

## **II-398 - SECAGEM E HIGIENIZAÇÃO DE LODO SUBMETIDO À DIGESTÃO AERÓBIA E DE LODO NÃO ENCAMINHADO AO DIGESTOR**

**Márcia Regina Pereira Lima(1)**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (1999) e Mestre em Engenharia Ambiental - UFES (2001). Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) (Desde 2003).

**Pedro Alem Sobrinho**

Engenheiro Civil –EESC-USP (1967); Engenheiro Sanitarista –USP (1969); Master of Science in Public Health Engineering pela University of Newcastle upon Tyne - Newcastle upon Tyne – Inglaterra (1975); Doutor em Engenharia – EPUSP (1981); Prof. Titular do Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. Consultor com participação em um grande número de projetos, no Brasil e na América Latina na área de tratamento de águas residuárias.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Vitória, 1721- Jucutuquara – Vitória- ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: +55(27) 3331-2237 - e-mail: marcialima@ifes.edu.br.

### **RESUMO**

Com o monitoramento dos parâmetros umidade, SV/ST, pH, indicadores bacteriológicos, parâmetros de interesse agrônomo e substâncias inorgânicas foi avaliada a possibilidade de utilização de uma estufa agrícola na secagem, estabilização e higienização de lodo submetido à digestão aeróbia e de lodo não encaminhado à digestão. Os lodos são gerados em uma mesma estação que usa o processo de lodos ativados no tratamento do esgoto, em condições específicas. Para avaliação dos parâmetros foram seguidos os padrões estabelecidos pela Resolução 375/2006 do Conama para lodo Classe A, considerando o uso agrícola como a possível forma de disposição final do material. Nas condições testadas, o uso da estufa foi bastante atraente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estufa agrícola, lodo de esgoto, lodo digerido, lodo não digerido.

### **INTRODUÇÃO**

O tratamento da fase líquida (esgotos) é efetuado com o aporte de diferentes tecnologias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). Independentemente da tecnologia utilizada, haverá a geração de lodo de maior ou menor quantidade e com características químicas, físicas e biológicas específicas. No caso do lodo biológico secundário gerado nos processos biológicos aeróbios, este é composto essencialmente de células bacterianas (biomassa) que se desenvolvem no interior do reator, em virtude das condições ambientais favoráveis (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2002). Esse deve ser encaminhado a digestores para que, processos biológicos de digestão anaeróbia e/ou digestão aeróbia, por exemplo, possam promover a estabilização do material (BOROWSKI; SZOPA, 2007).

Além da etapa de digestão, o desaguamento e a higienização são etapas essenciais para a melhoria das características do material, imprescindíveis quando da definição de certas formas de destinação final para o lodo. Cabe destacar que o gerenciamento do lodo de ETE deve ser criteriosamente estudado para que no estabelecimento das etapas do tratamento sejam avaliados aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Os resultados apresentados neste trabalho são oriundos de uma pesquisa que buscou avaliar o comportamento da secagem e higienização em estufa agrícola, do lodo de excesso gerado em ETE que tratam esgoto doméstico por processo biológico de lodos ativados. Em razão das características das ETE foi estudado o comportamento do lodo submetido à digestão aeróbia, gerado rotineiramente nas estações, e do lodo não encaminhado ao digestor, para avaliar a possibilidade de excluir a digestão aeróbia no tratamento da fase sólida, minimizando gastos com operação e manutenção do sistema. A principal intenção deste estudo era apresentar uma técnica simplificada que pudesse promover a estabilização, higienização e redução do volume do lodo não encaminhado ao digestor, a partir da sua secagem, com custos reduzidos, utilizando-se das condições ambientais da região. Para tanto, foi utilizada uma estufa agrícola com características específicas.

Pensando na possibilidade de se utilizar o material como insumo agrícola, o estudo baseou-se nos padrões e indicações apresentadas na Resolução 375/2006 do Conama, para lodo Classe A (BRASIL, 2006).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo estudado é gerado em ETE que utilizam o processo de Lodos Ativados e estão localizadas em municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (ES), a saber: Vila Velha (ETE Araçás), Vitória (ETE Mulembá), Cariacica (ETE Bandeirantes), Guarapari (ETE Aeroporto).

As ETE são dotadas de gradeamento, medidor de vazão, caixa de areia, tratamento biológico e desinfecção (tratamento da fase líquida); e digestão, adensamento e desaguamento (tratamento da fase sólida). Todas as estações tratam esgotos domésticos com características médias e são fisicamente idênticas, diferenciando apenas no que diz respeito às dimensões dos reatores e aos aspectos relacionados à topografia do terreno onde se encontram instaladas.

A torta proveniente da centrífuga, usada no desaguamento do lodo, é armazenada em caçamba e encaminhada a um aterro sanitário particular localizado no município de Cariacica (ES). O clarificado<sup>1</sup> é retornado ao início do tratamento da fase líquida da ETE.

Acreditando ser o uso agrícola uma das possíveis formas de disposição final do biossólido, o processo a ser estudado visa promover a redução do volume, a destruição dos microrganismos patogênicos, o controle de vetores e a redução dos odores. Os padrões pretendidos, então, são os exigidos para lodo “Classe A” segundo a Resolução 375/2006 do CONAMA (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.

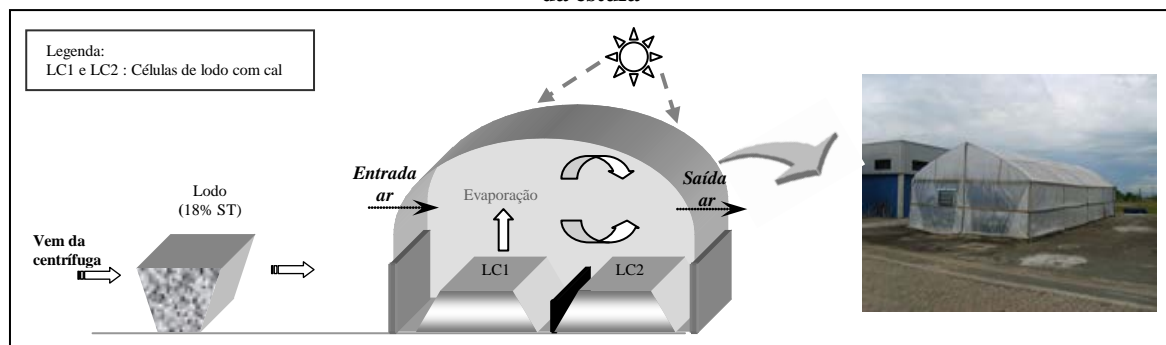
**Desenvolvimento da pesquisa/condições metodológicas:** para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o lodo gerado na ETE Araçás (Vila Velha-ES), em razão da ETE apresentar melhores condições para a obtenção do lodo não encaminhado ao digestor. O lodo digerido aerobiamente passou por todas as etapas de tratamento da fase sólida e é gerado rotineiramente na ETE, e o lodo não encaminhado ao digestor foi retirado do tanque de aeração/decantação (tratamento da fase líquida), levado diretamente para o adensador por gravidade e em seguida para o desaguamento em centrífuga, após o condicionamento com polímero. A torta de lodo desaguada foi levada para uma betoneira onde foi adicionada a cal e promovida mistura por um tempo aproximado de 5 min até obter um material completamente homogêneo. Logo após a mistura o material foi encaminhado para uma estufa agrícola que promoveu a secagem e higienização do material (Figura 1). A adição de material alcalino foi realizada para avaliar a condição de higienização do lodo e, por outro lado, a elevação do pH agrega valor ao produto, para seu uso agrícola, em razão dos solos brasileiros apresentarem, na maioria, acidez elevada. Vale destacar que a adição da cal foi monitorada para atender às exigências estabelecidas na Resolução nº 375/2006 (BRASIL, 2006), sendo que o pH deve ser mantido acima de 12 nas primeiras 2 horas e acima de 11,5 por mais 22 horas.

Em relação às condições metodológicas utilizadas, inicialmente, para acelerar o processo de secagem, nos primeiros 14 dias as tortas de lodo foram espalhadas com altura de 10cm, revolvidas três vezes por semana e, após o 14º dia, foram formadas leiras com 50cm de altura, revolvidas uma vez por semana (Figura 2). Nos dois casos, Lodo A (lodo digerido + cal) e Lodo B (lodo não encaminhado ao digestor + cal), o experimento foi realizado em duplicatas (LC1 e LC2), como mostram as Figuras 1 e 2. Os testes foram interrompidos quando o teor de sólidos atingiu valor acima de 90%, garantindo assim, a eliminação da maioria dos patógenos (COMPARINI, 2001; DUMONTET et al., 2001; BONNET, LARA E DOMASZAK, 2000) e a redução acentuada do volume.

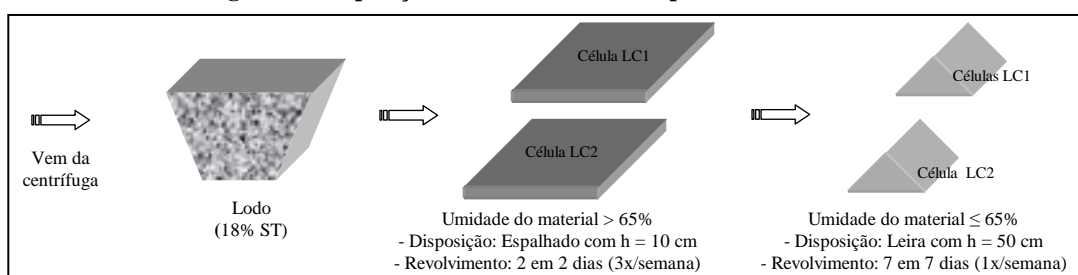
A estufa agrícola utilizada na pesquisa possuía largura de 6,0 m, comprimento de 15,0 m e altura das paredes laterais de 2,0 m. Para a cobertura e o revestimento lateral foi utilizada lona plástica translúcida, de 150 micras de espessura. O piso era de material impermeável (pavimentação asfáltica) e foi construída uma pequena mureta no entorno da estufa para bloquear a entrada de águas do escoamento superficial. Para melhor controle da umidade dentro da estufa durante, principalmente, nos primeiros dias do experimento, foram feitas aberturas nas laterais da estufa que eram mantidas abertas durante o dia e fechadas à noite (Figura 1). A definição e idealização da estufa tomou como referencia parte dos estudos realizados por Comparini (2001).

<sup>1</sup> Água retirada na etapa de desaguamento do lodo.

**Figura 1 - Disposição das células de lodo dentro da estufa para o desenvolvimento da pesquisa e vista externa da estufa**



**Figura 2 - Disposição do lodo nas células e período de revolvimento**



**Quantidade de cal utilizada no experimento:** a quantidade de cal utilizada no experimento foi definida a partir de testes iniciais para verificar qual a porcentagem de cal, em peso seco, seria suficiente para elevar o pH a valores próximos a 12 por um período mínimo de duas horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas (BRASIL, 2006). Para tanto, foram adicionadas quantidades de cal relativas às dosagens de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% (lodo digerido); e 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% (lodo não encaminhado ao digestor) para uma mesma quantidade de lodo (21,00 kg). A faixa de dosagens testadas para o lodo não encaminhado ao digestor foi aumentada por tratar-se de um lodo totalmente desconhecido. A dosagem de 15% foi a que atendeu aos preceitos adotados para os dois tipos de lodo. No caso específico deste experimento foi utilizada cal hidratada com 90% de Hidróxido de Sódio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

**Períodos de testes:** 29/01 a 09/04/2007 (lodo digerido aerobiamente) e 12/12/2007 a 20/02/2008 (lodo não encaminhado ao digestor).

**Parâmetros monitorados:** umidade, sólidos voláteis (SV/ST) e pH, monitorados de 7 em 7 dias; *Salmonella* sp., coliforme termotolerante (CTt) e ovos viáveis de helmintos (OVH), monitorados de 15 em 15 dias; parâmetros de interesse agrônomo e metais pesados, monitorados no início e no final do experimento. Foram monitoradas, também, as temperaturas dentro e fora da estufa. Para a determinação dos parâmetros foram realizadas análises, em triplicatas, seguindo os critérios e técnicas já comprovadas para o monitoramento das características do lodo de esgotos, recomendadas pela Resolução 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento da pesquisa, se observou as características do material para avaliar as condições para o seu manuseio. As características físicas apresentadas pelo lodo digerido foram satisfatórias possibilitando facilidade no seu manuseio, não apresentando problemas que dificultassem a montagem e o preparo das células de lodo dentro da estufa. Também, não ocorreu inconveniente decorrente de odores ofensivos, causados pela putrefação de organismos presentes no lodo, mostrando que se tratava de material com elevado nível de estabilização. Já o lodo não submetido à digestão, pressupôs-se, inicialmente, que exalaria cheiro desagradável pelo excesso de material ainda instável e que isso dificultaria a montagem das células de lodo, principalmente, em razão de o trabalho ser executado manualmente. No entanto, a sua manipulação foi realizada de forma tranquila e o odor emanado foi suportável, sem prejuízo para um adequado manuseio e operacionalidade da pesquisa.

### Variação da temperatura dentro e fora da estufa

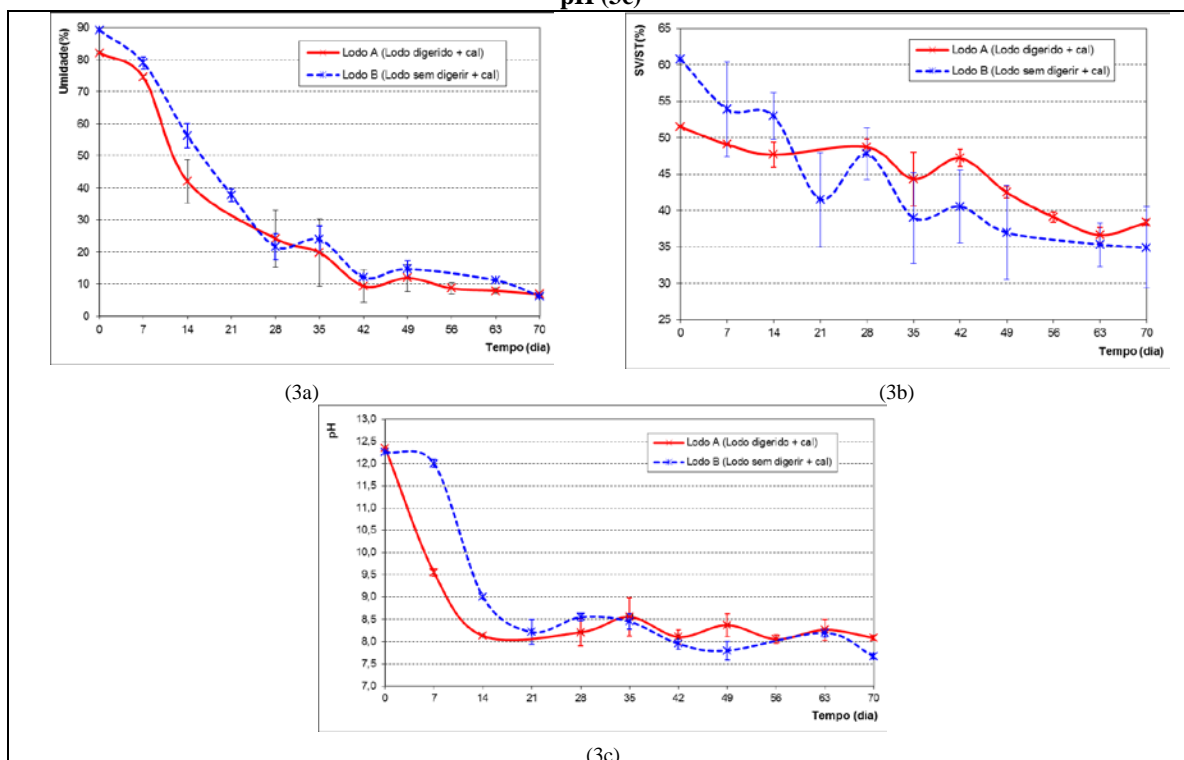
Durante um período de 24h a estufa possibilitou manter temperaturas médias internas elevadas durante um extenso período do dia. Percebeu-se que a partir das 10 horas da manhã, as temperaturas dentro da estufa sempre estavam acima de 34°C, mantendo-se elevadas até, aproximadamente, 18 horas. Dessa forma, a estufa possibilita a manutenção de temperaturas internas elevadas mesmo em horários quando a externa já apresenta valores bem mais inferiores. Condições semelhantes de variação de temperatura dentro da estufa foram também observadas por Comparini (2001) em pesquisa realizada na cidade de Franca (SP – Brasil)

Considerando as temperaturas máximas horárias, a estufa possibilitou temperaturas internas com valores acima de 50°C (externa acima de 34°C), e os mínimos horários sempre superiores a 20°C (externa acima de 14,2°C).

### Umidade, SV/ST, pH

O uso da cal não alterou a umidade do lodo bruto – antes da adição da cal (lodo digerido = 84,3% e lodo não encaminhado ao digestor = 89,12%) e nem dificultou a sua perda. Em Lima (2012) foi apresentado o comportamento para os mesmos tipos de lodo sem a adição de cal e a variação da umidade foi bastante semelhante às condições encontradas nesta pesquisa. A tendência das curvas apresentaram, também, três fases distintas na remoção da umidade, quando comparadas com o lodo sem cal. Tanto para o Lodo A (lodo digerido + cal) quanto para o B (lodo não encaminhado ao digestor + cal), num primeiro momento (até aproximadamente 70% de umidade), a perda da umidade foi dificultada, provavelmente em razão da quantidade elevada de água livre contida no fundo da camada de lodo da célula, impossibilitada de evaporar, pela própria massa do material; num segundo a redução da umidade é bastante acentuada, sendo que após atingir 70% chegou a valores próximos a 20% em apenas 28 dias, possivelmente, pela maior porosidade do material possibilitando uma melhor circulação do ar nas células de lodo; e num terceiro, novamente, há uma dificuldade na perda de umidade, podendo ser atribuído o fato de a água residual estar aderida às partículas sólidas do lodo (Figura 3a). Comportamentos semelhantes foram apresentados por Comparini (2001) e Bennamoun (2012).

**Figura 3 – Comportamento do Lodo A e do Lodo B ao longo do experimento – Umidade (3a), SV/ST (3b) e pH (3c)**



Nota: Valores médios entre LC1 e LC2.

Os valores de SV/ST do lodo bruto (antes de se adicionar a cal) indicam que o lodo digerido (SV/ST = 59,25%) já se encontrava com bom nível de digestão. Segundo a literatura especializada valores abaixo de 60% de SV/ST caracterizam lodo digerido (US EPA, 1995; MALINA, 1993). Já o lodo não submetido à digestão (SV/ST = 78,80%) não apresentou a mesma condição. No entanto, a adição da cal ao lodo resultou numa

diminuição dessa relação, provavelmente, em razão do incremento do teor de Sólidos Totais (ST) devido à adição da cal. Para os dois tipos de lodos ficou evidenciado que ocorreu uma redução gradual nos valores SV/ST com a secagem do material, que chegou a atingir um abatimento de mais de 40% (Lodo B) do valor inicial, em face da continuidade do processo de estabilização ocasionado, principalmente, pela redução da umidade (BOROWSKI; SZOPA, 2007) (Figura 3b).

Os valores de pH dos lodos utilizados no experimento estavam entre 6 e 7,5 (lodo digerido, 6,25 e lodo não encaminhado à digestão, 7,28) e, com a adição da cal, os valores apresentados foram superiores a 12. O pH sofreu redução acentuada até, aproximadamente, o 14º dia, mantendo, à partir daí, valores em torno de 8, que permaneceram até o final do experimento. O monitoramento efetuado quando se adicionou a cal mostrou que atendeu às exigências estabelecidas na Resolução nº 375/2006 (BRASIL, 2006), ou seja, o pH foi mantido acima de 12 nas primeiras 2 horas e acima de 11,5 por mais 22 horas. Os comportamentos do Lodo A e do Lodo B foram semelhantes (Figura 3c).

### Indicadores bacteriológicos

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos indicadores bacteriológicos monitorados para o Lodo A e Lodo B e a Figura 4 o comportamento dos coliformes termotolerantes.

As características dos lodos brutos utilizados no experimento são:

- Lodo digerido: CTt = 1,10E+04 NMP/gST; OVH = 0,13 ovo/gST e *Salmonella* sp. = Presença em 10g/ST.
- Lodo não encaminhado à digestão: CTt = 4,60E+04 NMP/gST; OVH = 0,26 ovo/gST e *Salmonella* sp. = Presença em 10g/ST.

**Tabela 1 - Ocorrência de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp. do Lodo A e do Lodo B durante o experimento**

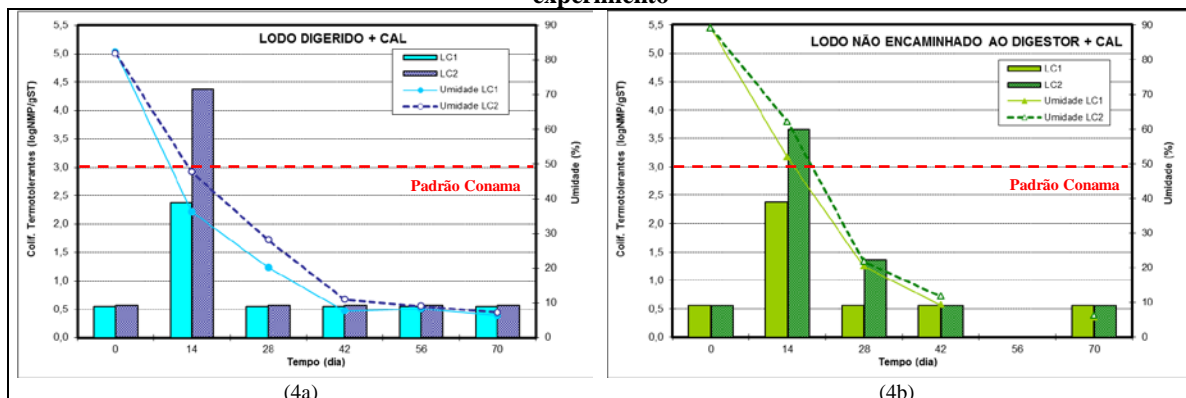
Data	Tempo (dia)	Coliformes Termotolerantes (< 1.000 NMP/gST) <sup>(1)</sup> (NMP/gST)		Ovos viáveis helmintos (0,25ovo/gST) <sup>(1)</sup> (< (ovo/gST)		Salmonella sp. (Ausência em 10gST) <sup>(1)</sup> (em 10gST)	
		LC1	LC2	LC1	LC2	LC1	LC2
LODO A (lodo digerido + cal)							
29/01/07	0	< 3,6	< 3,6	0,19	0,19	A	A
12/02/07	14	2,40E+02	2,40E+04	0,06	0,10	A	A
26/02/07	28	< 3,6	< 3,6	0,07	0,04	A	A
12/03/07	42	< 3,6	< 3,6	0,08	0	A	A
26/03/07	56	< 3,6	< 3,6	0	0,03	A	A
9/4/2007	70	< 3,6	< 3,6	0	0,04	A	A
LODO B (lodo não encaminhado ao digestor + cal)							
12/12/07	0	< 3,6	< 3,6	0,31	0,31	A	A
26/12/07	14	2,40E+02	4,60E+03	0,27	0,19	A	A
09/01/08	28	3,6	23	0,16	0,11	A	A
23/01/08	42	< 3,6	< 3,6	0,20	0,06	A	A
06/02/08	56	Não foi realizada coleta de amostras					
20/02/08	70	< 3,6	< 3,6	0,16	0,10	A	A

Nota: <sup>(1)</sup> Padrão Resolução nº 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006c);

A = Ausência.

A adição de cal teve aspecto positivo, sendo obtidos valores de Coliforme Termotolerante (CTt) bem abaixo do padrão Conama (BRASIL, 2006) nas primeiras amostras analisadas. Isso confirma as citações de Fernandes, Andreoli e Domaszak (1996), Malta (2002) e Outwater (1994), que conseguiram remoções semelhantes para coliformes fecais, ao avaliarem diferentes dosagens de cal na estabilização cálcica do lodo. O recrescimento ocorrido no 14º dia confirma os relatos de diversos autores (DUMONTET *et al.*, 2001; RAMIREZ; MALINA, 1980; STRAUB; PEPPER; GERBA, 1993; US EPA, 2002). Vale destacar que, segundo Ramirez e Malina (1980), o pH de 11,5 é suficiente para obter efetiva remoção de bactérias. No entanto, caso o pH atinja valores inferiores a 11,5, é possível ocorrer a recolonização das bactérias, e, nesse caso, o pH estava próximo a 8 (Lodo A) e 9 (Lodo B). Passamani (2001) também constatou o recrescimento de bactérias (coliformes fecais) quando se adicionou cal hidratada em lodo proveniente de reator UASB. Com isso, o recrescimento de bactérias deve ser sempre considerado quando se adiciona cal ao lodo.

**Figura 4 – Comportamento do parâmetro Coliforme Termotolerante dos Lodos A(4a) e B(4b) ao longo do experimento**



Nos dois casos observou-se que a adição de material alcalino não influenciou na redução da densidade de OVH. Entretanto, pode-se perceber que a redução da umidade associada às condições da temperatura proporcionou uma redução gradativa da densidade de ovos viáveis. O Lodo A bruto, sem adição de cal, utilizado na pesquisa já apresentava valor de OVH bastante reduzido, inclusive sempre abaixo de 0,25 ovo/gST, que é o limite estabelecido pela Resolução no 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006). Já o Lodo B bruto apresentou valor pouco acima do padrão Conama.

No caso da *Salmonella sp.* a adição de material alcalino ao lodo foi eficiente na eliminação desta bactéria. Tanto o Lodo A quanto o Lodo B apresentavam Presença em 10gST e com a adição da cal o resultado apresentado foi de Ausência em 10gST. Foi constatada Ausência do organismo nas amostras do lodo de LC1 e LC2 até o final do experimento, não ocorrendo recolonização dessa bactéria.

Assim, considerando a metodologia utilizada e as condições do lodo bruto, o parâmetro CTt foi o limitador para o uso do lodo na agricultura.

#### Parâmetros de interesse agrônômico

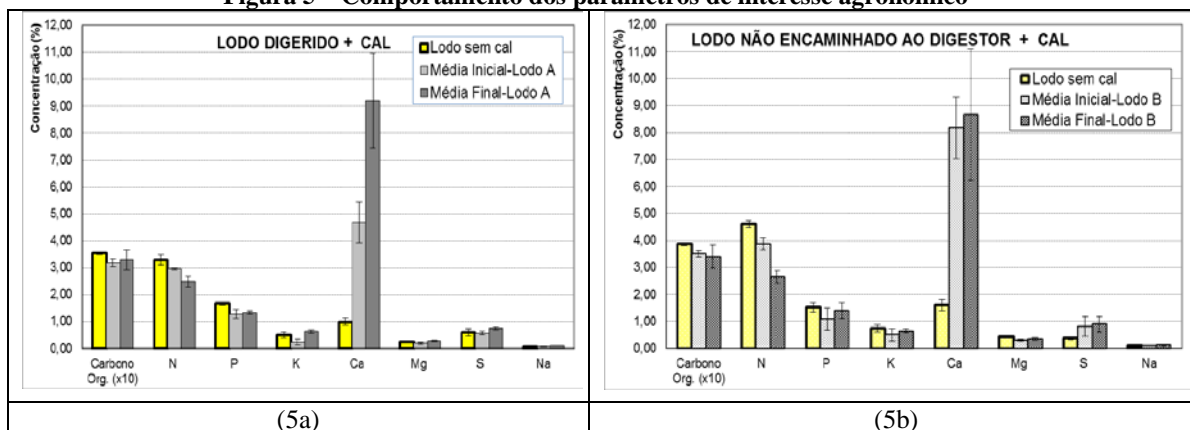
Os parâmetros de interesse agrônômico foram monitorados no início e no final do experimento e estão apresentados na Tabela 2 e Figura 5. A maioria apresentou concentrações ao final do experimento bem parecidas com a inicial, não ocorrendo, também, variação significativa com a adição de material alcalino, exceto as concentrações de cálcio que, como era de esperar, elevaram-se com a adição de cal. Percebe-se também que o fato do material não ter passado pelo digestor não alterou as concentrações desses parâmetros. Eles apresentaram valores ao final do experimento atraentes para o uso agrícola do material, destacando: carbono orgânico com concentração em torno de 33% - 330g/kgST (Lodos A e B); nitrogênio 2,5% - 25g/kgST (Lodo A) e 2,65% - 26,5g/kgST (Lodo B); fósforo 1,3% - 13 g/kgST (Lodo A) e 1,4% - 14g/kgST (Lodo B) e potássio 0,64% - 6,4g/kgST (Lodos A e B).

**Tabela 2 – Média e desvio padrão dos parâmetros de interesse agrônômico no início e final do experimento**

Parâmetro	Lodo A					Lodo B				
	Lodo sem cal (%)	Início (LC1 e LC2) (% em base seca)		Final (LC1 e LC2) (% em base seca)		Lodo sem cal (%)	Início (LC1 e LC2) (% em base seca)		Final (LC1 e LC2) (% em base seca)	
		Média	D.P.	Média	D.P.		Média	D.P.	Média	D.P.
Matéria Orgânica	35,38	31,90	1,48	32,97	3,72	38,57	35,09	1,20	33,93	4,34
Carbono orgânico (x10)	3,54	3,19	0,15	3,30	0,37	3,86	3,51	0,12	3,39	0,43
N	3,30	2,97	0,04	2,48	0,21	4,60	3,88	0,22	2,65	0,24
P	1,68	1,28	0,16	1,34	0,06	1,52	1,09	0,40	1,40	0,30
K	0,50	0,24	0,11	0,64	0,07	0,73	0,50	0,24	0,64	0,08
Ca	1,00	4,69	0,76	9,22	1,77	1,60	8,17	1,14	8,66	2,43
Mg	0,24	0,20	0,03	0,29	0,03	0,42	0,31	0,04	0,35	0,05
S	0,60	0,58	0,06	0,75	0,05	0,38	0,82	0,37	0,90	0,29
Na	0,08	0,08	0,01	0,11	0,01	0,10	0,10	0,02	0,11	0,02

Nota: Média entre LC1 e LC2

**Figura 5 – Comportamento dos parâmetros de interesse agrônomo**



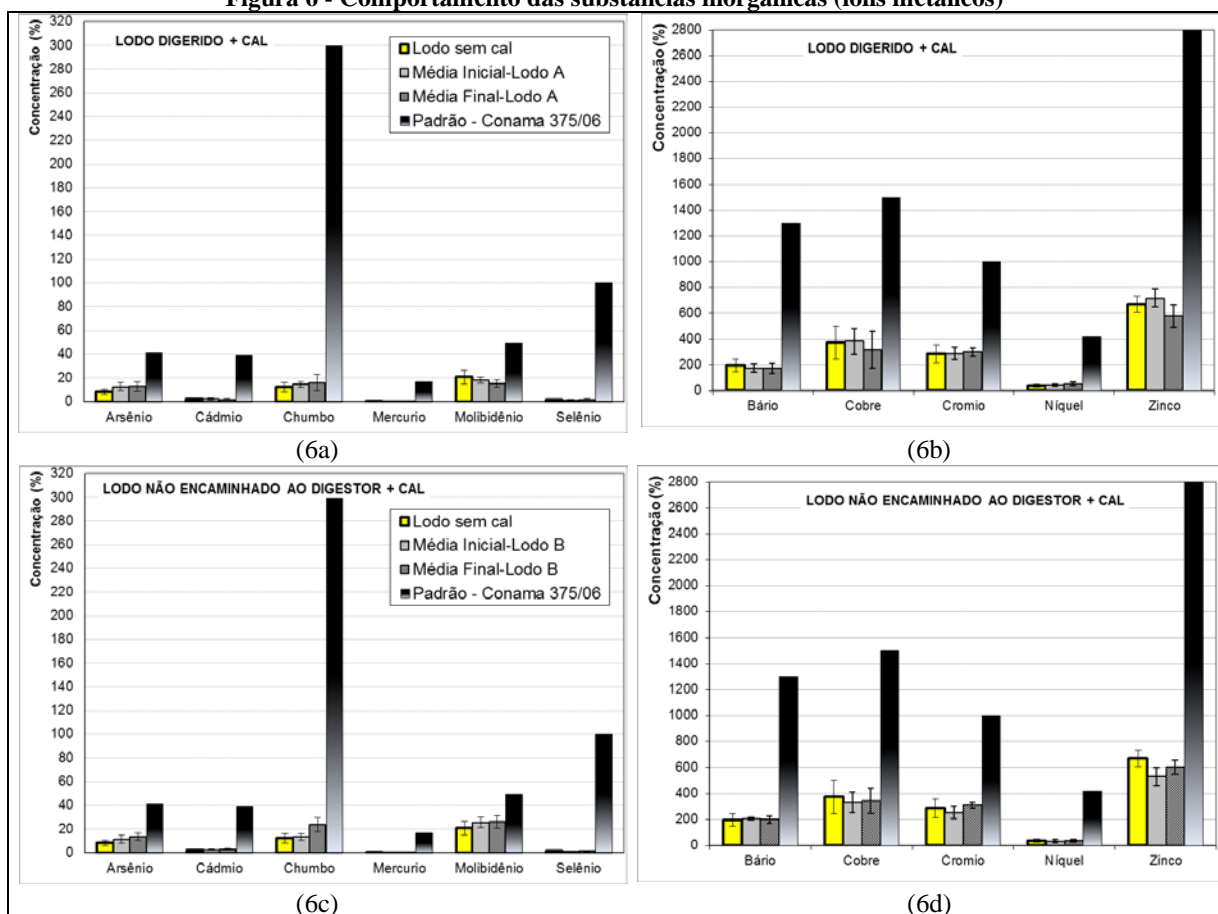
### Substâncias Inorgânicas (íons metálicos)

Como efetuados na avaliação dos parâmetros de interesse agrônomo, foram determinadas as médias e os desvios padrões, entre LC1 e LC2, de cada parâmetro monitorado, no início e final do experimento. A Tabela 3 e a Figura 6 apresentam os resultados obtidos dos íons metálicos monitorados no início e no final do experimento inclusive, os padrões exigidos pela Resolução nº 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006). Nesse caso, o próprio lodo usado na pesquisa já apresentava concentração dos íons metálicos abaixo dos padrões exigidos pela Resolução do Conama e não sofreram alterações com o desenvolvimento da pesquisa e nem com a adição de material alcalino. Para os dois lodos, as médias obtidas foram sempre menores que a metade dos limites máximos estabelecidos pela legislação vigente, em todos os casos (Tabela 3). Sendo assim, com relação aos íons metálicos, não há nenhum comprometimento do uso do lodo não encaminhado ao digestor na agricultura.

**Tabela 3 - Média e desvio padrão das substâncias inorgânicas (íons metálicos) no início e final do experimento**

Parâmetro	Padrão <sup>(1)</sup>	Lodo A						Lodo B					
		Lodo sem cal (%)	Início (LC1 e LC2) (mg/kg base seca)		Final (LC1 e LC2) (mg/kg base seca)		Lodo sem cal (%)	Início (LC1 e LC2) (mg/kg base seca)		Final (LC1 e LC2) (mg/kg base seca)		Média	D.P.
			Média	D.P.	Média	D.P.		Média	D.P.	Média	D.P.		
Arsênio	41	8,25	12,50	3,35	12,83	4,10	8,00	11,33	3,40	13,50	2,99		
Bário	1300	2,48	2,45	0,92	1,95	0,57	2,37	2,47	0,59	2,95	0,66		
Cádmio	39	12,25	14,50	2,29	16,00	6,88	14,33	13,33	2,62	23,67	5,82		
Chumbo	300	0,09	0,11	0,04	0,11	0,03	0,08	0,11	0,04	0,09	0,05		
Cobre	1500	20,75	18,25	2,49	15,17	3,02	21,33	25,67	4,50	26,00	5,23		
Cromio	1000	1,50	1,33	0,37	1,82	0,49	1,23	1,10	0,08	1,60	0,61		
Mercurio	17	197,50	174,50	31,20	174,17	39,73	147,67	205,00	10,20	200,17	27,03		
Molibidênio	50	372,75	383,00	100,58	319,50	141,75	333,33	331,67	77,35	345,33	96,47		
Níquel	420	286,50	289,00	48,75	302,00	32,64	262,33	254,33	49,09	311,50	21,27		
Selênio	100	38,50	44,75	10,38	52,00	16,34	30,33	35,00	12,83	38,17	11,02		
Zinco	2800	672,50	718,00	69,10	578,33	87,11	509,00	531,67	70,15	602,33	53,80		

**Figura 6 - Comportamento das substâncias inorgânicas (íons metálicos)**



## CONCLUSÕES

A estufa agrícola se apresentou como uma técnica bastante interessante possibilitando temperaturas internas elevadas, acima de 50°C, e, a partir de 10 horas da manhã, essas já se encontram acima de 34°C, mantendo-se elevadas até, aproximadamente, 18 horas. Destaca-se ainda:

- Contatou-se que a redução da umidade foi bastante acentuada para os dois tipos de lodos e a adição da cal não interferiu nesta perda.

- Para SV/ST os valores iniciais caracterizaram que o Lodo A (SV/ST = 59,25%) encontrava-se com bom nível de digestão, e o Lodo B (SV/ST = 78,80%) como lodo não digerido. Com a adição da cal houve uma redução dessa relação em razão da elevação de ST e, ficou evidenciado que ocorreu uma redução gradual nos valores SV/ST com a secagem do material.

- O pH inicial dos lodos estava entre 6 e 7,5 e, com a adição da cal, os valores foram superiores a 12, reduzindo a valores em torno de 8, com o desenvolvimento da pesquisa.

- A adição da cal teve aspecto positivo na redução de CTt e *Salmonella* sp.. Houve recrescimento de CTt e, a partir do 28º dia, as densidades foram reduzidas para valores inferiores aos definidos para lodo Classe A. No caso da *Salmonella* sp. não ocorreu recrescimento dessa bactéria, apresentando Ausência em 10gST após a adição da cal, permanecendo assim até o fim do experimento. Para os OVH a adição de material alcalino não influenciou na redução da sua densidade, que foi percebida com a diminuição da umidade associada às condições da temperatura.

- Os parâmetros de interesse agrônomo apresentaram concentrações atraentes para o uso agrícola do material e as substâncias inorgânicas apresentaram valores sempre inferiores aos padrões exigidos pela Conama.

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento dessa pesquisa só foi possível com o apoio de: CESAN, ODEBRECHET, FAPES, FACITEC, IFES, CAPES e INCAPER.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENNAMOUN, L. Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 1061-1073, 2012.
2. BONNET, B. R. P.; LARA, A. I.; DOMASZAK, S. C. Indicadores biológicos de qualidade sanitária do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Coord.). *Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto*. 2. ed. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, 2000. cap. 1, p. 11-26.
3. BOROWSKI, S.; SZOPA, J. S. Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1199–1207, 2007.
4. BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. Resolução do Conama que dispõe sobre a Regulamentação do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA>>. Acesso em: 30 set. 2011.
5. COMPARINI, J. B. Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa. 2001. 278 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
6. DUMONTET, S.; SCOPA, A.; KERJE, S.; KROVACEK, K. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. *Air & Waste Management Association*, v. 51, p. 848-860, 2001.
7. FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.C. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. *Sanare*, v. 6, n. 6, p.15-21, 1996.
8. LIMA, M. R. P.; ALEM SOBRINHO, P. Comportamento de coliforme termotolerante e *Salmonella* sp. durante secagem em estufa agrícola de lodo digerido aerobiamente e de lodo não encaminhado ao digestor. In: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. *Anais...*: Rio de Janeiro. Abes/AIDIS, 2012.
9. MALINA, J. F. Anaerobic digestion. In: II Seminário de transferência de tecnologia/tratamento e destino final do lodo. Rio de Janeiro. *Anais...*: Rio de Janeiro. Abes/WEF, 1993. p. 36-44.
10. MALTA, L. R. S. Otimização da estabilização cálcica do biossólido para uso agrícola. Estudo de caso: ETE Lavapés / São José dos Campos. 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
11. OUTWATER, A. B. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. Florida: CRC Press, 1994. 179p.
12. PASSAMANI, F. R. F. Remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos em uma ETE do tipo UASB + Biofiltro aerado submerso tratando esgoto sanitário e em lodo anaeróbio submetido à higienização por calagem ou por pasteurização. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.
13. RAMIREZ, A.; MALINA, J. F. Chemicals disinfect sludge. *Water and Sewage Works*, v. 127, n. 4, p. 52-5, 1980.
14. STRAUB, T. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. Hazards from pathogenic microorganisms in landdisposed sewage sludge. *Environmental Contamination Toxicology*, v. 132, p. 55–91, 1993.
15. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 4rd ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2002. 1848p.
16. US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Land application of sewage sludge and domestic septage* – Process design manual. EPA/625/R-95/001: Cincinnati, 1995. 290p.
17. \_\_\_\_\_. *Biosolids applied to land: advancing standards and practices*. Washington: National Academy Press, 2002. 266 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ost/biosolids>>. Acesso em: 15 nov. 2007.