

III-834 – ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA DE CICLO COMPLETO COMO MATERIAL DE RECOBRIMENTO EM ATERRO SANITÁRIO EM APARECIDA DE GOIÂNIA (GO)

Débora Raíssa Marçal⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Especialista em Saneamento e Saúde Ambiental pela Universidade Federal de Goiás. Técnica em Saneamento da Saneago-GO.

Beatriz Soares de Freitas Rodrigues⁽²⁾

Técnica em Controle Ambiental e graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Goiás. Estagiária da Saneago-GO.

Brenda Vitória de Sousa Fonseca⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Especialista em tratamento de efluentes líquidos e disposição final de resíduos sólidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira de aterro da Metropolitana Serviços Ambientais LTDA.

Helen Carla Miranda de Resende⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdade de Caldas Novas (UNICALDAS). Especialista em Gestão em Sistemas de Saneamento pelo Instituto de Pós Graduação (IPOG). Engenheira Ambiental da Saneago-GO.

Theyssa Fernanda Barbosa Borges⁽⁵⁾

Bióloga pela Universidade Estadual de Goiás. Mestre em Ciências Biológicas. Gerente da Gerência de Resíduos de ETAs e ETES na Saneago-GO.

Endereço⁽¹⁾: Av. Fued José Sebba, 1245 – Jardim Goiás – Goiânia – GO – CEP: 74805-100 – Brasil – Tel (62) 3243-3072 – e-mail: deboramarcal@saneago.com.br

RESUMO

A geração de resíduos é inerente ao processo de fabricação de água potável que ocorre nas Estações de Tratamento de Água. O principal resíduo gerado na ETA é o lodo de ETA (LETA), proveniente da água de lavagem de filtros e da descarga de decantadores, o qual precisa ser devidamente caracterizado para escolha de soluções para sua destinação. Uma das alternativas de aproveitamento do LETA é a sua utilização para o recobrimento de camadas em aterros sanitários. Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho foi classificar o lodo da ETA Meia Ponte, uma ETA de Ciclo Completo na cidade de Goiânia, e analisar o seu comportamento em camadas de cobertura em um aterro sanitário privado na cidade de Aparecida de Goiânia (GO). Para tanto, além da realização de análises com o intuito de determinar a classe do resíduo da referida ETA antes de propor a sua destinação, este estudo contemplou a avaliação da trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos, bem como o seu desempenho geotécnico no aterro sanitário. Os resultados apresentaram um resíduo Classe II-A não perigoso não inerte, com considerável presença de materiais inorgânicos (resultados de sólidos fixos maior que sólidos totais voláteis). Quanto à sua trabalhabilidade, foi possível observar comportamento similar ao solo nos períodos de seca, possibilitando o seu espalhamento uniforme. Já nos períodos de alta pluviosidade, a “pasta” formada pela interação do resíduo com a chuva serviu como barreira hidráulica para contenção de erosões nos taludes provisórios. O estudo permite afirmar que, para este caso específico, há viabilidade no uso benéfico do LETA em substituição ao solo para camadas de cobertura, uma vez que evita a sua disposição como um rejeito e reduz custos na manutenção do aterro. Recomenda-se ainda a realização de novos estudos para efeito de comparação e similaridade de resultados, como também a realização de análises de água de arraste da chuva para verificação do carreamento de impurezas.

PALAVRAS CHAVE: Aterro Sanitário, ETA de Ciclo Completo, Lodo de ETA, Camadas de Cobertura, Uso benéfico do LETA.

INTRODUÇÃO

Uma Estação de Tratamento de Água pode ser entendida como uma indústria, cuja matéria-prima é a água bruta que após diversas operações e processos tem como produto final a água tratada para consumo humano e como subproduto o lodo de ETA, geralmente proveniente das águas de lavagem de filtros e descarga de decantadores (OLIVEIRA, 2016).

Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) brasileiras, o tratamento convencional é o mais utilizado para remoção das impurezas presentes na água bruta e é composto por três processos básicos: clarificação (coagulação, floculação e decantação/flotação), filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010; SOARES et al., 2009b).

A remoção dos sólidos presentes na água ocorre nos decantadores e por esse motivo, são nessas unidades que se gera o lodo. As características quantitativas e qualitativas desse resíduo variam de acordo com a qualidade da água bruta, o tipo e a quantidade de coagulante adicionado na etapa de coagulação, da eficiência dos floculadores e decantadores. O LETA pode também ser composto por resíduos provenientes dos clarificadores, lavagem de filtros, recuperação da água de lavagem ou uma combinação dessas operações (SOUZA et al., 1999; SOARES et al., 2009b).

O lodo de ETA (LETA) é constituído prioritariamente por frações inorgânicas – compostas por argila, silte, areia fina – mas também pode apresentar material húmico e microrganismos, além de produtos provenientes do processo de coagulação. É classificado como resíduo sólido Classe II pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) e, por esse motivo, precisa ser gerenciado nos termos da Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resíduos Classe II são os resíduos não perigosos e podem ser classificados em não-inertes (Classe IIA) e em inertes (Classe IIB) (ABNT, 2004). Os resíduos Classe IIA são aqueles que possuem características de combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água. Já os resíduos Classe IIB são aqueles que não se solubilizam na água em quantidades relevante (ABNT, 2004).

Atualmente, a destinação dos LETAs no Brasil ocorre, em sua maioria, sem tratamento nos corpos hídricos, em inobservância aos padrões mínimos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 430/2011 e CONAMA nº 357/2005, potencializando a deterioração da qualidade de água dos rios e lagos (ANDRADE, 2014).

O lançamento do lodo em corpos hídricos devolve os materiais anteriormente removidos, mas, por outro lado, os químicos utilizados facilitam a sedimentação desses materiais, causando assoreamento dos rios, baixando a qualidade da água, podendo causar impactos à vida aquática, e causar eutrofização dos corpos hídricos pelos nutrientes presentes (RICHTER, 2001; HUSSEIN, 2021). Quando o lodo de ETA é descartado na água, não só a qualidade da água, mas a do solo também é afetada, há traços de metais que se acumulam no solo irrigado com canais que recebem esse lodo. Além disso, no verão ocorre alta acumulação de nutrientes, metais, carga orgânica e bactérias na água (HUSSEIN, 2021; WASSERMAN, 2018).

No estado de Goiás, conforme previsto no Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (PERS, 2017), quanto à destinação do LETA, a recomendação é de que a fase líquida seja preferencialmente recirculada e a fase sólida seja aproveitada na construção civil ou utilizada como material de recobrimento dos resíduos sólidos urbanos dispostos em aterro sanitário, desde que possua teor de sólidos de, no mínimo, 50%. Apesar disso, não se tem conhecimento de nenhuma experiência com essa destinação no estado de Goiás.

Cabe ressaltar que, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), o aterro sanitário é uma alternativa de disposição final de resíduos que consiste na distribuição ordenada de rejeitos e deve observar normas operacionais específicas, inclusive sistema de cobertura, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

O sistema de cobertura, de uma forma geral, tem a função de proteger a superfície das células de resíduos, minimizando impactos ao meio ambiente, visando especificamente o controle ou impedimento de infiltrações e diminuição da taxa de formação de percolados. Intenciona, ainda, o controle das emissões de biogás assim como a redução da exalação de odores e formação de poeiras a partir dos resíduos, ao mesmo tempo em que dificulta a catação e a proliferação de vetores (PRIM, 2011).

O recobrimento diário, com espessura mínima de 15 cm de solo, evita o arraste de detritos pelo vento, bem como a proliferação de vetores que possam provocar problemas de saúde pública. O recobrimento final é executado após o encerramento de uma parcela do aterro. Este possui espessura mínima de 40 cm de solo (OLIVEIRA, 2002).

No Brasil, a grande maioria dos aterros sanitários ainda possui cobertura com camada homogênea de argila compactada. O LETA se apresenta como uma possibilidade para o recobrimento de resíduos nos aterros e pode ser utilizado tanto nas camadas intermediárias quanto na camada final (PEREIRA, 2005).

Considerando as recomendações do PERS-GO (PERS, 2017) e a necessidade de se implantar alternativas sustentáveis para o sistema de coberturas de aterros sanitários, este trabalho apresenta um estudo de caso da utilização de LETA de uma ETA de Ciclo Completo em Goiânia (GO) como material de recobrimento em um aterro sanitário em Aparecida de Goiânia (GO).

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é classificar o lodo da ETA Meia Ponte, uma ETA de Ciclo Completo na cidade de Goiânia, e analisar o seu comportamento em camadas de cobertura em um aterro sanitário privado na cidade de Aparecida de Goiânia (GO).

São objetivos específicos:

- I) Apresentar a caracterização do LETA quanto à sua granulometria, teor de sólidos, umidade e pH e realizar comparação do LETA com solo;
- II) Classificar o LETA quanto à sua periculosidade;
- III) Avaliar a trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos e o desempenho geotécnico do LETA no aterro sanitário;

METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória do tipo estudo de caso. A metodologia utilizada foi constituída de três etapas principais, conforme fluxograma apresentado na figura 1.

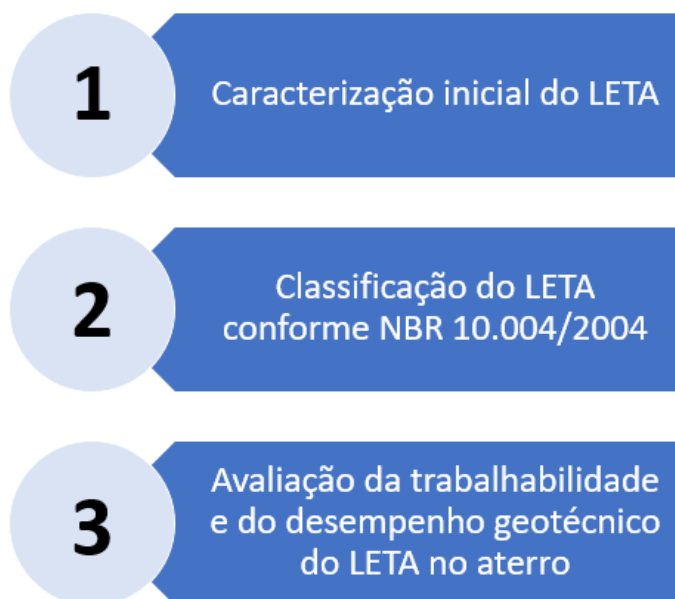


Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada.

PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA

A caracterização inicial do LETA da ETA Meia Ponte foi realizada por intermédio de um estudo preliminar de VIEIRA E PIMENTA (2021) intitulado “Estudo para aplicação do lodo de ETA como material de cobertura na operação do aterro sanitário de Goiânia – GO”, que apresenta resultados de análises dos parâmetros de granulometria por peneiramento, umidade, pH e sólidos totais, voláteis e fixos, com o objetivo de analisar a possibilidade de utilização do lodo da ETA Meia Ponte para recobrimento de resíduos.

SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004

Em seguida, para classificação do lodo, conforme NBR 10004/2004 (ABNT, 2004), em outubro de 2022, foram coletadas amostras compostas do lodo da ETA *in natura*.

A coleta do LETA foi realizada seguindo a NBR 9603/2015 da ABNT que estabelece o procedimento para sondagem a trado, com trado manual de 6 polegadas de diâmetro e seguindo as etapas de perfuração dos furos com o trado manual de 6 polegadas e coleta de amostra do resíduo e envio para análise laboratorial.

A coleta foi realizada em quatro pontos, para amostragem composta. O material retirado foi depositado em uma bandeja de inox e misturado, posteriormente, a amostra foi colocada em um saco plástico e identificada.

As amostras foram encaminhadas para um laboratório externo com acreditação no INMETRO para realização das análises completas de massa bruta, lixiviado e solubilizado do LETA da ETA Meia Ponte consoante anexos 7 e 8 da NBR 10.004/2004.

TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO

Por último, mediante avaliação *in situ* e acompanhamento, verificou-se a trabalhabilidade do LETA no recobrimento de resíduos, bem como o seu desempenho geotécnico no aterro sanitário e o seu comportamento em períodos de pluviosidade.

RESULTADOS

PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA

Os resultados das análises realizados por VIEIRA E PIMENTA (2021) do lodo de ETA Meia Ponte são apresentadas no quadro 1:

Quadro 1: Resultados analíticos do LETA da ETA Meia Ponte.

| Parâmetro | Peneira | LETA | Solo |
|-------------------------|---------|--------|--------|
| Granulometria | #10 | 100% | 91,96% |
| | #40 | 87,36% | 95,39% |
| | #200 | 45,90% | 46,04% |
| Sólidos totais | - | 61,80% | 87,40% |
| Sólidos totais voláteis | - | 19,90% | 9,00% |
| Sólidos totais fixos | - | 80,10% | 91,00% |
| Umidade | - | 39,88% | 13,14% |

Fonte: VIEIRA E PIMENTA (2021).

Como pode ser observado no quadro 1, a distribuição granulométrica de ambos materiais é muito semelhante, sendo que o solo e o LETA possuem características de argilas siltosas.

SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004

De acordo com os resultados apresentados pelo laboratório externo contratado - todos os parâmetros analisados para massa bruta e para lixiviado satisfazem os limites permitidos pela NBR 10.004/2004 para ser classificado como resíduo não perigoso (classe II) e os resultados para solubilizado o classificam o material como não inerte. Assim, foi possível constatar que o LETA analisado é um resíduo Classe IIA - não perigoso não inerte (ABNT, 2004).

Os quadros 2, 3 e 4 apresentam os resultados da análise de massa bruta, lixiviado e solubilizado, respectivamente.

Quadro 2: Resultado da análise de massa bruta

| Massa Bruta | | |
|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| Parâmetro | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 -Massa Bruta |
| Aspecto | Sólido (S) | --- |
| Cor da Amostra | Marrom (MA) | --- |
| Ponto de Fulgor | > 250 °C | > 60 °C |
| Cianeto Total | < 3,5 mg/kg | 250 mg/kg |
| pH | 6,47 - | 2,0 - 12,5 |
| Líquidos Livres | Não | --- |
| Sulfeto | < 2,16 mg/kg | 500 mg/kg |
| Óleos e Graxas | 1,15% | --- |
| % de Sólidos | 56,44% | --- |
| % de Umidade | 43,56% | --- |

Quadro 3: Resultado da análise de lixiviado

| Lixiviado | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Parâmetro | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo F (Lixiviado) | Parâmetro | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo F (Lixiviado) |
| pH do Extrato Lixiviado | 4,35 | --- | Benzo(a)pireno | < 0,00000500 mg/L | 0,07 mg/L |
| Arsênio (As) | < 0,0010 mg/L | 1,0 mg/L | Cloreto de Vinila | < 0,00050 mg/L | 0,5 mg/L |
| Bário (Ba) | 1,712 mg/L | 70 mg/L | Monoclorobenzeno | 0,0098 mg/L | 100 mg/L |
| Cádmio (Cd) | < 0,001 mg/L | 0,5 mg/L | Clorofórmio | < 0,0020 mg/L | 6,0 mg/L |
| Chumbo (Pb) | < 0,010 mg/L | 1,0 mg/L | Cresóis Totais | 0,000492 mg/L | 200 mg/L |
| Cromo (Cr) | < 0,010 mg/L | 5,0 mg/L | o-Cresol | < 0,0000100 mg/L | 200 mg/L |
| Fluoreto | 0,94 mg/L | 150 mg/L | m,p-Cresol | 0,000492 mg/L | 200 mg/L |
| Mercurio (Hg) | < 0,00020 mg/L | 0,1 mg/L | 1,4-Diclorobenzeno | < 0,0020 mg/L | 7,5 mg/L |
| Prata (Ag) | < 0,010 mg/L | 5,0 mg/L | 1,2-Dicloroetano | < 0,0020 mg/L | 1,0 mg/L |
| Selênio (Se) | < 0,010 mg/L | 1,0 mg/L | 1,1-Dicloroetano | < 0,0020 mg/L | 3,0 mg/L |
| Aldrin + Dieldrin | < 0,0000030 mg/L | 0.003 mg/L | 2,4-Dinitrotolueno | < 0,0000250 mg/L | 0,13 mg/L |
| Clordanos (a-Clordano + g-Clordano) | < 0,0000050 mg/L | 0,02 mg/L | Hexaclorobenzeno | < 0,00000500 mg/L | 0,1 mg/L |
| DDT+DDD+DDE | < 0,0000010 mg/L | 0,2 mg/L | Hexaclorobutadieno | < 0,002 mg/L | 0,5 mg/L |
| 2,4-D | < 0,000050 mg/L | 3,0 mg/L | Hexacloroetano | < 0,000100 mg/L | 3,0 mg/L |
| Endrin | < 0,0000030 mg/L | 0,06 mg/L | Metiletilcetona (2-Butanona) | < 0,020 mg/L | 200 mg/L |
| Heptacloro + Heptacloro Epóxido | < 0,0000050 mg/L | 0.003 mg/L | Nitrobenzeno | < 0,0000100 mg/L | 2,0 mg/L |
| g-BHC (Lindano) | < 0,0000030 mg/L | 0,2 mg/L | Piridina | < 0,000300 mg/L | 5,0 mg/L |
| Metoxicloro | < 0,0000100 mg/L | 2,0 mg/L | Tetracloroeto de Carbono | < 0,0010 mg/L | 0,2 mg/L |
| Pentaclorofenol | < 0,0000500 mg/L | 0,9 mg/L | Tetracloroetano | < 0,0020 mg/L | 4,0 mg/L |
| Toxafeno | < 0,0000100 mg/L | 0,5 mg/L | Tricloroetano | < 0,0010 mg/L | 7,0 mg/L |
| 2,4,5-T | < 0,000050 mg/L | 0,2 mg/L | 2,4,5-Triclorofenol | < 0,0000100 mg/L | 400 mg/L |
| 2,4,5-TP | < 0,000050 mg/L | 1,0 mg/L | 2,4,6-Triclorofenol | < 0,0000100 mg/L | 20 mg/L |
| Benzeno | < 0,0010 mg/L | 0,5 mg/L | - | - | - |

Quadro 4: Resultado da análise de solubilizado

| Solubilizado | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|---|---------------------------------|---------------------|---|
| Parâmetro | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo G (Solubilizado) | Parâmetro | Resultado Analítico | ABNT NBR 10004 - Anexo G (Solubilizado) |
| pH do Extrato Solubilizado | 6,2 | --- | Heptacloro + Heptacloro Epóxido | < 0,0000050 mg/L | 0,00003 mg/L |
| Aldrin + Dieldrin | < 0,0000030 mg/L | 0,00003 mg/L | Hexaclorobenzeno | < 0,00000500 mg/L | 0.001 mg/L |
| Arsênio (As) | < 0,0010 mg/L | 0,01 mg/L | g-BHC (Lindano) | < 0,0000030 mg/L | 0.002 mg/L |
| Bário (Ba) | 0,053 mg/L | 0,7 mg/L | Manganês (Mn) | 0,098 mg/L | 0,1 mg/L |
| Cádmio (Cd) | < 0,001 mg/L | 0.005 mg/L | Mercúrio (Hg) | < 0,00020 mg/L | 0.001 mg/L |
| Chumbo (Pb) | < 0,010 mg/L | 0,01 mg/L | Metoxicloro | < 0,0000100 mg/L | 0,02 mg/L |
| Cianeto Total | < 0,020 mg/L | 0,07 mg/L | Nitrato como N | < 0,045 mg/L | 10 mg/L |
| Clordanos (a-Clordano + g-Clordano) | < 0,0000050 mg/L | 0,0002 mg/L | Prata (Ag) | < 0,010 mg/L | 0,05 mg/L |
| Cloreto | 5,231 mg/L | 250 mg/L | Selênio (Se) | < 0,0010 mg/L | 0,01 mg/L |
| Cobre (Cu) | < 0,005 mg/L | 2,0 mg/L | Sódio (Na) | 9,160 mg/L | 200 mg/L |
| Cromo (Cr) | < 0,010 mg/L | 0,05 mg/L | Sulfato | 7,596 mg/L | 250 mg/L |
| 2,4-D | < 0,0000050 mg/L | 0,03 mg/L | Surfactantes | < 0,15 mg/L | 0,5 mg/L |
| DDT+DDD+DDE | < 0,0000010 mg/L | 0.002 mg/L | Toxafeno | < 0,0000100 mg/L | 0.005 mg/L |
| Endrin | < 0,0000030 mg/L | 0,0006 mg/L | 2,4,5-T | < 0,0000050 mg/L | 0.002 mg/L |
| Fenóis Totais (Índice de Fenóis) | < 0,002 mg/L | 0,01 mg/L | 2,4,5-TP | < 0,0000050 mg/L | 0,03 mg/L |
| Ferro (Fe) | 4,650 mg/L | 0,3 mg/L | Alumínio (Al) | 5,174 mg/L | 0,2 mg/L |
| Fluoreto | < 0,200 mg/L | 1,5 mg/L | Zinco (Zn) | 0,048 mg/L | 5,0 mg/L |

TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO

Com relação a trabalhabilidade do material, foi observado em campo que o LETA se comporta como solo oriundo de escavação, que também é utilizado para o recobrimento dos resíduos.

A figura 2 ilustra o LETA disposto como material de recobrimento, permitindo observar que ele apresentou boa trabalhabilidade, sem desvantagens que pudessem inviabilizar o seu uso.



Figura 2: LETA utilizado como material de recobrimento.

Rocca (1993) apud Prim (2011) e Qasin e Chiang (1994) apud Prim (2011) descrevem que a porcentagem passante na peneira #200 (peneira com abertura de 0,074 mm), precisa ser maior que 30%, para atender os requisitos mínimos para cobertura de aterros. Em ambos os casos o LETA e solo apresentam valores superiores a 30% de material passante na peneira #200, validando, do ponto de vista geotécnico, tanto o uso do solo como do lodo, para cobertura de resíduos.

No tocante ao monitoramento do comportamento do lodo de ETA durante a chuva, observou-se que a área do aterro onde foi utilizado o LETA não apresentou erosões, mas sim resistência ao escoamento superficial. Além disso, não ocorreu mudança em seu comportamento, ou seja, o LETA permaneceu semelhante ao solo de recobrimento.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

PRIMEIRA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA

Quanto à granulometria, o LETA se assemelha ao solo da região. Além disso, o percentual para sólidos totais é maior que 50%, valor que atende a recomendação do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS, 2017) para disposição do material como recobrimento de aterros sanitários. Ademais, os resultados de sólidos totais fixos maior que sólidos totais voláteis podem indicar maior presença de material inorgânico.

É importante reforçar que essa amostra foi coletada após um ano de secagem do lodo em uma lagoa de sedimentação. Contudo, em caso de necessidade de retirada do material em períodos menores de secagem, recomenda-se realizar o revolvimento da lagoa.

SEGUNDA ETAPA: CLASSIFICAÇÃO DO LODO, CONFORME NBR 10.004/2004

As análises realizadas para o LETA permitem afirmar que se trata de um resíduo de Classe II A. Por se tratar de um material não perigoso, o resíduo não necessita de transporte especial e poderá ser aceito com maior facilidade em aterros sanitários, uma vez que a maioria dos aterros licenciados se destina a receber resíduos classe II.

Insta salientar que apesar da análise de sólidos indicar maior presença de material inorgânico no LETA, o resíduo foi classificado como não inerte por apresentar valores de alumínio e ferro maiores que os

estabelecidos na Tabela G da NBR 10.004 (ABNT, 2004). Esses resultados podem ser justificados pela presença de coagulantes adicionados durante o tratamento de água, mas também por influência da água em decorrência do latossolo vermelho-amarelo local, que possui teores médios a altos de Óxido de Ferro III (Fe_2O_3) (Santos e Zaroni, 2021).

TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TRABALHABILIDADE E DO DESEMPENHO GEOTÉCNICO DO LETA NO ATERRO

No tocante a trabalhabilidade do material, observou-se, que seu comportamento é semelhante ao solo anteriormente utilizado no recobrimento dos resíduos. Não houve nenhum entrave quanto ao espalhamento do material, realizado com o trator de esteira.

Porém, no período de alta pluviosidade, observou-se que o LETA disposto sobre o platô (local de tráfego dos caminhões) se assemelha a uma pasta, dificultando a movimentação dos veículos. Em contrapartida, seu uso nos taludes provisórios foi importante na contenção de erosões, vez que ocorreu o crescimento de gramíneas nos taludes recobertos com o LETA (figuras 3 e 4), formando uma barreira hidráulica.

Possivelmente, esse desenvolvimento de plantas se deu pelas características geotécnicas mínimas e concentração de micronutrientes (N, P, K) do LETA.



Figura 3: Talude com recobrimento de LETA apresentando o crescimento de gramíneas.



Figura 4: Talude com recobrimento de LETA apresentando o crescimento de gramíneas.

Com relação ao desempenho geotécnico do LETA, observou-se *in situ*, que não houve fissuras ou trincas nos locais onde o material foi utilizado como material de recobrimento. Ressalta-se que o empreendimento realiza a raspagem do solo à medida que há o avanço do maciço de lixo, ou seja, o LETA não é aterrado.

CONCLUSÕES

O lodo da estação de tratamento de água da ETA de ciclo completo analisado pode ser classificado como resíduo de classe II A - não perigoso e não inerte e possui teor de sólidos maior que 50%, com comportamento similar ao solo, validando a sua utilização como material para cobertura de aterros sanitários (PERS, 2017).

Do ponto de vista técnico-operacional, é possível afirmar que o material não apresentou problemas na etapa de transporte. Outrossim, foi possível notar seu bom desempenho nos quesitos trabalhabilidade e desempenho geotécnico, bem como sua resistência ao escoamento superficial e a ausência de erodibilidade durante os períodos de pluviosidade.

Notou-se que seu uso sobre o platô, onde há movimentação de veículos, não é recomendado, vez que, durante períodos de elevada pluviosidade esse material provoca dificuldade no tráfego dos caminhões.

Recomenda-se ainda a realização de novos estudos que contemplem a análise completa de massa bruta, solubilizado e lixiviado do solo local, em conformidade com a NBR 10.004 (ABNT, 2004), para efeito de comparação e similaridade de resultados, como também a realização de análises de água de arraste da chuva para verificação do carreamento de impurezas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, C. F. et al. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5. Belo Horizonte, MG, 2014.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.
3. BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 02 jan.2023.
4. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255>. Acesso em: 05 abr 2023.
5. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 02 jan. 2023.
6. GONÇALVES, F.; SOUZA, C.H.U.; TAHIRA, F.S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R.S. Incremento de lodo de eta em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. Revista DAE. Fevereiro, 2016.
7. HUSSEIN AM, MAHMOUD RK, SILLANPÄÄ M, ABDEL WAHED MSM. Impacts alum DWTPs sludge discharge and changes in flow regime of the Nile River on the quality of surface water and cultivated soils in Fayoum watershed, Egypt. Sci Total Environ, 2021
8. Lei Federal nº 12.305/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
9. LIBÂNIO, M. Fundamentos da qualidade e tratamento de água. Campinas, São Paulo: Editora Átomo. 2010. 3ª ed. 494 p.
10. OLIVEIRA, I. Y. Q. Diagnóstico da gestão de lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul. 71 p. Campo Grande: UFMS, 2016.
11. PERS-GO. Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás, 2017. Disponível em: https://www.meioambiente.go.gov.br/arquivos/pers_versao_final_forum_de_residuos_solidos.pdf. Acesso em 02 jan. 2022
12. PEREIRA, A. V. R. P. Desenvolvimento de um indicador para avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Eng. Ambiental) - UFSC, Florianópolis, SC, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102025/238671.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 02 jan. 2022.

13. PRIM, E. C. C. Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto sanitário como material de cobertura de aterro sanitário. Tese (Doutorado em Eng. Ambiental) - UFSC, Florianópolis, SC, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103375/317425.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 jan. 2022
14. QASIM, S.R.; CHIANG, W. Sanitary Landfill Leachate: generation, control and treatment. Technomic Publishing Co., Inc, 1994.
15. RICHTER CA. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. São Paulo (SP): Editora Edgard Blücher LTDA.; 2001.
16. ROCCA, A. C. C. Resíduos Sólidos Industriais. 2. ed.rev. ampliada. São Paulo: CETESB, 1993.
17. SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Latossolos vermelhos. Embrapa Solos. 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chavedo-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>. Acesso em 10 jan. 2023.
18. SOARES, A. F. S.; CUNHA, A. B. L. ; MACHADO, A. O. V. ; LAGES, F. A. E. . Caracterização físico-química do lodo gerado nas ETAs e impactos ambientais associados ao lançamento em corpo d'água. In: Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente, 8., / Simpósio de Engenharia Ambiental do Espírito Santo, 4., Vitória/ES. As cidades brasileiras e seus problemas ambientais: oportunidades e desafios, 2009b.
19. SOUZA, A. G. et al. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. ABES, 1999.
20. VIEIRA, B. H. R. V.; PIMENTA, S. M. Estudo para aplicação do lodo de ETA como material de cobertura na operação do aterro sanitário de Goiânia (GO). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). IFG, 2021.
21. WASSERMAN JC, SILVA LO, DE PONTES GC, LIMA EP. Mercury contamination in the sludge of drinking water treatment plants dumping into a reservoir in Rio de Janeiro, Brazil. Env Sci Pollut Res, 2018