

## II-092 - NOVA TECNOLOGIA COM FUNÇÃO MISTA PARA SECAGEM E COMPOSTAGEM DE LODO DE TRATAMENTO DE ESGOTO E ATENDIMENTO AOS PARÂMETROS LEGAIS DE DISPOSIÇÃO AGRÍCOLA

**Ana Lúcia Silva<sup>(1)</sup>**

Gerente da Divisão de Controle Sanitário do Médio Tietê - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Engenheira química, mestre em Recursos Hídricos e Doutora em Saúde Pública.

**Cesar de Lima Lourenço**

Bacharel em agronomia pela Faculdade integrada de Bauru - FIB

**Roberto Lyra Villas Boas**

Professor Titular da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

**Maurício Tápia**

Superintendente da Unidade de Negócio do Médio Tietê - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Engenheiro sanitário.

**Caroline de Moura DAndréa Mateus**

Pós doutoranda em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Adolfo Pardini, 555, Jd. Paraíso, Botucatu – São Paulo – SP - CEP: 18610-250 - Brasil - Tel: +55 (14) 3811-8295 - e-mail: [anasilva@sabesp.com.br](mailto:anasilva@sabesp.com.br)

### RESUMO

Tradicionalmente, a compostagem de lodos de esgoto realiza-se em condições determinadas empiricamente e em processo devidamente controlado e com acréscimo de material estruturante. O presente trabalho apresenta uma quebra de paradigma para a relação C/N requerida na compostagem tradicional em lodos de esgoto, a partir de vários experimentos e melhorias incrementais em processo que utiliza basicamente o lodo de esgoto, e manipula outras variáveis de processo. A partir de estudos realizados ao longo de mais de 12 meses por equipes da SABESP e da UNESP, foi possível estabelecer um protocolo de operação que atingiu níveis de higienização similares ao da compostagem tradicional. Os resultados apresentados resultaram em um produto com características de fertilizante à base de lodo de esgoto devidamente estabilizado, com eliminação de patógenos dentro de um pleno atendimento às exigências do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e da Resolução CONAMA 375/06. Neste artigo são apresentados os testes realizados, detalhes dos procedimentos e os laudos das amostras analisadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostagem de lodo, lodo de esgoto, uso agrícola do lodo.

### INTRODUÇÃO

A compostagem é praticada desde a História antiga (desde a Grécia antiga). Porém, até recentemente, de forma empírica (PROSAB, 2001). Atualmente a compostagem ganhou grande importância, pois extrapolou a fronteira agrícola e surge como alternativa no gerenciamento dos resíduos das cidades. Essa tecnologia ganhou força com as dificuldades para se encontrar novas áreas para implantação de aterros sanitários considerados cada vez mais escassos e caros. Como consequência isto eleva os custos para disposição dos resíduos urbanos em locais próprios e afastados do setor urbano (RODRIGUES et al., 2006).

De acordo com PROSAB (2001) a compostagem é um método controlado de decomposição biológica dos componentes orgânicos do lodo em determinadas condições e cujo produto final pode ser manipulado, estocado e/ou aplicado ao solo sem afetar de forma adversa o meio ambiente. A compostagem é, por definição, uma conversão biológica da matéria orgânica putrescível para uma forma mais estabilizada, com a concomitante destruição de patógenos a partir do calor gerado durante o processo biológico. Porém, esse processo não implica necessariamente na esterilização do produto final, mas numa seleção dos microrganismos presentes ao final de um determinado período. Também ocorre durante esse processo a diminuição da massa de água e de sólidos voláteis. No processo de compostagem tradicional, adiciona-se um material nomeado “agente estruturante” ou “material estruturante”. Ele tem como função dupla a estruturação do lodo a partir de sua

mistura e também a adição de carbono para ajustar um balanço de energia e a relação carbono/nitrogênio (C/N) Krogmann (2001, apud MIKI e CHIZZOLINI, 2008). Já Pereira Neto (1987, apud Oliveira et al (2008) define que a compostagem é um processo aeróbio controlado, a partir da ocorrência de uma população diversificada de microrganismos, em duas fases que são (a) a de reações bioquímicas mais intensas e predominantemente termofílicas; e (b) a de maturação, com estabilização do material. Ocorre também o processo anaeróbio, que é mais comum em situações aonde a aeração é deficiente, e tem características de controle distintas, as quais exporemos mais a frente, com mais detalhes. Oliveira et al (2008) destacam que a aeração é prejudicada em pilhas muito úmidas. Na compostagem tradicional considera-se que a aeração ocorre nos períodos de revolvimento das pilhas, a qual usualmente no caso do Brasil é realizada com tratores adaptados ou uso de retroscavadeiras. Outro mecanismo com maior eficiência é a insuflação ou aspiração do ar contido nos vazios da massa. Outro fator importante é a periodicidade de revolvimento. Miki e Chizzolini (2008) menciona pelo menos 5 revolvimentos em um período de até 28 dias, seguindo orientação de Metcalf and Eddy (2003, apud MIKI e CHIZZOLINI, 2008). Já Oliveira et al (2008) recomenda 3 revolvimentos, sendo uma a cada duas ou três semanas.

A medida que a matéria orgânica dessa mistura de lodo mais o material estruturante é decomposto, registram-se temperaturas na faixa de pausterização, entre 50 e 70 °C. São essas temperaturas que irão destruir os organismos patogênicos eventualmente presentes no lodo de esgoto. A inter-relação entre as populações microbiológicas que fazem parte desse processo não são totalmente compreendidas, estando presentes conforme a literatura, bactérias, actinomicetos e fungos. Não obstante isso se atribui às bactérias as responsabilidades de maior decomposição das proteínas, lipídios e gorduras, por conta das temperaturas termofílicas, assim como a maior parte do calor gerado. Já os fungos e actinomicetos estariam relacionados com a fase mesofílica (abaixo de 40 °C), ficando estes com a decomposição de compostos orgânicos complexos e a celulose na forma de agente estruturante. Além das fases mesofílica e termofílica ocorrem ainda a de maturação do produto final, que resultará em um material estabilizado (MIKI e CHIZZOLINI, 2008).

PROSAB (2001) resume quais são os fatores mais importantes para a compostagem: aeração, presença de nutrientes e umidade. O carbono seria a principal fonte de energia, e o nitrogênio requerido para a síntese celular. Porém, outras substâncias presentes exclusivamente no lodo, e não necessariamente no material estruturante, são essenciais, tais como o fósforo, o enxofre, e micro nutrientes como Cu, Ni, Mo, Fe, Mg, Zn e Na, utilizados nas reações enzimáticas. Porém os detalhes deste processo são pouco conhecidos.

Embora não sejam rígidos os limites de temperatura podem indicar os tipos de microrganismos em ação no processo de compostagem. A Tabela 1 a seguir apresenta essas informações.

**Tabela 1 – Temperaturas mínimas, ótimas e máximas para as bactérias, em °C**

Bactérias	Temperatura mínima	Temperatura ótima	Temperatura máxima
Mesófilas	15 a 25	25 a 40	43
Termófilas	25 a 45	50 a 55	85

Fonte: Institute for solid wastes of American Public Works Association, 1970 apud PROSAB (2001)

O processo é caracterizado pelo forte crescimento dos microrganismos mesófilos nos primeiros dias, com gradativa elevação da temperatura. A seguir, os termófilos se proliferam com maior intensidade, aumentando a temperatura, e destruindo os microrganismos patogênicos. Esse processo ocorre até o consumo máximo da matéria orgânica, e então a temperatura diminui, mantendo-se a população mesófila. Os odores são quase inexistentes nessa fase. Ocorre durante toda essa fase, alto consumo de oxigênio. A maturação se dá na fase seguinte, com temperatura ambiente e polimerização de moléculas orgânicas estáveis, no processo chamado de humificação (PROSAB, 2001).

Essa breve introdução buscou identificar as principais características do processo de compostagem, assim como as variáveis que interferem diretamente nas reações bioquímicas. A identificação das variáveis permite então adentrar no tema deste projeto. A identificação dos pontos críticos de um processo torna possível a manipulação através de instrumentalização, para fins de otimização. A manipulação de processos químicos, físicos e biológicos pelo homem através de sua instrumentalização permite obter resultados mais rápidos e mais eficientes. Trata-se, portanto, de um desenvolvimento operacional, aonde inovações são propostas e testadas para que processos ocorram de forma diferente, com maior economia e maior eficiência. A proposta de aperfeiçoamento do processo de compostagem tem como objetivo principal encontrar alternativas mais

eficientes de obtenção de um produto utilizável no solo e na agricultura, que hoje representa um grave problema para o meio ambiente. Segundo Nuvolari e Costa (2010), a disposição final dos resíduos oriundos dos sistemas de tratamento de água e esgoto constitui uma problemática de abrangência mundial. As estações de tratamento de águas residuárias geram um resíduo sólido denominado genericamente de lodo de esgoto (SANEPAR, 1997).

Enfim, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma inovação tecnológica realizada em equipamento desenvolvido inicialmente para a secagem de lodo gerado em estação de tratamento de esgotos (ETE). Após melhorias operacionais e a elaboração de um protocolo operacional específico o equipamento tornou-se apto para a função de redução de agentes patogênicos e atratividade de vetores por compostagem natural apenas com lodo de ETE, sem adição de material estruturante orgânico (cascas de árvore, por ex.). São apresentados os incrementos tecnológicos realizados em conjunto com especialistas da UNESP e os resultados de qualidade para avaliação de atendimento as exigências de registro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e a Resolução CONAMA 375/06 para os microrganismos patogênicos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Estufa de secagem e compostagem**

O presente trabalho apresenta o comportamento da umidade e temperatura ao longo do processo realizado com equipamento instalado na estação de tratamento de esgotos (ETE) de Lageado, localizada no Campus da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) – fazenda experimental, no município de Botucatu, SP. O equipamento denominado Secador de Dejetos Orgânicos e Lodo de ETEs, modelo K2026 tem a seguinte especificação técnica:

- Túnel (Estufa) de Compostagem/Secagem em formato retangular, delimitado no sentido longitudinal, em ambas as laterais, por muretas em concreto e blocos estruturais;
- Estrutura de cobertura do Túnel de Compostagem/Secagem, com plástico transparente, resistente a raios UV, inclusive nas laterais do túnel;
- Equipamento misturador e fragmentador montado em estrutura metálica, composto de um eixo (tambor) rotativo metálico sobre o qual são fixados pás ou pentes com controle de velocidade de rotação, e, deslocamento horizontal ao longo do túnel apoiado nas muretas laterais, com controle de velocidade;
- Sistemas de exaustão e ventilação para controle do processo de compostagem/secagem (circulação do ar ou gases quentes no interior do túnel de compostagem/secagem);
- No final de curso do túnel caixa rebaixada em concreto / alvenaria, interna à área coberta, para recepção e armazenamento de, no mínimo, 20 m<sup>3</sup> de lodo processado, com instalação roscas transportadoras para condução do lodo até caçambas de caminhões estacionados do lado externo do Túnel de compostagem/secagem;
- Sistema de roscas transportadoras para condução do lodo processado da caixa de recepção e armazenamento até caçambas de caminhões, com capacidade para transportar no mínimo 15 m<sup>3</sup>/hora de lodo;
- Sistemas de monitoramento e de controle para operação automatizada de todo o processo.
- Caixa de reunião de água residual captada durante o processo de compostagem/secagem de lodo, a fim de reenvio para a Estação de Tratamento de Efluente por gravidade.

Dentro da ETE, o lodo é centrifugado até atingir teor de sólidos entre 20% e 25%. A produção diária de lodo está estimada em 15 m<sup>3</sup>/dia. Após o desague o lodo é encaminhado para o sistema de secagem, composto por uma máquina sobre trilhos com pás giratórias revolventes do lodo. O sistema sensor de umidade que aciona automaticamente exaustores para melhor aproveitamento do ar seco. Faz parte também a estufa que permite um aproveitamento térmico do sol, aumentando a temperatura dentro do processo. O equipamento foi desenvolvido originalmente a partir de um uso intenso da área rural para secagem de dejetos de granjas.

A estufa construída dentro da área da ETE Lageado entrou em operação em maio de 2014. Possui estrutura em alvenaria e metal para cercamento e cobertura. Nesta estrutura também é feita a disposição das leiras com 87 m de comprimento cada uma - foram divididas em duas. Ao final do processo o equipamento dispõe de esteira

para retirada do material seco. As leiras são separadas por uma mureta de 0,80 metros de altura, e possuem largura de 6 metros cada. Nas laterais estão dispostos de cada lado 4 exaustores. No centro, na parte interna, há um sensor de umidade que aciona automaticamente os exaustores.

A configuração das pás da máquina revolvente permitia originalmente que o material fosse revolvido e empurrado para trás continuamente, propiciando certa aeração. Ao final do processo o material se distribuía ao longo das leiras de maneira uniforme, com uma altura mínima e regular.

### **Mecanismos do processo físico e bioquímico de compostagem**

Nesse equipamento a ação de secagem ou desumidificação do lodo se dá principalmente de duas formas:

- (a) Através do contato da área superficial com o ar seco dentro da estufa durante o período em que permanece dentro das leiras;
- (b) Pelo aquecimento interno devido às reações bioquímicas propiciadas pela presença dos microrganismos.

Detalharemos aqui o item (a) com foco no processo estabelecido. A estufa foi construída com lona translúcida, que permite a entrada da radiação solar. Além disso, ao contar com sensor de umidade e exaustão, é possível estabelecer uma situação forçada aonde a umidade interna seja mínima. Essa manipulação do interior da estufa quanto ao teor de umidade do ar visa aumentar a eficiência do processo de secagem que ocorre pela diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície da massa de lodo e o ar dentro da estufa. A condição para que esse fenômeno ocorra é que a pressão de vapor sobre a superfície do lodo ( $p_g$ ) seja maior do que a pressão de vapor no ar de secagem ( $p_a$ ). Quando  $p_g$  e  $p_a$  são iguais, ocorre o equilíbrio higroscópico e é o ponto aonde, no processo de compostagem, esse material deve ser revolvido para que a massa de fundo passe para a superfície, voltando novamente a uma situação aonde  $p_g > p_a$  e a desumidificação por diferença de pressão volte a ocorrer, uma vez que as camadas de lodo de fundo encontram-se ainda úmidas (OLIVEIRA et al, 2008).

Um fator físico que também influencia na eficiência de secagem é o tamanho do grão – quanto menor o grão, maior a velocidade de secagem, devido à relação área superficial x dimensão do grão (OLIVEIRA et al, 2008). O lodo, ao ser centrifugado, tende a apresentar-se pelotizado. Esses pelotes são ricos em água – cerca de 72% a 75% de água. A observação do processo nos permite identificar três estágios principais do processo de secagem do lodo, conforme a Figura 1 a seguir. Até os primeiros 50 metros, observa-se ainda muita umidade – entre 55% e 65%. Até esse trecho, o principal processo biológico ainda está associado aos microrganismos mesófilos, com temperaturas de no máximo 40°C. É possível visualizar as bolotas ou pelotes formados, conforme os dados de monitoramento das Figuras 4 a 6, em 'Resultados obtidos'.

Outra variável identificada e capaz de ser utilizada para aumentar a eficiência de desumidificação, ou de secagem, é o tempo de residência desse material dentro da estufa. Porém, quanto maior o tempo dentro da estufa de secagem, maiores as dimensões da planta de tratamento, assim como os custos. No equipamento em questão, é possível aumentar o tempo de residência a partir do aumento do comprimento; ou diminuindo o número de passadas/revolvimento. A cada revolvimento realizado pelo equipamento, cuja indicação inicial seria de uma a duas vezes ao dia, o material pode ser jogado a uma distância de até 1,20 metros dentro das leiras. Isso significa que em uma leira como a da ETE Lageado, com 87 m, o tempo de residência pode variar de 72 a 36 dias (uma ou duas passadas por dia, respectivamente). Finalmente, uma última variável física identificada nesse processo e que pode ser manipulada é a velocidade de revolvimento.

As ações voltadas para otimizar esse processo foram sendo detectadas de forma empírica ao longo dos trabalhos. Para tanto, foram sendo realizados testes e medições da temperatura e do teor de sólidos (TS) ao longo das leiras. Os melhores resultados foram combinados, sendo eles:

1. A velocidade de revolvimento → chegou-se aos melhores resultados com a menor velocidade possível;
2. Frequência de revolvimento → os melhores resultados foram obtidos com um revolvimento a cada 2 dias. Ao final do processo o lodo atingiu 99% de TS. Embora o tempo de residência tenha sido maior, é importante mencionar que o espaço ocupado diminuiu substancialmente, com ganho de 24% da área total final nas leiras;

3. Ampliação da área superficial de contato com o ar externo → a área superficial dos grãos não é possível de ser alterada por esse equipamento. Porém, é possível aumentar a área superficial total da massa em contato com o ar. A alternativa foi aumentar a formação de pilhas, com maior altura possível, formando pequenas montanhas no meio das leiras de secagem.



**Figura 1 – condições físicas do lodo, ao longo da leira, entre aproximadamente 50 e 75 m.**

O material estruturante que é agregado ao lodo tem como principal função a de impedir o espalhamento do material. Porém, o trabalho empírico realizado demonstrou que conforme o lodo ia atingindo um certo TS, e quanto maior esse TS, os grânulos eram capazes de sustentar as pilhas. Na Figura 1 também é possível identificar que o lodo está bem empilhado, em forma de montes. Conforme ocorre a secagem, a pilha é possível de ser formada. Porém, o equipamento foi entregue com pás que apenas empurravam e revolviam o lodo para os cantos, formando um colchão com altura única. Para aumentar a capacidade de formação das pilhas, as pás foram modificadas. Estas, que antes eram quase retas, passaram a ter uma inclinação para dentro, em um ângulo que propicia o acúmulo da massa ao centro (Figura 2).



**Figura 2 – Equipamento de mistura e pás modificadas.**

Associado ao processo (a) temos a desumidificação pelas reações bioquímicas (b) propiciadas pela microbiota naturalmente presente no lodo de esgoto. Para essa variável de processo não foram introduzidas ações diretas. Porém, as ações 1 e 2, ao que tudo indica, permitiram maior desenvolvimento microbiano pois as altas temperaturas passaram a ser registradas a partir dessas alterações. Temperaturas acima de 50 °C que só podem ser associadas à ação das bactérias termofílicas.

### **Métodos de amostragem do lodo de esgoto**

Neste trabalho a equipe da UNESP desenvolveu e utilizou quatro tipos de amostradores para as análises de temperatura e umidade, sendo um o trado calador ou tubo vazado, mais eficiente para amostragem do lodo com elevada a moderada umidade; e o outro o trado tipo caneca, para o lodo com baixa umidade; o trado tipo cavadeira, para lodos com alta umidade; e o trado holandês para lodos com média a alta umidade. As amostragens e medições foram realizadas em vários pontos ao longo do processo de estudo, mas neste trabalho serão apresentados principalmente três pontos, entre 50 e 80 metros da leira, pois são onde estão os principais resultados que interessam ao trabalho.

Para a Resolução CONAMA 375/06 não existe definição clara do tipo de equipamento para amostragem do lodo de esgoto. A SABESP providenciou um amostrador em aço inox conforme exigência da normativa 53/20136 do MAPA para as amostras encaminhadas para o IAC. As amostras foram coletadas, quarteadas, acondicionadas em recipiente inerte, refrigeradas e enviadas para o laboratório imediatamente e num prazo máximo de 24 horas.

### **Análises de controle de processo e de qualidade**

Consideramos análises de controle do processo as análises de parâmetros cujo atendimento aos requisitos técnicos irão assegurar a obtenção de eficiência do processo. No caso da compostagem, são a temperatura e a umidade nas pilhas de lodo. Através da medição dessas variáveis é possível avaliar indiretamente o resultado das alterações de processo realizadas. A análise de temperatura foi realizada com um medidor de temperatura do tipo espeto com haste de penetração de aço inox com 115 cm de comprimento da marca Akso mod. AK com certificado de calibração pela Rede Brasileira de Calibração (RBC). A umidade foi mensurada em balança de medição infravermelha da marca Marte, devidamente calibrada pelo fabricante. A frequência de

amostragem é relativa, sendo de várias vezes ao dia a até diária, e dependia das alterações nas variáveis mencionadas, as quais eram analisadas confrontando resultados de temperatura, TS, etc. As análises ocorriam ao longo do espaço e do tempo, com vistas a identificar e compreender os fenômenos físico-químicos e bioquímicos ocorridos nesse processo. A partir daí, essas variáveis foram manipuladas e combinadas entre si, até que os melhores resultados fossem sendo obtidos.

Também foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e pelo laboratório da UNESP no laboratório de solos do Campus de Botucatu, para avaliar o atendimento às prerrogativas de higienização em processos aonde ocorre a compostagem. Essas campanhas ocorreram várias vezes ao longo de 2015 e a SABESP tem mantido controles periódicos, ao longo de 2016 e em 2017.

## **RESULTADOS OBTIDOS**

Os trabalhos realizados ocorreram principalmente entre setembro/14 e julho/15. O que se registrou com as alterações ao longo dos trabalhos foram:

- ✓ A partir dos registros de variação da velocidade x TS, constatou-se que a menor velocidade de revolvimento estimulava a obtenção de maiores resultados para o TS.
- ✓ Foram alteradas as pás de revolvimento para que durante as passadas de revolvimento se formassem montes, cuja altura atingiu até 80 cm.
- ✓ A periodicidade de revolvimento também influenciou no tempo de residência do lodo dentro da estufa. Com o aumento da eficiência de secagem, mesmo estando mais tempo dentro da estufa, houve um ganho de área total.

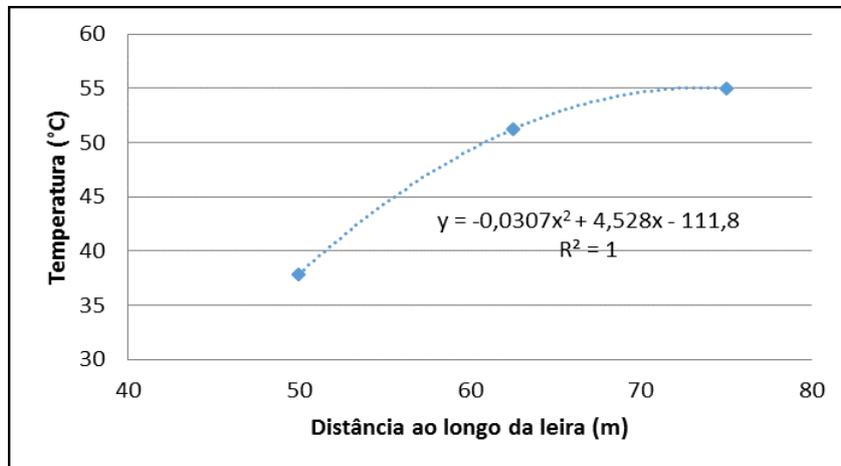
As medições apresentadas neste trabalho são o resultado das alterações realizadas ao longo de 2014 e 2015 para o item 'a' descrito acima, de velocidade, frequência de revolvimento, alteração das pás, etc. Após um período de ajustes e estabilização dos resultados foi realizado um monitoramento contínuo por um período de 60 dias, pela equipe da UNESP. O período anterior também foi acompanhado pela equipe do Prof. Roberto Lyra Villas Boas, e o estagiário César Lima, os quais foram orientando junto com a equipe da SABESP as melhorias e aprimoramentos a serem realizados.

Ocorre então uma diminuição de umidade com concomitante decréscimo de massa ao longo dos 60 dias, a partir da entrada do lodo no sistema. A princípio, em maio de 2014 e até meados de outubro de 2014 a equipe foi alterando a frequência de revolvimento, saindo de até 3 vezes por dia para no máximo um revolvimento a cada 2 dias. Constatou-se que a perda de umidade estava ligada ao número de revolvimentos da massa de lodo, sendo observado um secamento do lodo que permanece na superfície da pilha. Deve-se considerar, no entanto, que ocorre também a perda de água do interior da pilha, pois é nesta região onde ocorre maior temperatura e conseqüentemente forma-se vapor de água, observado pela "fumaça" liberada pela pilha, principalmente no período da manhã (maior umidade relativa do ar).

A faixa ótima para o processo de compostagem ocorreu entre as faixa de 50 a 60% de umidade. Esses valores foram alcançados entre os 25 e 40 dias após o lodo ser aplicado na baía. Portanto, na condição ótima de umidade o material permanece por cerca de 15 dias, tempo suficiente para ocorrer a pasteurização do material. Deve-se considerar também, que estas determinações ocorreram entre 8 de maio e 9 de junho de 2015. Por se tratar do período de inverno, é de se esperar que ocorra perda de água até mais rápidas do que foi observado para estas avaliações, principalmente na primavera e no verão.

De modo prático, pode-se determinar pela Figura 3 que a 40 – 50 m de distância do início da baía, o lodo já apresentava uma umidade ótima para ocorrer a atividade microbiana, e que aos 80 m o lodo já apresentava 20% de umidade. Isto mostra a efetividade do sistema de reviramento no sentido de diminuição da umidade do lodo, viabilizando uma diminuição importante de volume da pilha. Pode-se afirmar pelos resultados apresentados que somente pela perda de água, há uma redução de cerca de 60% do volume inicial do material que entra no processo, o que viabilizará o transporte do lodo a distâncias maiores e de forma econômica. Mesmo quando o mesmo não for adequado para o uso agrícola, o sistema promove uma grande economia no uso dos aterros sanitários e praticamente elimina a possibilidade de formação do chorume.

Em determinações realizadas a partir dos 50 m de distância do início das baías é possível observar que a temperatura é máxima próxima aos 75 m, sendo que aos 50 m a T média da pilha era de 37°C. Estes resultados foram determinados em momento distinto do observado nas figuras anteriores, o que dificulta a comparação entre as características de U e T. Pela Figuras 3 nota-se que a T alcançou valores de 55°C, o que é suficiente para permitir a pasteurização da pilha e a eliminação dos organismos patogênicos. Porém, no processo já chegaram a ser registrados picos de até 78 °C em determinados pontos, próximos aos 80 m.



**Figura 3. Temperatura média do lodo nos em função da distância ao longo da leira**

O trabalho constatou, ao medir em 3 dias diferentes, 3 entradas distintas de lodo (a produção é diária, portanto o lodo do dia 1 já estava avançado na leira alguns metros quando o lodo da amostragem 2 foi realizada), sendo cada amostragem com diferença de 14 dias entre si; que ocorre uma variação de temperatura no mesmo ponto, em cada uma das amostragens. Essa constatação deve-se às características do lodo que está sendo produzido na centrífuga, e em ETEs aonde o processo pode variar muito quanto a qualidade do lodo produzido é necessário um controle contínuo e diário de vários pontos diferentes.

Também foi observada variação de temperatura na profundidade das pilhas, aonde a temperatura na camada superficial entre 0 e 10 cm é sempre mais baixa que a temperatura interna da pilha. Este fato foi relacionado com o secamento rápido dessa camada que se encontra mais superficial e consequentemente tem menor atividade microbiana. Por outro lado é também a camada superficial que mais interage com o ambiente da estufa. De modo geral, foi observado maior temperatura dentro da pilha a 30 – 40 cm de profundidade. Estes resultados eram esperados, a medida que já se tem conhecimento que o material orgânico serve como isolante, mantendo a temperatura gerada no interior da pilha. Nesse sentido, o tamanho das partículas de lodo são bastante adequados para manter a temperatura interna, diferente de materiais de maior granulometria que permite que a temperatura rapidamente se dissipe para o ambiente. Quando se considera a parte inferior da pilha (próxima ao piso) nota-se que a temperatura volta a abaixar. Este fato pode ser explicado pela pouca aeração nesta região devido a distância em relação a superfície para troca gasosa, ou principalmente a dificuldade que a haste tem de remover toda a camada. No piso da baía há uma lona plástica exigida pela Cetesb para evitar escorrimento de chorume caso ele ocorra.

A temperatura atingida principalmente aos 70 m do início da baía, demonstra que a eliminação dos organismos patogênicos ocorrerá de acordo com um processo de compostagem, uma vez que dados da literatura mostram que temperatura de 55°C por cerca de 1 ou 2 horas elimina os organismos patogênicos.

Além dos resultados apresentados, verifica-se ainda:

- A não atratividade de vetores;
- Diminuição gradativa e intensa de maus odores, já nos primeiros 30 m da leira;
- Material estabilizado e estruturado, capaz de ser estocado em pilhas acima de 1,20 m;
- Não formação de chorume.

## Laudos de monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica

Foram retiradas amostras de vários pontos de cada lote, e também de um ponto do processo que ainda não havia atingido os 85% de TS, e encontrava-se a cerca de 75 m. Alguns dos laudos são apresentados a seguir, representando várias campanhas (Figura 4).

No. MS570/2015				No. MS 106/2017			
BOLETIM DE ANÁLISE				BOLETIM DE ANÁLISE			
<b>Dados do Interessado:</b> Contato: Ana Lúcia Silva – Fone: 14 3882-0404 e-mail: anasilva@sabesp.com.br Cia Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP CNPJ 43.776.517/0973-29 Rua Dr. José Barbosa de Barros – 17809 - Lageado CEP 18.610-370 São Paulo – SP				<b>Dados do Interessado:</b> Contato: Ana Lúcia Silva e-mail: anasilva@sabesp.com.br – Fone: 14 9 8105-0015 SABESP CNPJ 43.776.517/0805-15 Rua Adolfo Pardini – 555 – Jardim Paraíso Botucatu – SP – CEP 18.610-250			
<b>Dados da amostra:</b> Produto: Adubo oriundo de lodo de estação de tratamento de esgoto Data da Coleta: 16/11/15 às 15h00 Origem da amostra: Botucatu – Sabesp Lageado Amostra(s) recebida(s) em: 17/11/15 Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações. Amostra(s) coletada(s): pela interessada; procedimento não declarado.				<b>Dados da amostra:</b> Produto: Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto Período da coleta: 08/03/17 Origem da amostra: ETE Lageado - Botucatu - SP Amostra(s) recebida(s) em: 09/03/17 Amostra conservada sob refrigeração a 4°C até a realização das determinações. Amostra(s) coletada(s): por Eduardo André Fregona; procedimento não declarado.			
RESULTADOS ANALÍTICOS				RESULTADOS ANALÍTICOS			
Identificação do usuário:		Lodo de ETE		Identificação do usuário:		Lodo de ETE (1)	Data do ensaio
Identificação do laboratório:		606/15		Identificação do laboratório:		134/17	
Parâmetro	Unidade <sup>(1)</sup>			Parâmetro	Unidade <sup>(1)</sup>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0	25/11/15	Coliformes Termotolerantes	NMP/g	0	16/03/17
Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente	25/11/15	Salmonella sp.	NMP/10 g	Ausente	24/03/17
Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0	30/11/15	Ovos viáveis de helmintos	Ovos/g de ST	0,05	03/04/17

**Figura 4– Resultados do laudo do IAC, parâmetros microbiológicos.**

## CONCLUSÕES

A temperatura atingida principalmente aos 70 metros do início da baía em período sazonal de baixas temperaturas permite a completa remoção dos organismos patogênicos e atratividade de vetores, uma vez que as temperaturas ficaram acima dos 55 °C por mais de 2 horas, com picos de até 75 °C – conforme exige a Resolução CONAMA 375/06 em seus anexos. Ou seja, esses resultados demonstram que o processo de secagem atende aos requisitos estabelecidos pela USEPA, conforme 40 CFR Part 503 – Appendix B, Federal Register citado na Resolução RC 375/06 (BRASIL, 2006) de 19 de fevereiro de 1993 para os ditos processos de compostagem. O presente trabalho representa uma mudança de paradigma sobre processos de compostagem. Demonstra que um processo biológico pode ocorrer em outras condições que não apenas as já conhecidas. Porém, pode-se dizer que a surpresa relacionada aos resultados obtidos deve-se a comprovação de que a relação C/N exigida para que se realizem os processos microbiológicos que propiciem a compostagem pode ser menor do que a informada pela literatura, tornando inclusive desnecessária a introdução de material estruturante. A relação mínima seria de 20, enquanto o lodo de esgoto em geral apresenta-se na faixa de 5 a 11 (PROSAB, 1999). O equipamento, que passou por melhorias incrementais, permitiu uma maior eficiência de resultados, voltados inicialmente para a secagem do lodo de ETE, mas que evoluíram, atingindo atendimento pleno das exigências da RC 375/06 e normativas do MAPA.

O equipamento foi inicialmente desenvolvido e testado para secagem pela SABESP desde meados de 2010, quando ocorreu o primeiro contato entre a empresa fabricante e a SABESP. Em 2014, o equipamento foi instalado em Botucatu. O processo para compostagem teve início de estudos em meados de 2014, em uma parceria entre SABESP e a UNESP. É interessante ressaltar que o investimento desse equipamento para a ETE Lageado obteve *payback* de aproximadamente 2 anos, devido a redução do volume para envio para o aterro. A SABESP encontra-se no momento em fase de solicitação de pedido de registro de produto junto ao MAPA.

Trata-se, portanto, de uma nova tecnologia, aprimorada, que pode ser aplicada pelas empresas de saneamento como alternativa para tratamento e gestão do lodo de esgoto gerado nos processos de saneamento básico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 53, de 23 de outubro de 2013. Brasília.
2. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 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, 2006.
3. LOURENÇO, C. L. Avaliação de algumas características do lodo de esgoto em leira estática da ETE de Botucatu. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Faculdades Integradas de Bauru.
4. MARTINS, S. F. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura. Botucatu, 2016. Dissertação de mestrado – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2016.
5. OLIVEIRA, E.C.A., SARTORI, R. H., GARCEZ, T. B. Compostagem. Faculdade de Ciências Agronomicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2008.
6. MIKI, M. K. CHIZZOLINI, J. Compostagem através de leiras revolvidas da ETE Limoeiro/Presidente Prudente como alternativa de tratamento do lodo. Relatório SABESP, 2008.
7. PROSAB. Manual prático para a compostagem de biossólidos. Fonte: Rio de Janeiro, 1999.