

## **8 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)**

### **8.1. Artigo submetido**

Um artigo com as diretrizes iniciais para gerenciamento do lodo de esgoto armazenado no *geobag* com uma proposta de destinação final para o lodo de esgoto armazenado.

### **8.2. Protocolo analítico de destinação de resíduo de dragagem**

Protocolo de caracterização de lodo de esgoto dragado de sistema tratamento de efluentes, a fim de subsidiar novas operações de reutilização e dar o melhor destino ao resíduo do impacto inerente a operação de dragagem.

PROCEDIMENTO DE OPERAÇÃO PADRÃO		
POP TÍTULO: SEDIMENTABILIDADE DO LODO	CONTROLE FÍSICO- QUÍMICO ETE P.O.P. N° 001	DATA: 03/10/20 PÁGINA 1/2

## 1 Definições

I – amostra: substância, material ou produto que é parte de um todo;

II – amostra composta: mistura de várias alíquotas, colhidas no mesmo ponto de amostragem durante um período de tempo pré-estabelecido, ou em diferentes pontos de amostragem, a fim de constituir uma única amostra homogeneizada;

III – amostragem: processo de obtenção de amostras realizado com representatividade, replicação e distribuição determinadas

IV – lodo de esgoto: resíduo sólido não consolidado, composto por substâncias minerais e orgânicas gerados nos processos de tratamento de esgoto sanitário. Pode ser proveniente do tratamento na ETE, de sistema estático, entre outros.

V – biossólido: a denominação do lodo de esgoto, tratado ou processado, com características que permitam sua reciclagem de maneira racional e ambientalmente segura.

VI – procedimento operacional padrão (POP): documento que descreve detalhadamente as ações necessárias para a realização de uma tarefa rotineira.

## 2 Processo

Realizar a caracterização química e biológica do lodo dragado de sistema de tratamento de esgoto avaliando alternativas de disposição final.

## 3 Objetivo

Estabelecer as bases normativas para o reaproveitamento seguro e estabelecer procedimentos a serem adotados para análise de lodo de esgoto com finalidade de uso agrícola.

Caracterizar o lodo de esgoto quanto a presença de substâncias inorgânicas potencialmente tóxicas (metais);

- Caracterizar o risco biológico através da presença de agentes patogênicos (vírus entéricos, ovos de helmintos, *Samonella* e coliformes termotolerantes);

- Avaliar a adequação para aplicação agrícola do biossólido previamente caracterizado.

## 4 Aplicação

Os sistemas de tratamento de esgoto geram uma significativa quantidade de resíduo sólido, geralmente negligenciadas nos países em desenvolvimento (IADC, 1997). Como produção do lodo ocorre pelo processo de digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, apresentando elevado teor de material orgânico com poder fertilizante, por conter elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, tais como fósforo, nitrogênio e potássio, possui uma aplicabilidade elevada na agricultura (SANTOS, 2009). Como o material tem grande teor de matéria orgânica, esta característica que agrega valor ao produto, e favorece sua utilização na agricultura. O principal problema quanto à disposição e reutilização de sedimentos dragados, consiste na possível presença de metais pesados, contaminantes orgânicos e patógenos, capazes de provocar sérios danos à saúde humana, a flora e a fauna terrestre.

Diversos estudos realizados com lodo de esgoto foi constatado a presença de metais potencialmente tóxicos, aumentando a persistência em solos ou na vegetação; emissões de gases de efeito estufa (por exemplo, metano - CH<sub>4</sub> e óxido nitroso - N<sub>2</sub>O) e a liberação de compostos odoríferos, contaminantes orgânicos (alguns deles compostos orgânicos persistentes, resíduos farmacêuticos e cosméticos), além de ser uma fonte significativa de poluição micro plásticos no ambiente (COLLIVIGNERI et al, 2019; SANTOS et al, 2020; LI, 2018).

Logo, surge a necessidade avaliação e análises físico-químicas, microbiológicas desses materiais, a fim de garantir segurança nas aplicações.

## 5 Princípio

Determinação dos parâmetros físico químicos e microbiológico de amostra de lodo de esgoto com finalidade para uso agrícola.

A caracterização da amostra se fundamenta na Resolução 375 do CONAMA de 2006 (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Segundo essa mesma resolução a caracterização do lodo de esgoto deve incluir: potencial agrônômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas (Tabela 1); indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos (Tabela 2); e estabilidade.

A Instrução Normativa IN nº 07 de 2016, estabelece os limites para contaminantes, determina limites máximos admitidos em substrato para plantas, de agentes fitotóxicos, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, condicionadores de solo e substrato para plantas (MAPA, 2016).

Tabela 8 - Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto para substâncias inorgânicas na aplicação agrícola de lodo de esgoto, segundo CONAMA 375/2006 (mg.Kg<sup>-1</sup>, base seca). IN 7 do MAPA/2016 que determina os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

Parâmetro	CONAMA 375/2006	IN 7/2016	Diretiva 86/278/EEC
Arsênio	41	20	SE
Bário	1300	SE	SE
Cádmio	39	3	20-40
Chumbo	300	150	750 -1200
Cobre	1500	SE	1000 -1750
Cromo	1000	2	SE
Merúrio	17	1	16-25
Molibdênio	50	SE	SE
Níquel	420	70	300 -400
Selênio	100	80	SE
Zinco	2800	SE	2500-4000

Fonte: BRASIL, 2006; MAPA 2016.

Para fins de possível utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70. A aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados no solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma liberação devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente.

Tabela 9 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos.

Tipo do lodo	Concentração de patógenos
A	1.000 NMP/g ST Coliformes Termotolerantes; < 0,25 ovo / g de ST helmintos; ausência em 10 g de ST Salmonella; < 0,25 UFP ou UFF / g de ST Vírus
B	< 10 <sup>6</sup> NMP / g de ST Coliformes Termotolerantes; < 10 ovos / g de ST ovos viáveis de helmintos

Fonte: CONAMA 375/2006.

A reciclagem de lodos de esgoto representa uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente segura. O material orgânico presente aumenta a resistência dos solos à erosão, é fonte de nutrientes como nitrogênio e fósforo constituindo-se em boa alternativa para regiões agrícolas, especialmente aquelas caracterizadas pelo uso intensivo do solo ou em que há a proposição de técnicas de reflorestamento, trazendo retorno econômico para a atividade agrícola. A vantagem em termos climáticos está na utilização de produtos derivados de biomassa de origem renovável, recicla-se o carbono, reduzindo as emissões e compostos nocivos. A reciclagem agrícola contribui com o ciclo bioquímico dos nutrientes minerais, fornecendo matéria orgânica ao solo, estocando, assim, o carbono na forma de compostos estáveis e não liberando CO<sub>2</sub> na atmosfera (ANDREOLI, 2001; FREDDO, 2014).

## 6 Precaução de segurança

Usar todos os equipamentos adequados a possível contaminação microbiológica para execução desta análise.

## 7 Reagentes utilizados

Não aplicável.

## 8 Aparelhagens utilizadas

No quadro abaixo pode-se observar os materiais e fundamentos de sua utilização para coleta e armazenamento das amostras para análises físico, químicas e microbiológicas.

Tabela 10 Materiais utilizados na coleta.

Materiais	Utilização
Tubo de PVC	Coleta de amostras
Luvax	Coleta de amostras
Tambor para homogeneização	Composição da amostra composta
Caixa térmica	Armazenamento de amostra
Saco autoclavável	Armazenamento de amostra
Pacetas Inox	Manipulação de amostras
Balança digital	Pesagem de alíquotas/lodo
Capsula de Vidro	Envio e armazenamento de amostra
Frascos estéreis de vidro	Envio e armazenamento de amostra
Geladeira	Armazenamento de amostra
Caixa térmica	Envio das amostras

## 9 Preparação de soluções e reagentes

Não aplicável.

## 10 Procedimentos

A coleta é baseada na Norma Brasileira NBR n°10.007 - Amostragem de Resíduos (ABNT, 2004).

- Categoria do usuário que gerou o lodo (residencial, comercial, industrial ou público, com a identificação do usuário do sistema de esgotamento sanitário, se possível) e município de origem;
- Selecionar e sinalizar os locais de coleta.
- Anotar na ficha de coleta o endereço completo do local e se possível tomar as coordenadas (latitude e longitude), através de GPS e fotografar o local da coleta;
- Calçar as luvas
- Em caso de *geobags* abrir flanges selecionados.
- Coletar os sólidos com amostrador linear tipo tubo de PVC com diâmetro mínimo de 2" e comprimento que seja a altura aproximada do *geobag*.
  - Após introduzir, fechar a extremidade do tubo com a luva de PVC no diâmetro do tubo para gerar vácuo.
  - A amostra deve ser coletada todos os sentidos a partir do flange, o tubo PVC deve ser introduzido: uma vez no centro em sentido ao chão ou fundo do *geobag*, duas na direção longitudinal ao *geobag*, uma para a esquerda e outra para a direita, totalizando 5 retiradas com o tubo de PVC.
- Retirar o tubo com o material e transferir para um recipiente apropriado (tambor) tirando a luva, permitindo ao material escorrer pelo tubo.
  - Preparar amostra para análise: As amostras coletadas em cada flange da unidade *geobag* devem ser homogeneizada no tambor por repetidas vezes gerando uma amostra representativa por unidade *geobag*.
- Após a homogeneização é recolhido uma alíquota representativas nos fracos estéreis de vidro para as análises do laboratório terceirizado.

- Acondicionar as amostras: Coletada a alíquota representativa de cada flange do *geobag*, em recipiente vedado e extremamente seco, isento de umidade, embalagens limpas por fora.
  - Remova a tampa do frasco do laboratório; com todos os cuidados de assepsia.
  - Coletar a amostra (100 a 200 mL), deixando um espaço dentro do frasco suficiente para sua homogeneização.
  - Identifique a amostra e preencha a ficha de coleta.
  - Data, hora e local de recebimento.
- Acomode as amostras na caixa de coleta ou caixa de isopor.
  - Se possível lacrar a caixa.
  - As amostras devem ser conservadas sob refrigeração até a chegada ao laboratório.
  - O prazo para análise é de até 24 h.
- Encaminhar as amostras para análise em laboratório;
  - Determinação de substâncias inorgânicas: Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmiio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Selênio (Se) e Zinco (Zn) nas amostras de lodo de esgoto.
  - Determinação de indicadores microbiológicos e patogênicos: Coliformes termotolerantes, *Salmonella*, ovos viáveis de helmintos, vírus entéricos.
  - Determinação do potencial de uso agrônômico do lodo de esgoto como adubo: carbono orgânico, Nitrogênio total, Nitrogênio Orgânico (Kjeldahl), Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio nitrato/nitrito, Fósforo total e Sólidos voláteis e Sólidos Totais no lodo de esgoto.
- Realizar análise do lodo de esgoto comparando com as Resoluções de referência;
  - CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006);
  - MAPA IN 7/2016 (MAPA, 2016);

## 11 Preservação das amostras

As técnicas de preservação são vitais para minimizar alterações das amostras e com relação a análises futuras. Alguns preservativos comuns estão descritos abaixo:

- Congelamento – é um método de preservação que pode ser aplicado para aumentar o intervalo de tempo entre a coleta e a análise, para maior parte dos

parâmetros de composição química. Não pode ser usado para a determinação de teor de sólidos filtráveis e não filtráveis ou de qualquer parâmetro nessas frações, pois os componentes dos resíduos em suspensão se alteram com o congelamento e posterior descongelamento.

- Refrigeração – Manter as amostras entre 1°C e 4°C preservará a maioria de características físicas, químicas e biológicas em curto prazo (< 24 horas) e como tal é recomendado para todas as amostras entre coleta e entrega para o laboratório. É recomendado para amostras microbiológicas ser refrigerada entre 2°C e 10°C. O gelo pode ser rapidamente usado para resfriar amostras para 4°C antes do transporte. As barras de gelo reutilizáveis são preferidas ao invés de gelo solto. Lembrando que o gelo não deve entrar em contato com as amostras.

## **12 Identificação das amostras**

Os pontos de coleta devem ser detalhadamente descritos na ficha de coleta, incluindo:

- Coordenadas;
- Condições hidrológicas;
- Condições meteorológicas no dia da coleta e nas últimas vinte e quatro horas ou quarenta e oito horas.

## **13 Acondicionamento das amostras**

Após a coleta das amostras, as mesmas devem ser cuidadosamente acondicionadas para evitar avarias e contaminação, e transportadas ao laboratório, no tempo necessário para que sua análise ocorra dentro do prazo de validade da preservação.

## **14 Transporte das Amostras**

O transporte das amostras deve ser realizado em caixas térmicas, que permitam o controle da temperatura e seu fechamento através de lacres (se possível numerado). Normalmente a temperatura, de transporte, é de - 4°C. Caso não seja possível o uso de caixas térmicas, pode ser utilizado caixa de isopor com gelo reciclável, buscando evitar o contato direto do gelo com as amostras.

Os seguintes procedimentos são recomendados ao preparar a amostra para transporte:

- Colocar os frascos na caixa de amostras de tal modo que fiquem firmes durante o transporte;
- Nos casos em que se usar gelo para preservação, cuidar para que os frascos, ao final do transporte não fiquem submersos na água formada pela sua fusão o que aumentaria o risco de contaminação.
- Evitar a colocação de frascos de uma mesma amostra em caixas diferentes.

## 15 Classificação do Lodo quanto à Presença de Patógenos

- Classe A:
  - Coliformes fecais, densidade inferior a 10<sup>3</sup> NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais).
  - *Salmonella sp*, densidade inferior a 3 NMP/4g ST (Número Mais Provável por 4 g de Sólidos Totais).
- Classe B:
  - Densidade de coliformes fecais do mesmo for inferior a 2 x 10<sup>6</sup> NMP/g ST.
  - Uso agrícola torna-se restrito à cultura do café, a silvicultura e às culturas de fibras e óleos

## 16 Disposição e alternativas de usos

Caso os parâmetros se mostrem em divergência com a legislação ou o lodo não apresente características de lodo de esgoto Classe A, recomenda-se tratamentos sanitários ou demais usos:

- Caleação:
  - Cal virgem (CaO) ou cal hidratada (CaOH) ao lodo de esgoto, elevando o pH da mistura até que o ambiente se torne inapropriado à vida (pH acima de 11,5).
  - Produz grande quantidade de gás amônia durante a mistura.
  - Questionável, pois ovos viáveis de helmintos têm sido recuperados em lodos caleados, além do fato de que o óxido de

cálcio (CaO) e o hidróxido de cálcio (CaOH) são agressivos às plantas (SANTOS, 2020; CORRÊA, 2007).

- Santos *et al.* (2020) em Portugal destacam como alternativa sustentável o uso de resíduos como a casca de ovo nesse processo de higienização levando à completa eliminação de *E. coli*
- Compostagem:
  - Elevar o pH a um valor maior ou igual a 12, criando um meio que não permite a sobrevivência da maioria dos microrganismos (GONZALEZ *et al.*, 2019).
  - Remoção de ovos de helmintos, organismos patogênicos e parasitas, diminuição a disponibilidade de metais pesados, reduzindo seu risco de bioacumulação e de lixiviação (CORRÊA, 2007).
- Reuso industrial (fabricação de agregado leve, cimento, tijolos e cerâmica):
  - Fator limitante a umidade do lodo de esgoto.
  - Custos com transporte.
- Uso como substrato vegetal:
  - Promove o aproveitamento de nutrientes e matéria orgânica, presentes no lodo.
  - As concentrações de metais pesados na amostra de lodo de esgoto do estudo não impõem restrições de uso desse lodo para a fabricação do substrato, uma vez que atendem aos padrões estabelecidos na legislação
- Recuperação de solos (em áreas degradadas e de mineração):
  - Aspectos sanitários, que limitam o uso de lodos de esgoto na agricultura, não são impedimentos para o uso deles na recuperação de áreas degradadas pela mineração (CORRÊA, 2007).
  - A vantagem econômica deve-se a sua grande disponibilidade nas estações de tratamento,
  - As dificuldades encontradas relacionam-se a seu transporte, manuseio e aplicação, por causa do elevado teor de umidade que lodos de esgotos contêm (85 - 88%).
- Uso florestal, silvicultura:

- A produção de mudas florestais é uma alternativa viável, sendo o material usado como adubo para plantios de recomposição florestal ou condicionador de solos para recuperação de áreas degradadas, possibilitando maior atração do ponto de vista ambiental, visto que nessas atividades seriam realizadas em apenas uma ou duas aplicações (ABREU et al., 2019).
- Aporte de macronutrientes (N e P) e a maior capacidade de troca catiônica.
- Aumento de produtividade (SILVA et al., 2010).

## 17 Bibliografia

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004b **NBR 10.007**: Resíduos sólidos – Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, Brasil, 21 pp.

BRASIL. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, SEMA, 2006

MAPA. **IN 07 de 12 de abril de 2016**. Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.