|--|---|
| Vírus entéricos           | >1 unidade formadora de placa por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca) | < 1 unidade formadora de placa por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca) |
| Ovos viáveis de helmintos | >1 por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca)                            | <1 por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca)                             |
| Cistos de protozoários    | >1 por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca)                            | <1 por 4 gramas de Sólidos Totais (base seca)                             |

.../Anexo - D

## ANEXO D – PROCESSOS DE REDUÇÃO DE PATÓGENOS

A descrição dos processos de redução de patógenos, apresentada a seguir, foi baseada no estabelecido pela U.S. EPA, conforme 40 CFR Part 503 - Appendix B, Federal Register, 19/Feb/1993. A lista abaixo relaciona os processos aceitos pela CETESB para redução de patógenos:

- digestão aeróbia - a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C;
- secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante um período mínimo de 3 meses;
- digestão anaeróbia por um período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C;
- compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que, a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período;
- estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.

.../Anexo-E

## ANEXO E – PROCESSOS DE TRATAMENTO DE LODOS PARA REDUÇÃO DE ATRAÇÃO DE VETORES

A relação dos processos de tratamento de lodo para redução de atração de vetores apresentada no **item E.1**, foi baseada no estabelecido pela U.S. EPA, conforme 40 CFR Part 503 - Appendix B, Federal Register, 19/Feb/1993. Nesta lista estão indicados, entre parênteses, o número do critério (ver **item E.2**) a ser observado, para verificação da aceitabilidade do processo quanto à redução da atração de vetores.

### E.1 Exemplos de processos de tratamento de lodo para redução da atração de vetores

São considerados processos de tratamento de lodo para redução de atração de vetores:

- a digestão anaeróbia do lodo (condição 1 ou 2 );
- a digestão aeróbia do lodo (condição 1 ou 3 ou 4 ou 5 );
- a compostagem (condição 5 );
- a estabilização química (condição 6 );
- a secagem (condição 7 ou 8 );
- a aplicação subsuperficial (condição 9) e
- a incorporação no solo(condição 10).

Estes processos serão aceitos apenas se forem atendidos os critérios especificados no **item E.2**.

### E.2 Critérios para certificação de processos de redução da atração de vetores

A seguir, são apresentados os critérios para verificar se o processo de tratamento adotado para o lodo reduz o potencial de disseminação de doenças através de vetores (ex. moscas, roedores, mosquitos).

1. A concentração de sólidos voláteis (SV) deve ser reduzida em 38% ou mais. A redução de SV é medida pela comparação de sua concentração no afluente do processo de estabilização de lodo (digestão aeróbia ou anaeróbia) com a sua concentração no lodo pronto para uso ou disposição.
2. Condição referida à digestão anaeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão anaeróbia, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório, a mesma amostra de lodo, após um período adicional de 40 dias de digestão, com temperatura variando entre 30 e 37°C, apresentar uma redução de SV menor que 17%.
3. Condição referida à digestão aeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão aeróbia, e o lodo possuir uma concentração de matéria seca (M.S.) inferior a 2%, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório, a mesma amostra de lodo, após um período adicional de 30 dias de digestão, com temperatura mínima de 20°C, apresentar uma redução de SV menor que 15%
4. Condição referida à digestão aeróbia: após o período de digestão, a taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR - Specific Oxygen Uptake Rate) deve ser menor ou igual a 1,5 mg O<sub>2</sub>/[hora x grama de sólidos totais (ST)] a 20°C.

5. Condição referida à compostagem ou outro processo aeróbio: durante o processo, a temperatura deve ser mantida acima de 40°C por pelo menos 14 dias. A temperatura média durante este período deve ser maior que 45°C
6. Condição referida à estabilização química: a uma temperatura de 25°C, a quantidade de álcali misturada com o lodo, deve ser suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12 por um período mínimo de 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas. Estes valores devem ser alcançados sem que seja feita uma aplicação adicional de álcali.
7. Condição referida à secagem com ventilação forçada ou térmica para lodos que não receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 75% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo ou outros materiais.
8. Condição referida à secagem por aquecimento ou ao ar para lodos que receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 90% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo ou outros materiais.
9. Condição referida à aplicação do lodo no solo na forma líquida: a injeção do lodo líquido sob a superfície será aceita como um processo de redução de atração de vetores se: não for verificada a presença de quantidade significativa de lodo na superfície do solo após uma hora da aplicação. No caso de lodo Classe A, a injeção do lodo deve ser feita num período máximo de até oito horas após a finalização do processo de redução de patógenos.
10. Condição referida à aplicação do lodo no solo: nesta situação, o lodo deve ser incorporado no solo antes que transcorram seis horas após a aplicação na área. Se o lodo for Classe A, deve ser aplicado e incorporado decorridas, no máximo, oito horas após sua descarga do processo de redução de patógenos.

.../Anexo- F

## ANEXO F – PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DO BLOSSÓLIDO – DECLARAÇÃO

Deve ser preenchida uma declaração quanto à forma de preparação e aplicação do lodo, que é composta de três partes. Na segunda parte devem ser indicadas as exigências especificadas pela CETESB na aprovação do projeto. O responsável pela geração do lodo deve assinar a primeira parte e o responsável pela aplicação deve assinar a terceira parte.

### Modelo da declaração

**Parte I:** (a ser preenchida pelo gerador)

- Nome do gerador: \_\_\_\_\_
- Endereço: \_\_\_\_\_
- Condição do lodo:
  - lodo fresco - até 96 h após tratamento
  - lodo armazenado - mais de 96 h após geração/tratamento
- Indicar como foram atendidos os critérios de tratamento do lodo, estabelecidos pela CETESB, no "Procedimento para utilização de lodos de curtumes em áreas de uso agrícola":
  - Indicar o método de tratamento do lodo: \_\_\_\_\_
  - Indicar a Classe do lodo:       Classe A       Classe B
  - Indicar o processo utilizado para a redução da atração de vetores: \_\_\_\_\_
- Concentração de poluentes e patógenos

|                              | Concentração<br>(base seca) mg/kg | Data da<br>Análise |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Cromo ( mg/kg)               |                                   |                    |
| Sódio total (mg/kg)          |                                   |                    |
| Coliformes fecais (NMP/g ST) |                                   |                    |

- Concentração do nutriente de interesse em mg/kg (base seca) no lodo:
  - Nitrogênio   N orgânico total \_\_\_\_\_ data das análises \_\_\_\_\_
  - N amoniacal       \_\_\_\_\_
  - N nitrato/nitrito   \_\_\_\_\_
  - N total (soma)       \_\_\_\_\_
  - NDisp**               \_\_\_\_\_ (Ntotal X Fração de Mineralização)

Estou ciente que, no caso de falsidade das declarações aqui prestadas, poderei ser responsável civil e criminalmente, conforme legislação pertinente em vigência.

Nome e assinatura do responsável pela geração do lodo: \_\_\_\_\_

---

Data: \_\_\_\_\_

**Parte 2:** Restrições constantes da aprovação da aplicação (a ser preenchida pelo gerador)

**Parte 3:** (a ser preenchida pelo aplicador)

- Denominação da área de aplicação: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Endereço do local de aplicação: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Campo/Parcela: \_\_\_\_\_
- Área da aplicação: \_\_\_\_\_ (ha)
- Quantidade aplicada: \_\_\_\_\_ (m<sup>3</sup> ou kg)
- Método de aplicação: \_\_\_\_\_
- Informar método usado em campo para redução de atração de vetores (se aplicável):  
\_\_\_\_\_

Estão sendo cumpridos os critérios de localização e operação estabelecidos no "Procedimento para utilização de lodos de curtumes em áreas de uso agrícola", **itens 8 e 9**.

Estou ciente que, no caso de falsidade das declarações aqui prestadas, poderei ser responsável civil e criminalmente, conforme legislação pertinente em vigência.

- Nome e assinatura do aplicador: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

.../Anexo-G

## ANEXO G – PLANILHA PARA O CÁLCULO DO NITROGÊNIO DISPONÍVEL NO LODO - NDisp

- Dados necessário para o cálculo do **NDisp**

Fração de Mineralização do Nitrogênio (**FM**) (%)

Nitrogênio Kjeldahl (Nitrogênio Kjeldahl = Nitrogênio Orgânico total + Nitrogênio Amoniacal)(**N<sub>Kj</sub>**) (mg/kg)

Nitrogênio Amoniacal (**N<sub>NH3</sub>**) (mg/kg)

Nitrogênio Nitrato e Nitrito (**N<sub>NO3</sub> + N<sub>NO2</sub>**) (mg/kg)

O valor da fração de mineralização pode ser o obtido para o lodo específico por meio de ensaio ou adotado a partir de dados de literatura.

- Fórmula para cálculo do **NDisp** (mg/kg) para aplicação superficial

$$\mathbf{NDisp} = (\mathbf{FM}/100) \times (\mathbf{N_{Kj}} - \mathbf{N_{NH3}}) + 0,5 \times (\mathbf{N_{NH3}}) + (\mathbf{N_{NO3}} + \mathbf{N_{NO2}})$$

- Fórmula para cálculo do **NDisp** (mg/kg) para aplicação subsuperficial

$$\mathbf{NDisp} = (\mathbf{FM}/100) \times (\mathbf{N_{Kj}} - \mathbf{N_{NH3}}) + (\mathbf{N_{NH3}}) + (\mathbf{N_{NO3}} + \mathbf{N_{NO2}})$$

As concentrações utilizadas nestes cálculos devem ser em mg do parâmetro por kg de lodo em base seca ou kg por tonelada.

Para os lodos de curtumes, poderá ser adotado o valor teórico da **fração de mineralização (FM) de 35%**, dado este baseado em ensaios realizados por técnicos da CETESB para lodo de caleiro sem cromo. Este valor se mostra conservativo e pode ser aceito durante o período em que os ensaios de mineralização do lodo estão sendo realizados. Este parâmetro é essencial para a garantia do aporte de nitrogênio necessário à cultura, justificando assim a utilização agrícola.

.../Anexo - H

## ANEXO H – TABELA DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

A tabela de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo contida no "Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas", aprovada pela Decisão de Diretoria nº 014/01/E, de 26.07.2001, encontra-se encartada à **Norma Técnica P4.233 - Lodos de Curtumes - Critérios para o Uso em Áreas Agrícolas e Procedimentos para a Apresentação de Projetos**, por conter valores mais restritivos do que o estabelecido nesta norma, no que se refere ao parâmetro de cromo, os quais deverão ser observados na aplicação desta. Informamos ainda, que a presente norma encontra-se em processo de revisão.

### RELATÓRIO DE ESTABELECIMENTO DE VALORES ORIENTADORES PARA SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - 2001

A CETESB, cumprindo sua atribuição de prevenir e controlar a poluição no Estado de São Paulo, publicou em 2001 o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, contendo uma lista de valores orientadores para proteção da qualidade de solos e das águas subterrâneas. A íntegra deste relatório está disponível na página eletrônica [www.cetesb.sp.gov.br/solos](http://www.cetesb.sp.gov.br/solos).

A CETESB publicou também no Diário Oficial do Estado, Empresarial; São Paulo, 111 (203) em 26.10.2001, a aprovação em Decisão de Diretoria nº 014/01/E de 26/07/2001 do relatório acima citado contendo uma tabela de valores orientadores estabelecidos por um período de vigência de 4 anos, para utilização, acompanhamento e avaliação dos solos e águas subterrâneas do estado. Ao término desse período, será realizada uma nova avaliação do relatório e da lista de contaminantes e será estabelecido a forma final de sua instrumentalização.

Conforme consta do referido Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, os valores apontados na tabela dividem-se nas seguintes categorias: (i) valor de referência; (ii) valor de alerta e (iii) valor de intervenção.

O valor de referência de qualidade, indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo ou a qualidade natural das águas subterrâneas a ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas. Foi estabelecido com base em análises químicas dos diversos tipos de solos do Estado de São Paulo.

O valor de alerta, indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos, será utilizado em caráter preventivo e quando excedido no solo, deverá ser exigido o monitoramento das águas subterrâneas, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição. Foi derivado para metais, com base em revisão bibliográfica sobre fitotoxicidade.

O valor de intervenção, indica o limite de contaminação do solo e das águas subterrâneas, acima do qual, existe risco potencial à saúde humana, e será utilizado em caráter corretivo no gerenciamento de áreas contaminadas e quando excedido requer alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada uma avaliação de risco caso a caso, como resolvido no Relatório de Diretoria nº 023/00/C/E de 15.06.2000 "Implantação de procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas". Para as águas subterrâneas, considerou-se como valor de intervenção, os padrões de potabilidade da Portaria 1.469 de 29.12.2000, do Ministério da Saúde, atualmente substituída pela Portaria 518/2004.

CETESB, 27 de junho de 2005.

**Valores orientadores para solos e para águas subterrâneas no Estado de São Paulo.**

| Substância          | VALORES ORIENTADORES         |        |                |        |         |                                  |
|---------------------|------------------------------|--------|----------------|--------|---------|----------------------------------|
|                     | Solos (mg.kg <sup>-1</sup> ) |        |                |        |         | Águas Subt.(µg.L <sup>-1</sup> ) |
|                     | Referência                   | Alerta | Intervenção    |        |         | Intervenção                      |
|                     |                              |        | Agrícola APMax | Resid. | Indust. |                                  |
| Alumínio            | --                           | --     | --             | --     | --      | 200 <sup>(2)</sup>               |
| Antimônio           | <0,5                         | 2,0    | 5,0            | 10,0   | 25      | 5 <sup>(1)</sup>                 |
| Arsênio             | 3,50                         | 15     | 25             | 50     | 100     | 10 <sup>(1)</sup>                |
| Bário               | 75                           | 150    | 300            | 400    | 700     | 700 <sup>(1)</sup>               |
| Cádmio              | <0,5                         | 3      | 10             | 15     | 40      | 5 <sup>(1)</sup>                 |
| Chumbo              | 17                           | 100    | 200            | 350    | 1200    | 10 <sup>(1)</sup>                |
| Cobalto             | 13                           | 25     | 40             | 80     | 100     | 30 <sup>(5)</sup>                |
| Cobre               | 35                           | 60     | 100            | 500    | 700     | 2000 <sup>(1)</sup>              |
| Cromo               | 40                           | 75     | 300            | 700    | 1000    | 50 <sup>(1)</sup>                |
| Ferro               | --                           | --     | ---            | --     | --      | 300 <sup>(2)</sup>               |
| Manganês            | --                           | --     | ---            | --     | --      | 100 <sup>(2)</sup>               |
| Mercúrio            | 0,05                         | 0,5    | 2,5            | 5      | 25      | 1 <sup>(1)</sup>                 |
| Molibdênio          | <25                          | 30     | 50             | 100    | 120     | 250 <sup>(5)</sup>               |
| Níquel              | 13                           | 30     | 50             | 200    | 300     | 50 <sup>(4)</sup>                |
| Prata               | 0,25                         | 2      | 25             | 50     | 100     | 50 <sup>(3)</sup>                |
| Selênio             | 0,25                         | 5      | --             | --     | --      | 10 <sup>(1)</sup>                |
| Vanádio             | 275                          | --     | --             | --     | --      | --                               |
| Zinco               | 60                           | 300    | 500            | 1000   | 1500    | 5000 <sup>(2)</sup>              |
| Benzeno             | 0,25                         | --     | 0,6            | 1,5    | 3,0     | 5 <sup>(1)</sup>                 |
| Tolueno             | 0,25                         | --     | 30             | 40     | 140     | 170 <sup>(2)</sup>               |
| Xilenos             | 0,25                         | --     | 3,0            | 6,0    | 15      | 300 <sup>(1)</sup>               |
| Estireno            | 0,05                         | --     | 15             | 35     | 80      | 20 <sup>(1)</sup>                |
| Naftaleno           | 0,20                         | --     | 15             | 60     | 90      | 100 <sup>(5)</sup>               |
| Diclorobenzeno      | 0,02                         | --     | 2,0            | 7,0    | 10,0    | 40 <sup>(5)</sup>                |
| Hexaclorobenzeno    | 0,0005                       | --     | 0,1            | 1,0    | 1,5     | 1 <sup>(1)</sup>                 |
| Tetracloroetileno   | 0,10                         | --     | 1,0            | 1,0    | 10      | 40 <sup>(1)</sup>                |
| Tricloroetileno     | 0,10                         | --     | 5,0            | 10     | 30      | 70 <sup>(1)</sup>                |
| 1,1,1 Tricloroetano | 0,01                         | --     | 8,0            | 20     | 50      | 600 <sup>(5)</sup>               |
| 1,2 Dicloroetano    | 2,00                         | --     | 0,5            | 1,0    | 2,0     | 10 <sup>(1)</sup>                |
| Cloreto de Vinila   | 0,05                         | --     | 0,1            | 0,2    | 0,7     | 5 <sup>(1)</sup>                 |

|  |                |    |            |             |             |                           |
|--|----------------|----|------------|-------------|-------------|---------------------------|
| <i>Pentaclorofenol</i>                   | <i>0,01</i>    | -- | <i>2,0</i> | <i>5,0</i>  | <i>15,0</i> | <i>9<sup>(1)</sup></i>    |
| <i>2,4,6 Triclorofenol</i>               | <i>0,2</i>     | -- | <i>1,0</i> | <i>5,0</i>  | <i>6,0</i>  | <i>200<sup>(1)</sup></i>  |
| <i>Fenol</i>                             | <i>0,3</i>     | -- | <i>5,0</i> | <i>10,0</i> | <i>15,0</i> | <i>0,1<sup>(3)</sup></i>  |
| <i>Aldrin e Dieldrin</i>                 | <i>0,00125</i> | -- | <i>0,5</i> | <i>1,0</i>  | <i>5,0</i>  | <i>0,03<sup>(1)</sup></i> |
| <i>DDT</i>                               | <i>0,0025</i>  | -- | <i>0,5</i> | <i>1,0</i>  | <i>5,0</i>  | <i>2<sup>(1)</sup></i>    |
| <i>Endrin</i>                            | <i>0,00375</i> | -- | <i>0,5</i> | <i>1,0</i>  | <i>5,0</i>  | <i>0,6<sup>(1)</sup></i>  |
| <i>Lindano (<math>\delta</math>-BHC)</i> | <i>0,00125</i> | -- | <i>0,5</i> | <i>1,0</i>  | <i>5,0</i>  | <i>2<sup>(1)</sup></i>    |

1) *Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para Substâncias que apresentam risco à saúde*

1 *Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para aceitação de consumo (critério organoléptico).*

2 *Padrão de Potabilidade da Portaria 36 do Ministério da Saúde;*

3 *Comunidade Econômica Européia*

4 *Com base no valor de intervenção para solos no Cenário Agrícola/Área de Proteção Máxima (APMax)*

-- *não estabelecido*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O presente Manual Técnico foi adaptado de normas utilizadas nos Estados Unidos, recomendações alemãs e outros documentos, listados a seguir:

- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association & WPCF - Water Pollution Control Federation (1992) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 18th ed. Washington, DC.
- AQUINO NETO, V.; 1998. **Avaliação do aproveitamento agrícola de lodos de curtume**. Dissertação (Mestrado). ESALQ; Piracicaba, 122p.
- BEAUCHAMP, E.G.; REYNOLDS, W.D.; BRASCHE-VILLENEUVE, D.; KIRBY, K. (1986) Nitrogen Mineralization Kinetics with Different Soil Pretreatments and Cropping Histories. **Soil Science Society American Journal**, v. 50, p. 1478-1483, 1986.
- BIGHAM, J.M.(1996) **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series No. 5. 1996.
- BREMNER, J.M. (1996). In: Bigham, J.M. **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series No. 5. p. 1085-1121.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. (1986) **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Boletim técnico nº 106, Campinas, Instituto Agrônomo
- DEHNR - STATE OF NORTH CAROLINA DEPARTMENT OF ENVIRONMENT, HEALTH AND NATURAL RESOURCES - DIVISION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT; 1994. **Non-Discharge Application Form**. FORM LARS 06/94, North Carolina, USA.
- DHEC - SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENTAL CONTROL; CLEMSON UNIVERSITY; 1996. **Beneficial Use of Wastewater Biosolids**. DHEC; South Carolina, USA.
- EIKMANN, T.; KLOKE, A. (1993) Nutzungs und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden. In: Rosenkrantz, D.; Bachmann, G.; Einsele, G.; Harreß, H.M. (Ed.). (1988) **Boden Schutz - Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser**. Berlin:Erich Schmidt Verlag, cap 3590, p.17-18. 1993.
- KUO, S. (1996). In: Bigham, J.M. **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series No. 5. p. 869-919.
- MINISTRY OF THE ENVIRONMENT; MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS; 1996. **Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Land** - Ontario, Canada.
- MULVANEY, R.L. (1996). In. Bigham, J.M. **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series No. 5. p. 1123-1200.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. (1996). In: Bigham, J.M. **Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods**. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series No. 5. p. 961-1010.

- PARKER C.F.; SOMMERS L.E. (1983) Mineralization of Nitrogen in Sewage Sludges. **Journal of Environmental Quality**, v.12, p. 150-156.
- RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. (1987) **Análise Química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 170p.
- RAIJ, B. VAN; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JR., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. (1996) **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. Boletim Técnico nº 100. Campinas. 2 ed. , 285 p.
- SMITH, J.L.; SCHNOBEL, B.L.; Mcneal, B.L.; CAMPBELL, G.S. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.996-1000, 1980.
- STANFORD, G.; SMITH, S.J. (1972) Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. **Soil Science Society American Proc.** v. 36, p.465-472..
- U.S. EPA (1986) **Test Method for Evaluating Solid Waste**. Report Number SW-846, Washington, DC.
- U.S. EPA (1992) **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, including domestic septage, under 40 CFR part 503: Environmental Regulations and Technology**. EPA 625/R 92/013 1992. Ohio (USA)., 152p.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency; 1997. **Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge**. Code of Federal Regulations 40 CFR 503, Washington, USA.