



NORMA TÉCNICA

P4.230

Ago/1999
33 PÁGINAS

Aplicação de lodos sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação: 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)



CETESB

**APLICAÇÃO DE LODOS DE SISTEMAS DE
TRATAMENTO BIOLÓGICO EM ÁREAS
AGRÍCOLAS - CRITÉRIOS PARA PROJETO
E OPERAÇÃO**
(Manual Técnico)

P 4.230
ago/99

SUMÁRIO

1. Objetivo	2
2. Exclusões	2
3. Documentos Complementares	2
4. Definições	2
5. Critérios para Caracterização do Lodo	3
6. Classificação do Lodo quanto à Presença de Patógenos e Tratamento de Redução de Patógenos	4
7. Critérios para o Projeto de Aplicação de Lodos em Áreas Agrícolas	5
8. Critérios de Operação	9
9. Responsabilidades do Gerador	13
10. Referências Bibliográficas	14
Anexo A - Metodologia para as análises e apresentação dos resultados	16
Anexo B - Processos de redução adicional de patógenos	22
Anexo C - Processos de redução de patógenos	24
Anexo D - Processos de tratamento para redução de atração de vetores	25
Anexo E - Planilha para o cálculo de nitrogênio disponível no lodo - NDisp	27
Anexo F - Preparação e aplicação do lodo – Declaração	28
Anexo G - Recomendações para sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários	30
Anexo H - Roteiro para elaboração de projetos de sistemas de aplicação de lodos em áreas agrícolas	31

1. Objetivo

Esta norma estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais.

Aplica-se a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo e refere-se exclusivamente a lodos oriundos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários e industriais.

Para fins desta norma os lodos de sistemas de tratamento biológico e os lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários tratados de forma adequada para sua aplicação na agricultura, também denominados biossólidos, conforme definido no **item 4**, serão denominados simplesmente lodos.

A utilização do lodo em áreas agrícolas só será aceita se proporcionar um benefício para a cultura pretendida para o local e forem obedecidos os critérios ambientais estabelecidos nesta norma.

Este Manual deverá ser revisto com base nas experiências a serem obtidas ao longo dos primeiros 24 meses após o início da sua adoção. Ressalta-se a importância de revisão dos seguintes aspectos:

- reaplicação condicionada às alterações nas características do solo para fins de fertilidade;
- limites de metais no solo;
- necessidade de análises adicionais para a classificação de lodo quanto a patógenos;
- tratamentos para redução de patógenos e
- tratamentos para redução de atração de vetores.

2. Exclusões

Esta norma não se aplica para:

- lodos de tanques sépticos;
- resíduos do gradeamento;
- resíduos de caixas de areia e
- lodos contendo PCBs, dioxinas e furanos. Neste caso, caberá ao Órgão de Controle Ambiental avaliar a necessidade de caracterização do lodo quanto à presença desses poluentes, considerando a origem do mesmo e análise da viabilidade da sua utilização na agricultura

Os critérios desta Norma não se referem a projetos de aplicação de lodos no solo para fins de tratamento, os quais são definidos na norma NBR 13.894 - Tratamento no solo (landfarming) - Procedimento, da ABNT.

3. Documentos Complementares

Normas ABNT

NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos.

NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduos

NBR 13.221 - Transporte de Resíduos

NBR 13.894 - Tratamento no solo (landfarming) - Procedimento

Normas CETESB

Norma Técnica - L6.350 - "Solos - determinação da biodegradação de resíduos - método respirométrico de Bartha - Método de ensaio".

Norma Técnica - L5.620 - Mutação gênica reversa em *Salmonella typhimurium* - Teste de Ames.

4. 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:

São 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.

Biossólido:

Refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de **despejos líquidos sanitários**, com características tais que atende as condições desta norma para uma utilização segura na agricultura.

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).

Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico:

São os lodos originários do processo de sedimentação no decantador secundário de um sistema de tratamento biológico ou de lagoas de tratamento ou resultantes de processo de digestão, admitindo-se, neste caso, que o lodo do decantador primário venha a ser misturado com o lodo do decantador secundário, previamente à sua digestão.

Organismos Patogênicos:

São 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 por hectare e por ano, que pode ser aplicada ao solo.

Taxa de Aplicação:

É a quantidade projetada para a aplicação do lodo em toneladas (base seca) por hectare de solo.

Tratamento Biológico:

É aquele em que a redução das cargas poluidoras ocorre preponderantemente pela ação de microorganismos.

5. Critérios para Caracterização do Lodo

A caracterização deverá ser baseada nos resultados de, no mínimo, três amostras compostas, coletadas em datas diferentes, de modo a representar as características de variabilidade do lodo. O procedimento de amostragem deverá obedecer o especificado na norma ABNT, NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos.

As metodologias a serem adotadas para as análises do lodo, indicadas nos itens **5.1, 5.2 e 5.3**, estão especificadas no **Anexo A**.

5.1 Composição química e presença de patógenos

Para a caracterização química e microbiológica do lodo deverão ser realizadas análises dos parâmetros relacionados no **Quadro 1**.

Quadro 1. Relação dos parâmetros para caracterização química e microbiológica do lodo

Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Cromo total
PH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Número Mais Provável (NMP) de <i>Salmonella sp</i>	Sólidos voláteis
Número Mais Provável (NMP) de coliformes fecais	Zinco

5.2 Critérios específicos para caracterização de lodos oriundos de estações de tratamento de despejos líquidos sanitários

Durante os primeiros 24 meses de adaptação deste manual, para caracterização de lodos de estações de tratamento de despejos líquidos sanitários deverá ser exigida a determinação da fração de mineralização do nitrogênio do lodo para cálculo do nitrogênio disponível conforme definidos no **Anexo A.6** e no **Anexo E**.

5.3 Critérios específicos para a caracterização de lodos de origem industrial

5.3.1 Caracterização do lodo quanto à persistência da matéria orgânica e mineralização do nitrogênio do lodo

Deverá ser apresentado resultado de ensaio de acompanhamento da degradação da matéria orgânica (método respirométrico) e de determinação da fração de mineralização do nitrogênio do lodo conforme definido no **Anexo A.8** e no **Anexo A.6** respectivamente, tendo em vista justificar a frequência e taxa de aplicação proposta.

5.3.2 Caracterização do lodo quanto à toxicidade

No caso de indústrias que manuseiem substâncias consideradas tóxicas, poderá ser exigida caracterização adicional do lodo.

Fica a critério do Órgão de Controle Ambiental a solicitação de análises específicas para a caracterização do lodo quanto a aspectos de toxicidade tais como de avaliação da genotoxicidade através de teste de AMES e de informações detalhadas do processamento de origem do lodo, tais como relação das matérias-primas e produtos fabricados.

Por exemplo, na caracterização de lodos de indústrias têxteis, exige-se a apresentação de resultados de testes de AMES com o lodo, realizados conforme metodologia indicada no **Anexo A.7**.

5.3.3 Caracterização de lodo quanto à elevação de pH do solo

Para lodos tratados com cal, cuja taxa de aplicação venha a ser definida pela sua capacidade de neutralizar a acidez do solo, deverá ser realizado ensaio de incubação solo-lodo conforme definido no **Anexo A.9**, para verificação da variação do pH em função da taxa de aplicação, utilizando o solo do local.

6. Classificação do Lodo quanto à Presença de Patógenos e Tratamento de Redução de Patógenos

Dependendo das características 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 6.1** e será considerado classe B quando atender ao estabelecido no **item 6.2**.

6.1 Classe A

Um lodo é 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 B, item B.1** estão apresentados os processos de redução de patógenos aceitos pela CETESB como capazes de promover redução adicional de patógenos. No **item B.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 classe A, desde que devidamente comprovado o atendimento aos limites estabelecidos neste item, quando da sua caracterização (conforme **item 4**).

6.2 Classe B

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

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

- o processo adotado para seu tratamento visando a redução de patógenos tiver sido aceito pelo Órgão de Controle 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 2×10^6 NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) ou 2×10^6 UFC/g ST (Unidades Formadoras de Colônias por grama de Sólidos Totais).

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

7. Critérios para o Projeto de Aplicação de Lodos em Áreas Agrícolas

7.1 Exigências para a aplicação de lodos em áreas agrícolas

7.1.1 Quanto à composição do lodo

Lodos contendo metais em concentrações superiores aos limites estabelecidos no **Quadro 2** não são aceitáveis para a aplicação em solo agrícola.

... / Quadro 2

Quadro 2. Concentrações limites de metais no lodo

Metal	Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercurio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

7.1.2 Quanto à persistência da matéria orgânica do lodo

Lodos gerados em sistemas de tratamento de despejos industriais, só serão considerados adequados para a aplicação no solo agrícola se a matéria orgânica presente no mesmo apresentar eficiência de biodegradação superior a 30%, determinada através do método respirométrico de Bartha (conforme Norma CETESB L 6.350), na taxa de aplicação adotada.

7.1.3 Quanto ao tratamento do lodo

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

Os **Anexos B e C** apresentam exemplos de processos de redução de patógenos para cada classe de lodo. O **Anexo D** apresenta os critérios para verificação da adequação dos processos de tratamento quanto à redução da atratividade de vetores pelos lodos.

Ressalta-se que:

- Não será aceita a aplicação em áreas agrícolas para lodos que não atendam, no mínimo, aos requisitos estabelecidos para classe B;
- A classificação do lodo quanto à presença de patógenos é válida exclusivamente para o lodo gerado nas mesmas condições da amostra analisada e fica restrita ao período compreendido entre as campanhas de análises para sua classificação. A frequência de amostragem deve atender ao estabelecido no **item 8.5.2**;
- A classificação estabelece restrições quanto ao uso do lodo (vide **item 8.4**) e
- Independentemente da sua origem, para aplicação agrícola o lodo deverá ser tratado de modo a garantir redução da atratividade de vetores.

O **Quadro 3** apresenta um sumário dos itens a serem consultados e as limitações estabelecidas para cada tipo de lodo.

... / Quadro 3

Quadro 3. Roteiro de consulta

Tipo de lodo	Critério de classificação / análises	Redução de patógenos	Limitação de aplicação	Redução de atração de vetores	Registro
Classe A	Item 5.1 verificar processo de tratamento e analisar coliformes fecais e <i>Salmonella sp.</i>	Processos recomendados discriminados no Anexo B.1 , Critérios para novos processos no Anexo B.2.	Item 8.4.1.	São aplicáveis métodos de 1 a 8 do Anexo D e métodos 9 e 10 com restrições.	Manter registro, preencher declaração conforme especificado no item 8.2 e Anexo F.
Classe B	Item 5.2 analisar coliformes fecais.	Descrição dos processos no Anexo C.	Item 8.4.1, ver limitações específicas no item 8.4.3.	São aplicáveis métodos de 1 a 10 do Anexo D.	Manter registro preencher declaração conforme especificado no item 8.2 e Anexo F.

7.1.4 Condições específicas para lodos não contaminados com microrganismos patogênicos

Lodos provenientes do tratamento de efluentes industriais 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 patógenos.

7.2 Critérios de localização

Na escolha do local, deverão ser levados em consideração aspectos referentes à legislação vigente, especialmente a Legislação Florestal, quantidade de lodo a ser aplicada, facilidade de acesso durante o período de aplicação, proximidade de áreas residenciais, direção predominante dos ventos, aprovações e consentimentos 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 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.

7.3 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.:

Nota: para lodos de origem preponderantemente industrial podem ser incluídos limites para outros parâmetros.

7.3.1 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 nº 100 (Raij et alii, 1996) do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas).

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

7.3.2 Taxa de aplicação em função do teor de metais

Deverão ser respeitados os limites quanto à aplicação de metais no solo, considerando o **Quadro 4** e **item 7.3.5**.

Quadro 4. Taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Chumbo	15
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Selênio	5,0
Zinco	140

7.3.3 Taxa de aplicação em função da capacidade de elevação de pH do solo

A taxa de aplicação poderá, também, se basear na capacidade do lodo de neutralizar a acidez do solo. Nesse caso, deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo (**Anexo A.9**) de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo não ultrapasse o limite de 7,0 (determinação em CaCl₂).

7.3.4 Taxa de aplicação em função de outros nutrientes

Desde que devidamente justificado, outros nutrientes, eventualmente presentes no lodo, poderão ser utilizados para a definição da taxa de aplicação.

7.3.5 Limites de acumulação de metais no solo

Para reaplicação do lodo deverão ser respeitados os limites apresentados no **Quadro 5**.

A carga acumulada deve ser calculada com base na soma das cargas, considerando o teor de metal no lodo e as taxas de cada aplicação.

.../ Quadro 5

Quadro 5. Cargas cumulativas máximas permissíveis de metais pela aplicação de lodo em solos agrícolas

Metal	Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo (kg/ha)
Arsênio	41
Cádmio	39
Cobre	1500
Chumbo	300
Mercúrio	17
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Deverão ser respeitados os limites de concentração de metais no solo, a serem definidos pelo Órgão de Controle Ambiental, observando-se os resultados analíticos do solo superficial (camada 0-20 cm) antes da programação de novas aplicações.

Para o caso do **chromo** deverá ser respeitado, preliminarmente, o **limite de 500 mg/kg de solo** (Eikmann & Kloke, 1993) até definição dos limites citados.

8. Critérios de Operação

8.1 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.

8.2 Registros e relatórios da operação

Para fins de registro das análises realizadas e dados da operação da aplicação dos lodos, devem ser mantidos registros, 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;
- h) método de aplicação;
- i) tipo de vegetação existente ou cultura a ser implantada no local;
- j) totais anuais de nitrogênio disponível, para as plantas, no lodo (NDisp) em kg/tonelada;
- k) quantidade de nitrogênio disponível para as plantas aplicada no solo, por período de cultivo e
- l) 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 contados a partir da data do registro.

8.3 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, 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.

8.4 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 8.3** e orientações quanto à aplicação.

8.4.1 Exigências quanto à operação

O transporte, 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 ABNT NBR 13.221 - Transporte de Resíduos e na 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, conforme especificado no **item 8.1**;
- 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 a colocação de sinalização indicando 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 para destinação emergencial do lodo devem ser previamente submetidas à aprovação do órgão de controle ambiental;
- l) assegurar que a operação de incorporação de lodo ao 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_2), considerando a elevação de pH provocado pelo lodo, conforme metodologia indicada no **Anexo A.9**;
- n) manter as distâncias mínimas e as zonas de proteção estabelecidas no **item 7.2** para o local da aplicação;
- o) usar equipamento adequado e regulado para efetuar a aplicação do lodo de forma uniforme no solo e
- p) notificar quaisquer situações de desconformidade para o Órgão de Controle Ambiental.

8.4.2 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.

8.4.3 Exigências para lodos classe B

Na aplicação de lodo 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;

8.5 Monitoramento

8.5.1 Monitoramento do Solo

O monitoramento do solo é uma ferramenta valiosa para determinar se as condições da aplicação foram atendidas. Geralmente, quanto mais conservativo 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 A.10**.

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 A.3**], condutividade elétrica e, pelo menos um parâmetro indicador ou parâmetro de controle presente no lodo, o qual deverá ser definido de comum acordo com o Órgão de Controle Ambiental, por ocasião da análise do projeto;
- b) A cada 5 anos de aplicação, deverá ser efetuada uma determinação de metais, ao longo do perfil superficial do solo, nas seguintes profundidades: 0 - 20 e 20 - 40 cm e
- c) As determinações de metais na camada superficial deverão ser realizadas anualmente, conforme procedimento estabelecido no **Anexo A.10**, para os seguintes casos:
 - sempre que estes metais forem considerados poluentes limitantes da taxa de aplicação ou
 - a partir da data em que a taxa acumulada teórica alcançar 80% do máximo permissível estabelecido no **Quadro 5**, para verificar se as aplicações subsequentes são apropriadas.

O **Quadro 6** sumaria as exigências de monitoramento do solo.

... / Quadro 6

Quadro 6. Roteiro para programação das análises de solo

Parâmetro	Frequência
Análise de fertilidade	Anual
Condutividade	
Indicador (a ser definido caso a caso)	
Metais	A cada 5 anos ou anual, conforme estabelecido no item 8.5.1.c

8.5.2 Monitoramento do lodo

O **Quadro 7** indica a frequência exigida para o monitoramento do lodo, baseada na quantidade de lodo (em base seca) aplicada.

Este quadro se aplica à análise de metais, à confirmação da redução da atratividade a vetores, redução de patógenos (se aplicável) e ao nutriente / aspecto agrônomico limitante da aplicação (por exemplo, série nitrogenada). No caso de geradores que aplicam lodo uma vez por ano, a frequência de monitoramento poderá ser de uma amostra composta antes da aplicação. O Órgão de Controle Ambiental pode requerer monitoramentos mais frequentes, caso constatado que os constituintes do lodo variam significativamente ao longo do tempo. Neste caso, a amostragem e a análise devem ser feitas com frequência suficiente para documentar uma estimativa confiável dos componentes limitantes da taxa de aplicação do lodo.

Quadro 7. Frequência de monitoramento do lodo

Quantidade de lodo destinado para aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento do lodo
< 1 500	Uma amostra composta cada trimestre (4 vezes / ano)
≥ 1500	Uma amostra composta cada 60 dias (6 vezes/ano)

O **Anexo G** apresenta recomendações para o acompanhamento da operação de ETEs (ETE -Estação de Tratamento de Esgotos), tendo em vista avaliar a necessidade de realização de análises adicionais para caracterização do lodo.

A aplicação do nitrogênio, em taxas agrônomicas, pode ser realizada apenas quando a sua concentração no lodo é conhecida com um grau de certeza razoável. Caso o nitrogênio ou qualquer outro constituinte limitante varie sazonalmente de maneira acentuada, a variabilidade ao longo do tempo deve ser documentada.

Os resultados do monitoramento deverão ser mantidos em arquivo pelo responsável pela solicitação da autorização por um período de, no mínimo, cinco anos, contados da data do monitoramento.

A análise do lodo deve incluir, mas não necessariamente se limitar, aos parâmetros listados no **Quadro 8**.

.../ Quadro 8

Quadro 8. Relação dos parâmetros para análise no lodo

Carbono orgânico	Arsênio
Fósforo	Cádmio
Nitrogênio amoniacal	Chumbo
Nitrogênio nitrato/nitrito	Cobre
Nitrogênio total ou Nitrogênio Kjeldahl	Cromo total
pH	Mercúrio
Potássio	Molibdênio
Sódio	Níquel
Umidade	Selênio
Sólidos voláteis	Zinco

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

8.5.3 Outros monitoramentos

A critério do Órgão de Controle Ambiental, poderão ser requeridos monitoramentos adicionais, incluindo-se o monitoramento das águas subterrâneas, subsuperficiais ou de cursos d'águas superficiais.

9. Responsabilidades do Gerador

9.1 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, os quais 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 as ações corretivas tomadas pelo requerente. Este registro de inspeção deve ser mantido pelo responsável por um período de três anos contados a partir da data da inspeção, devendo estar disponível para consulta do Órgão de Controle Ambiental, ou de outra autoridade de licenciamento, quando solicitado.

9.2. Relatório Anual

O gerador do lodo deverá enviar, anualmente, ao Órgão de Controle Ambiental uma cópia dos registros de operação (**item 8.2**) e resultados dos monitoramentos (**item 8.5**).

10. Referências Bibliográficas

Normas estrangeiras utilizadas

Os procedimentos foram adaptados de normas utilizadas pelas seguintes agências dos Estados Unidos:

- USEPA - United States Environmental Protection Agency - Code of Federal Regulations 40 CFR Part 503 “Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge”;
- DEHNR - North Carolina Department of Environment, Health and Natural Resources - agência ambiental do Estado da Carolina do Norte e
- DHEC Department of Health and Environmental Control - agência ambiental do Estado da Carolina do Sul.

Referências Bibliográficas Complementares

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.

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.

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.

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.

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 Agronômico de Campinas**. Boletim técnico nº 106, Campinas, Instituto Agronômico.

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.

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.

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.

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.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. (1972) Nitrogen Mineralization Potentials of Soils. **Soil Science Society American Proc.** v. 36, p.465-472.

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.

U.S. EPA (1986) **Test Method for Evaluating Solid Waste**. Report Number SW-846, Washington, DC.

U.S. EPA (1985) **Guidelines for preparing environmental and waste samples for mutagenicity (Ames) testing: Interim Procedures and Panel Meeting Proceedings**. Las Vegas, EPA 255p. (EPA 600/07/68.03-3136).

... / Anexo A

ANEXO A

Metodologia para as análises e apresentação dos resultados

A.1 Análise de metais

As análises de metais 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.

Para o As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, e Zn deve-se empregar 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 em base seca.

A.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).

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

As determinações de pH, umidade, 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 Sólidos Voláteis e N Kjeldahl adotar método estabelecido por APHA et alii (1992). Os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de lodo em base seca.

A.4 Determinação de condutividade elétrica em solo

As determinações da condutividade elétrica no solo deverão ser realizadas de acordo com o procedimento estabelecido por Camargo et alii (1986) em extrato de saturação de 1:1.

A.5 Determinação de patógenos

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

A.6 Metodologia para determinação da fração de mineralização do nitrogênio

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.

A metodologia apresentada a seguir indica os procedimentos experimentais a serem adotados na determinação da curva de mineralização do nitrogênio orgânico contido em lodos provenientes do tratamento biológico de efluentes industriais ou sanitários.

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

A.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⁻¹ e água deionizada.
3. Ajustar o pH dos tratamentos para 6,5 com uma mistura de CaCO₃ + MgCO₃ (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 os lodos 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⁻¹ 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 NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻ 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 CaSO₄, 0,005 M KH₂PO₄, 0,002 M MgSO₄.
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.

A.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 CaCO₃ + MgCO₃ (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 NH₄⁺ e NO₃⁻ + NO₂⁻ por destilação a vapor com MgO e liga de Devarda (Bremner & Keeney, 1966).

A.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 (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.

A.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 A.6.3** (resultados em mg/kg - média de 2 análises).

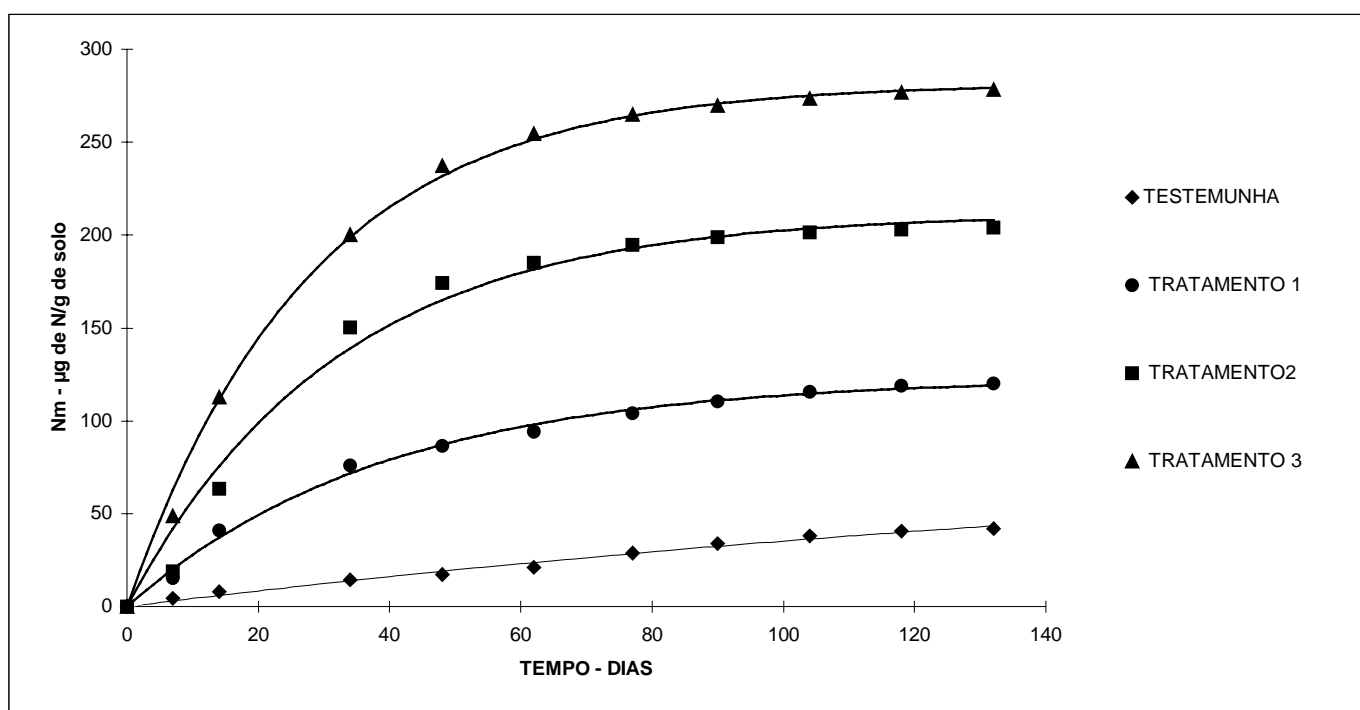
Tratamento	Nitrogênio Mineralizado Início			N miner. total Acumulado
	NH_4^+	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	N mineralizado total	
0	18,10	34,35	52,46	52,46
1	33,98	36,43	70,42	70,42
2	53,28	28,05	81,32	81,32
3	65,67	3,26	68,93	68,93

Tratamento	Nitrogênio Mineralizado 7º dia			N miner. total Acumulado
	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 14º dia			N miner. Total Acumulado
	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 132° dia			N miner. total Acumulado
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻	N mineralizado 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 lodo 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 fração 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 ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	%
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 ₀)	Meia vida
	dia ⁻¹	mg.kg ⁻¹	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

A.7 Determinação de genotoxicidade - Teste de Ames

Uma alíquota de, no mínimo, 30g da amostra deve ser extraída com metanol, através de ultrassonicação (10 minutos, 3 vezes) para obtenção de extrato orgânico (U.S. EPA, 1985) que deverá ser filtrado em sulfato de sódio anidro e em membrana de politetrafluoretileno (Teflon) (0,5µm) para obtenção do extrato orgânico. O extrato deverá ser testado frente às linhagens TA98 e TA100 de *Salmonella typhimurium*, na presença e na ausência de ativação metabólica (mistura S9) - Teste de Ames - conforme norma técnica CETESB L5.620. Recomenda-se a utilização de doses de até 500mg equivalentes de amostra por placa. Os resultados devem ser expressos em número de revertentes por miligrama de matéria orgânica extraída.

A.8 Metodologia para determinação da biodegradação de resíduos

As determinações de biodegradação da matéria orgânica contida em lodos deverão ser realizadas de acordo com o método de ensaio estabelecido pela Norma CETESB - L 6.350 - "Solos - determinação da biodegradação de resíduos - método respirométrico de Bartha - Método de ensaio", ou similar.

A.9 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 a cada 7 dias e determinar o pH em CaCl₂, 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.

A.10 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 B

ANEXO B

Processos de redução adicional de patógenos

A descrição dos processos de redução adicional de patógenos apresentada no **item B.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 B.2**.

B.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.

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

Procedimento para verificação da adequação de um processo quanto à 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 B.1**);
- 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(s) 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 B.1**.

.../ Quadro B.1

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

Indicador	Densidade mínima antes do tratamento	Densidade máxima após tratamento
Virus 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 C

ANEXO C

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 e
- 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 D

ANEXO D

Processos de tratamento para redução de atração de vetores

A relação dos processos de tratamento de lodo para redução de atração de vetores apresentada no **item D.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 D.2**) a ser observado para verificação da aceitabilidade do processo quanto à redução da atração de vetores.

D.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 D.2**

D.2 Critérios para certificação da adequação 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 O₂/[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.

Não se aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais.

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.

Não se aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais.

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 E

ANEXO E

Planilha para o cálculo do nitrogênio disponível no lodo - NDisp

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

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

Nitrogênio Kjeldahl (Nitrogênio Kjeldahl = Nitrogênio Orgânico total + Nitrogênio Amoniacal)(**N_{Kj}**) (mg/kg)

Nitrogênio Amoniacal (**N_{NH3}**) (mg/kg)

Nitrogênio Nitrato e Nitrito (**N_{NO3}** + **N_{NO2}**) (mg/kg)

O valor da fração de mineralização pode ser o determinado para o lodo específico ou adotado a partir de dados de literatura.

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

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

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

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

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

Para lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, fica facultado o uso de frações previamente definidas, desde que devidamente justificadas por meio de literatura. No entanto, dada a importância do aproveitamento do nitrogênio disponível no lodo para a cultura, recomenda-se a determinação da fração de mineralização para cada caso. Durante os primeiros 24 meses de adaptação deste manual, deverá ser exigida a determinação da fração de mineralização do nitrogênio também para lodos de despejos líquidos sanitários.

Para referência, estão listadas a seguir as frações de mineralização citadas pelo DEHNR (Department of Environment, Health and Natural Resources - Division of Environmental Management do Estado da Carolina do Norte, EUA, 1994, form LARS 06/94).

Lodo não tratado primário e secundário ¹	40%	
Lodo digerido aerobiamente		30%
Lodo digerido anaerobiamente	20%	
Lodo compostado	10%	

.../Anexo F

¹ Não é permitida a aplicação na agricultura de lodo de ETE não tratado, valor indicado apenas como referência.

ANEXO F

Preparação e aplicação do lodo - declaração

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

Modelo de declaração

Parte 1: (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 critérios de tratamento do lodo estabelecidos na **Norma CETESB P 4.230** :
 - Indicar o método de tratamento: _____
 - Indicar a classe do lodo: classe A classe B
 - Indicar o processo utilizado para a redução de vetores: _____
- Concentração de poluentes e patógenos

	Concentração (base seca)	Data da análise
Arsênio (mg/kg)		
Cádmio (mg/kg)		
Cromo (mg/kg)		
Cobre (mg/kg)		
Chumbo (mg/kg)		
Mercúrio (mg/kg)		
Molibdênio (mg/kg)		
Níquel (mg/kg)		
Selênio (mg/kg)		
Zinco (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 _____
 - N disponível _____ (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 preparação 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 de aplicação: _____ (hectares)
- Quantidade aplicada: _____ (m³ 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 nos **itens 7.2 e 8 da Norma P 4.230**.

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

Recomendações para sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários

Para sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários que incluam tratamento do lodo por biodigestão anaeróbia, recomenda-se o seguinte procedimento tendo em vista garantir o acompanhamento da qualidade do lodo gerado.

G.1 Registros Periódicos

- Volume da produção de gás - medição diária;
- Relação acidez/alcalinidade - medição quinzenal;
- pH - medição diária a semanal;
- Carga do biodigestor – medição diária e
- Concentração de sólidos voláteis no afluente e efluente do biodigestor – medição diária a semanal.

G.2 Acompanhamento

Plotar em gráfico ou tabular os resultados para acompanhamento da variação destes parâmetros ao longo do tempo.

Cada sistema terá uma faixa típica de operação normal. Sempre que detectada alteração de mais que 20% em relação aos níveis normais de operação do biodigestor, devem ser realizadas análises adicionais do conteúdo de metais e parâmetros de acompanhamento da qualidade dos lodos.

... / Anexo H

ANEXO H

Roteiro para elaboração de projetos de sistemas de aplicação de lodos em áreas agrícolas

Para a elaboração de projetos de sistemas de aplicação de lodos na agricultura, deverá ser observado o seguinte roteiro:

H.1 Caracterização da instalação de tratamento de efluentes

O projeto deverá incluir informações sobre o sistema de tratamento gerador do lodo, incluindo forma de tratamento, fluxograma simplificado, origem do despejo que é tratado, elementos e localização da estação de tratamento. No caso de indústrias, incluir informações sobre matérias-primas empregadas e segregação dos despejos.

H.2 Caracterização do lodo

Deverá ser apresentada a caracterização do lodo, observando-se o estabelecido no **item 5**, quanto a:

- composição química;
- presença de patógenos;
- persistência da matéria orgânica e
- mineralização do nitrogênio do lodo.

H.3 Caracterização da área

Deverão ser apresentados nome e endereço do proprietário da área e declaração de consentimento do uso da propriedade para aplicação de lodo como condicionante do solo.

H.3.1 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 incidentes;
- descrição da vizinhança e
- acessos ao local.

Nos locais onde não se dispuser 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.

H.3.2 Caracterização do solo

Apresentar resultados de análise química padrão de fertilidade, conforme rotina do IAC [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%)] e condutividade elétrica dos solos do local. 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, na homogeneidade do solo e na posição topográfica, não devendo cada parcela ultrapassar 20 hectares.

H.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 e metais e características do lodo.

H.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.

H.6 Plano de aplicação e manejo

H.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 previsto para a aplicação ao longo do ano.

H.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
- justificativa do plano de manejo considerando a capacidade de estocagem, o plano de aplicação do lodo e o benefício agrícola.

H.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 8**). 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.

H.8 Certificado agrônômico

Apresentar a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do projeto agrônômico 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, trazendo a anotação de tipo 3 no campo 6.

H.9 Informações adicionais

Sempre que alguma informação prevista neste roteiro não for incluída, em especial quanto à caracterização do lodo, ou que seja proposta alguma alteração das taxas de aplicação, deverão ser incluídas justificativas, dados, referências bibliográficas e/ou ensaios alternativos que tenham sido realizados.

Nos ensaios que visam a determinação da característica do lodo quanto à persistência da matéria orgânica poderão ser usadas taxas de aplicação superiores à taxa de aplicação a ser adotada no uso agrônômico, no entanto estes resultados só serão aceitáveis se forem indicativos de que, mesmo nesta condição mais desfavorável, o lodo é capaz de atender aos critérios de aplicação estabelecidos.

