

II-044 – UTILIZAÇÃO DE PROCESSO TÉRMICO COM APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR NA DESINFECÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM PEQUENAS UNIDADES

Odinei Fogolari⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Comunitária Regional de Chapecó. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Luiz Sérgio Philippi⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Doutor em Hidrologia e Saúde Pública pela Université de Montpellier I. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e no Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC.

Maria Elisa Magri⁽³⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutoranda em Engenharia Ambiental.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário – Trindade – Florianópolis – SC - CEP 88040-970 – Brasil - Tel: (48) 3721-7696 - e-mail: fogolari@gmail.com

RESUMO

A gestão do lodo em sistemas descentralizados de tratamento de esgoto nem sempre é realizada de forma adequada, podendo causar muitos prejuízos à saúde ambiental. A desinfecção do lodo fornece um produto mais seguro para o manuseio, reciclagem agrícola ou mesmo para tratamentos de estabilização posteriores. O tratamento térmico é muito utilizado na inativação microbiana em diversos produtos e vem sendo cada vez mais pesquisado e usado na desinfecção de lodo de esgoto. Este trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de um processo térmico com aproveitamento de energia solar através de coletores solares planos, na desinfecção de lodo de esgoto visando atender pequenos sistemas de tratamento. O processo ocorre em batelada. O lodo é aquecido dentro do reator através de um trocador de calor construído com tubos de cobre, onde circula água aquecida em coletores solares planos. Foram realizados 7 ensaios experimentais compreendidos entre dezembro/2009 e março/2010, sendo 4 deles em condições de céu aberto e 3 com o céu encoberto. O volume de lodo tratado em cada ensaio foi fixado em 200 litros e o tempo de tratamento em 8 horas, sempre com início às 09h00min e término às 17h00min, que abrange o período de maior incidência da radiação solar. Os principais indicadores do tratamento foram *Escherichia coli* e coliformes totais, além da temperatura do lodo. A redução de *E. coli* e coliformes totais nos ensaios realizados com céu aberto foi superior a 6 e 4,8 unidades logarítmicas, respectivamente. A temperatura média do lodo nesses ensaios ficou acima de 55°C por mais de 2 horas. Em dias com céu encoberto o processo demonstrou baixa eficiência em função das baixas temperaturas atingidas pelo lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, Aquecimento solar, Desinfecção térmica.

INTRODUÇÃO

De acordo com Andreoli, Lara e Fernandes (2001), o lodo de esgoto possui grande potencial de utilização na agricultura, pois auxilia na melhoria das condições do solo e no fornecimento de nutrientes. No entanto, o lodo concentra a maioria dos microrganismos presentes no esgoto sanitário, cuja contaminação é dependente das características sanitárias da população que o produz.

Entre as principais preocupações associadas ao uso de lodo de esgoto na agricultura está a transmissão de patógenos para alimentos ou trabalhadores rurais, a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, além da acumulação de metais e contaminantes orgânicos (VENGLOVSKY; MARTINEZ e PLACHA, 2006). Os agentes patogênicos devem ser reduzidos a níveis seguros, através de processos de desidratação, estabilização e desinfecção (WHO, 2006).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou em 2006 a Resolução nº 375 (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto. A higienização do lodo, ou

seja, a redução adicional de patógenos permite a obtenção de um produto mais seguro tanto para manuseio, quanto para a utilização nas diversas culturas vegetais.

O tratamento térmico é muito utilizado na inativação microbiana em diversos produtos e vem sendo cada vez mais pesquisado e usado na desinfecção de lodo (MOCÉ-LLIVINA *et al.*, 2003; LANG e SMITH, 2008). Os microrganismos são considerados mortos quando perdem de forma irreversível a capacidade de se multiplicar. Eles morrem pela desnaturação de proteínas na presença de calor úmido, ou por oxidação, quando se trata de calor seco. Quando uma população microbiana é aquecida, a redução do número de organismos viáveis ocorre de forma exponencial na maioria dos casos, no entanto, há variações de resistência de organismo para organismo (ALTERTHUM e CARVALHAL, 1999).

A resistência dos microrganismos presentes no lodo de esgoto geralmente é bastante reduzida em temperaturas acima de 55°C. Haug (1993) indica a redução de até 6 unidades logarítmicas de bactérias entéricas tipo coliformes e *Salmonella*, caso o produto seja mantido em 60°C por 30 minutos. O autor indica a destruição de ovos de *Ascaris lumbricoides* em tratamento a 50°C após 60 minutos. Mocé-Llivina *et al.* (2003), relatam a redução de 6 unidades logarítmicas de *E. Coli*; 3,4 unidades de *Streptococcus fecal*; 5; 4 para o Poliovirus1; 5,1 de CoxsackievirusB4 e 4,3 para Echovirus6, após tratamento de esgoto sob 60°C por 30 min. A relação tempo/temperatura para cada microrganismo é específica e depende muito das condições do meio.

Dentre os microrganismos mais resistentes ao calor estão os ovos de helmintos. Entretanto, sua resistência térmica em temperaturas acima de 60°C também é bastante reduzida e conseqüentemente a inativação ocorre rapidamente, conforme observado em Simoneti (2006) e Aitken *et al.* (2005). A *E. coli* apresenta resistência ao calor semelhante à outras bactérias patogênicas presentes em lodo de esgoto, como *Enterococcus faecalis* e *Salmonella*, consistindo num indicador robusto do tratamento térmico (LANG e SMITH, 2008; SPINKS *et al.*, 2006).

Arthurson (2008) observa que a pasteurização é um processo eficaz na eliminação da maioria dos patógenos em lodo de esgoto e deveria ser introduzida antes ou depois de processos de estabilização (ex. digestão ou compostagem) para obtenção de um produto adequado à utilização agrícola. No entanto, ressalta que o método pode falhar na eliminação de endósporo bacteriano, e também quanto à possibilidade de recrescimento microbiano ou de recontaminação no manuseio do produto. O processo pode ter um custo elevado, principalmente quando for utilizado vapor no aquecimento.

O desenvolvimento de tecnologias para aproveitamento da energia solar permite a exploração de recursos térmicos para diversos fins de forma sustentável. Os processos com energia solar de baixa temperatura (até 100°C) podem ser indicados para muitas aplicações, tais como aquecimento de ambientes, aquecimento de água, condicionamento de ar, refrigeração, evaporação, destilação e geração de vapores de líquidos especiais. O aquecimento de água domiciliar e climatização de ambientes com energia solar já se tornou economicamente atrativo em muitas regiões (BEZERRA, 1986).

A captação de energia solar em forma de energia térmica é feita utilizando-se dispositivos solares denominados de coletores, que podem ser de placa plana ou de concentração. Para muitas aplicações cotidianas, os coletores planos são interessantes devido à sua simplicidade de construção, operação e baixo custo.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de um reator com aquecimento utilizando coletores solares planos na desinfecção de lodo de esgoto de tanque séptico, considerando a inativação de *Escherichia coli* e coliformes totais em duas condições meteorológicas. O tratamento visa atender sistemas descentralizados em pequenas comunidades rurais, condomínios ou bairros, tornando o lodo mais seguro para utilização agrícola, ou mesmo para o manuseio em tratamentos posteriores.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema está implantado em área disponibilizada pelo Centro de Treinamento (CETRE) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Florianópolis/SC, onde está instalado o reator piloto e os coletores solares (FOGOLARI, 2011). O experimento utilizou lodo de esgoto do tanque séptico do próprio CETRE/EPAGRI, que possui capacidade de 22,6 m³ e recebe efluentes da cozinha e banheiros. O lodo foi retirado do tanque séptico através de uma bomba submersa.

O tratamento térmico do lodo ocorre em batelada, conforme o processo ilustrado na Figura 01.

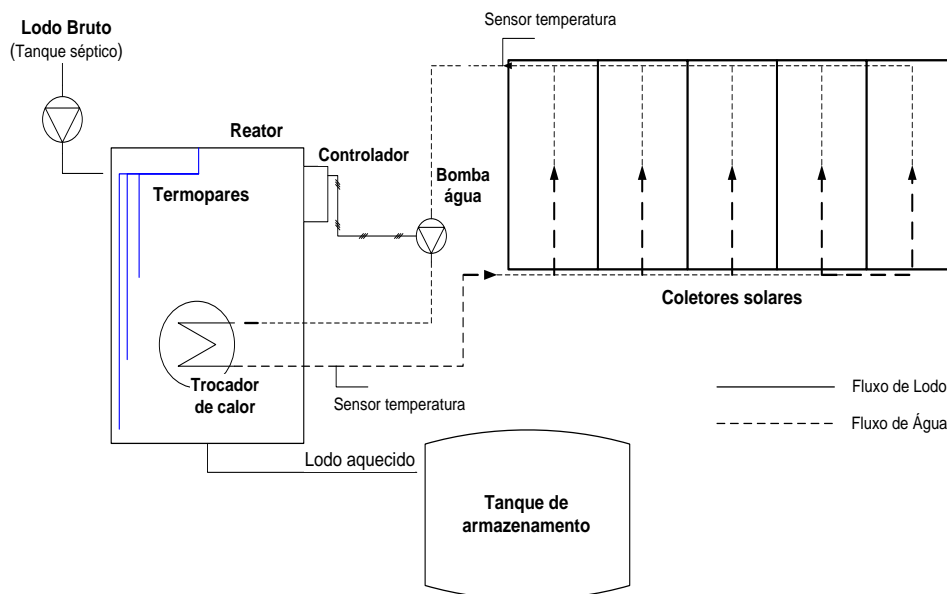


Figura 01: Fluxograma do processo de desinfecção do lodo em batelada.

Inicialmente o lodo do tanque séptico é enviado ao reator térmico por uma bomba hidráulica submersa, onde ocorre o tratamento em batelada. Os coletores solares e o trocador de calor estão conectados e operam em circuito fechado, tendo água como fluido de trabalho. A água circula no sistema (coletores e trocador de calor) através de uma bomba automática, transferindo energia térmica ao lodo. Assim, o lodo é aquecido indiretamente pela energia solar. Toda a tubulação de transporte de água entre os coletores e o trocador de calor foi isolada com poliuretano e fita isolante.

Um controlador aciona a bomba automática com base no diferencial de temperatura da água na saída dos coletores e na saída do trocador de calor. A temperatura do lodo, monitorada através de termopares instalados no interior do reator, é limitada pela temperatura do fluido nos coletores, que depende da incidência da radiação solar. Após o lodo receber o tratamento durante o tempo pré-estabelecido, é enviado a um tanque de fibra, onde permanece até atingir a temperatura ambiente e aguardando o destino final.

Para captação da energia solar foram instalados 5 coletores solares planos com absorvedor e dutos de cobre (Figura 02a), cada um possui 1,90 m² de área útil e cobertura de vidro de 3 mm, com orientação para o norte e inclinação de 27°, conforme indica Bezerra (1986).

O reator de aquecimento possui 0,9 m de diâmetro interno e 1,0 m de altura, é composto de duas chapas metálicas contendo entre elas uma camada de poliuretano expandido de 10 cm de espessura (Figura 02b). O trocador de calor é constituído de tubos de cobre, cada um com 60 cm de comprimento, 2 mm de espessura e diâmetro interno de 4 cm. A peça é composta de 5 tubos em paralelo, associados em série com um conjunto de mais 5 tubos em paralelo (Figura 02c). A Figura 02d mostra o controlador e a bomba automática utilizada para circulação de água no sistema.

A temperatura do lodo foi monitorada em 3 pontos em alturas diferentes: fundo, meio e superfície da coluna de líquido, todos próximos à parede do reator. Utilizou-se o valor médio desses pontos no tratamento dos dados.

Neste trabalho são abordados 7 ensaios realizados durante o período de dezembro/2009 a março/2010, consistindo no período mais quente do ano na região em questão. Em todos os ensaios, o volume de lodo foi fixado em 200 litros e o tempo de tratamento em 8 horas, sempre com início às 09h00min e término às 17h00min, que corresponde ao período do dia com maior incidência de radiação solar. Os ensaios 2, 3 e 7 foram realizados em condições de céu encoberto (sem aberturas de sol), e os demais com o céu aberto (céu limpo ou com poucas nuvens).



Figura 02: (a) Coletores solares planos; (b) reator de desinfecção de lodo; (c) trocador de calor; (d) controlador e bomba automática de circulação de água.

Em cada ensaio foram coletadas amostras de lodo para análises de coliformes totais e *Escherichia coli*, as quais foram realizadas através do método Colilert®. Antes de cada amostragem o lodo era homogeneizado. Para monitorar o recrescimento microbiano, uma amostra de lodo foi coletada ao final das 8 horas de tratamento e acondicionada em frasco esterilizado por 24 horas em condições ambiente, em seguida foi submetida às análises microbiológicas. As características físico-químicas médias do lodo utilizado nos experimentos são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01: Características físico-químicas do lodo de esgoto do tanque séptico.

Parâmetro	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
pH	7,12	7,62	6,68	0,22
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	236	511	24	177
DQO (mg.L ⁻¹)	14.253	26.175	2.300	8.014
Amônia (mg.L ⁻¹)	70,6	120,5	21,4	30,6
Nitrato (mg.L ⁻¹)	1,4	5,3	0,5	1,2
Ortofosfato (mg.L ⁻¹)	40,5	67,3	6,8	15,7
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	4.465	9.819	2.067	1.961
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	2.035	4.930	879	1.013
Teor de sólidos voláteis (%)	45,2	51,1	38,9	4,2

A caracterização físico-química do lodo bruto, observada na Tabela 01, foi realizada através de 15 amostragens do material realizadas entre dez/2009 e set/2010.

RESULTADOS

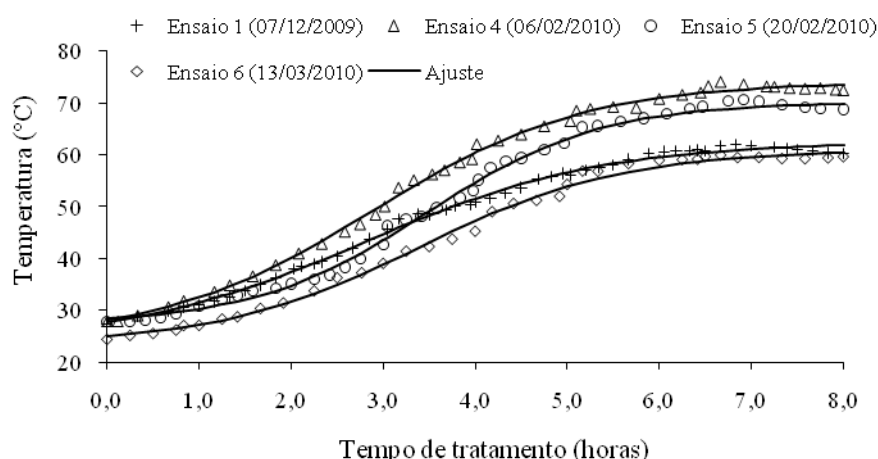
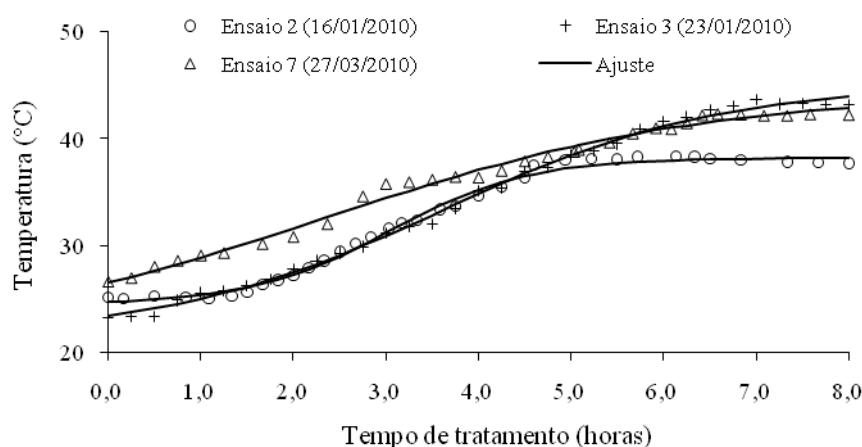
As estatísticas descritivas dos parâmetros meteorológicos são apresentadas na Tabela 02. Verifica-se a baixa radiação solar disponível no período dos ensaios 2, 3 e 7, realizados em condições de céu encoberto.

Tabela 02: Dados de irradiação solar, insolação e temperatura média do ar para cada ensaio.

Ensaio	Condição	Data	Irradiação (W.h.m ⁻²)			Insolação (h)	T _{ar} média (°C)
			Média Período	Máx.	Mín.		
01	Céu aberto	07/12/2009	734	1060	186	8,7	29
02	Céu encoberto	16/01/2010	374	649	171	3,5	25
03	Céu encoberto	23/01/2010	472	744	107	2,8	25
04	Céu aberto	06/12/2010	775	987	440	11,0	31
05	Céu aberto	20/02/2010	745	1005	322	10,7	30
06	Céu aberto	13/03/2010	537	894	191	7,6	31
07	Céu encoberto	27/03/2010	356	593	113	1,6	27

* Os dados de irradiação solar foram fornecidos pelo INMET e coletados na Estação Automática de Florianópolis/São José, em intervalos de 1 hora. Os valores correspondentes à irradiação e temperatura do ar de cada ensaio referem-se ao período das 09h00min às 17h00min.

A Figura 03 apresenta a temperatura média do lodo no reator durante os ensaios 1, 4, 5 e 6, realizados em condições de céu aberto. Na Figura 04 consta a temperatura média do lodo dos ensaios 2, 3 e 7. O perfil da curva de temperatura descrito no lodo ao longo dos experimentos foi semelhante em todos os casos. Isso tornou possível o ajuste de um modelo não linear aos dados, que foi realizado através programa Origin 6.0®, utilizando o modelo sigmoidal de Boltzmann: $T(t) = A_2 + (A_1 - A_2) / [1 + \exp((t - x_0)/dx)]$. Onde o parâmetro A_1 representa a assíntota inferior da curva; A_2 a assíntota superior; x_0 o ponto de inflexão da curva; dx a inclinação; e t é a variável tempo medido em horas.

**Figura 03: Temperatura do lodo observada e ajustada pelo modelo sigmoidal nos ensaios 1, 4, 5 e 6, realizados em dias com céu aberto.****Figura 04: Temperatura do lodo observada e ajustada pelo modelo sigmoidal nos ensaios 2, 3 e 7, realizados em dias com céu encoberto.**

Verifica-se na Figura 03, que em condições meteorológicas favoráveis a temperatura do lodo atinge níveis que favorecem a desinfecção, chegando em alguns casos passar os 70°C, que é a temperatura utilizada em processos de pasteurização.

A presença excessiva de nuvens no céu causou a diminuição da radiação solar disponível comprometendo a elevação da temperatura, conforme pode ser observado na Figura 04. De acordo com o Atlas de Irradiação Solar do Brasil (COLLE e PEREIRA, 1998), Florianópolis está em uma das regiões do país que possui a menor média anual de radiação solar global. Regiões como o Nordeste e Centro-Oeste possuem os maiores índices, com menores variabilidades mensais, apresentando ainda mais potencial de utilização térmica da energia solar.

Os parâmetros estimados das curvas ajustadas à temperatura em cada ensaio e o respectivo erro-padrão são apresentados na Tabela 03. Conforme observado no erro-padrão de cada parâmetro, temos que os ajustes foram satisfatórios na predição da temperatura. Tais parâmetros podem auxiliar no estudo ou simulação do comportamento do processo, ou mesmo na modelagem da inativação microbiana.

Tabela 03: Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado à temperatura do lodo, erro-padrão e o coeficiente de determinação para cada ensaio.

Ensaio	Data	A ₁	Erro	A ₂	Erro	x ₀	Erro	dx	Erro	R ²
1	07/12/2009	23,606	0,990	62,497	0,333	2,793	0,073	1,294	0,060	0,997
2	16/01/2010	24,550	0,259	38,266	0,160	3,044	0,049	0,751	0,046	0,994
3	23/01/2010	21,518	0,600	45,165	0,446	3,621	0,080	1,503	0,100	0,997
4	06/02/2010	24,535	0,781	73,993	0,308	2,900	0,045	1,143	0,041	0,998
5	20/02/2010	27,442	0,549	70,164	0,351	3,472	0,039	0,933	0,039	0,997
6	13/03/2010	23,417	0,765	60,965	0,474	3,392	0,064	1,098	0,065	0,996
7	27/03/2010	21,041	2,753	44,208	0,852	2,359	0,429	2,041	0,353	0,990

A inativação de *E. coli* e coliformes totais em cada ensaio pode ser observada nas Figuras 05 e 06, respectivamente, as quais mostram o nível de desinfecção atingido, calculado através da fração de microrganismos sobreviventes $[-\log(N_f/N_o)]$, onde N_o é a população bacteriana inicial e N_f é a população bacteriana ao término do tratamento, com dados em NMP.100ml⁻¹. Nas Figuras constam também os índices médios de irradiação solar para o período de cada ensaio. Observa-se que a inativação foi comprometida nos ensaios 2, 3 e 7, realizados em condições de céu encoberto, cuja irradiação média ficou abaixo de 500 W.h.m⁻².

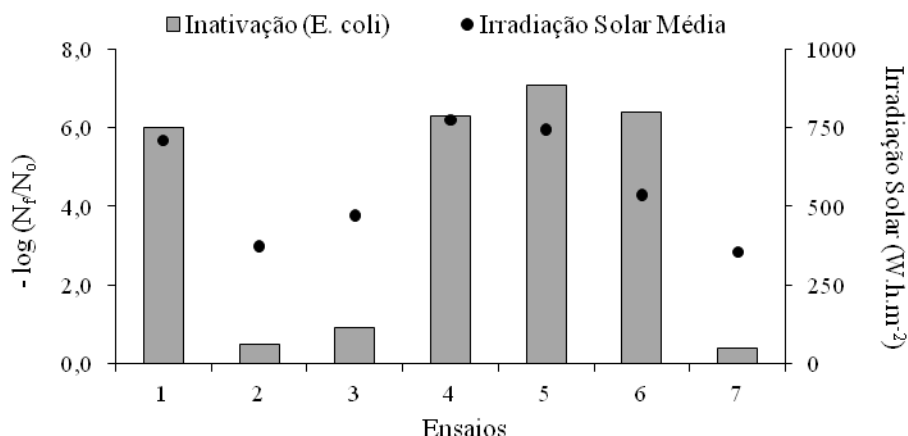


Figura 05: Inativação da *E. coli* e irradiação solar média em cada ensaio.

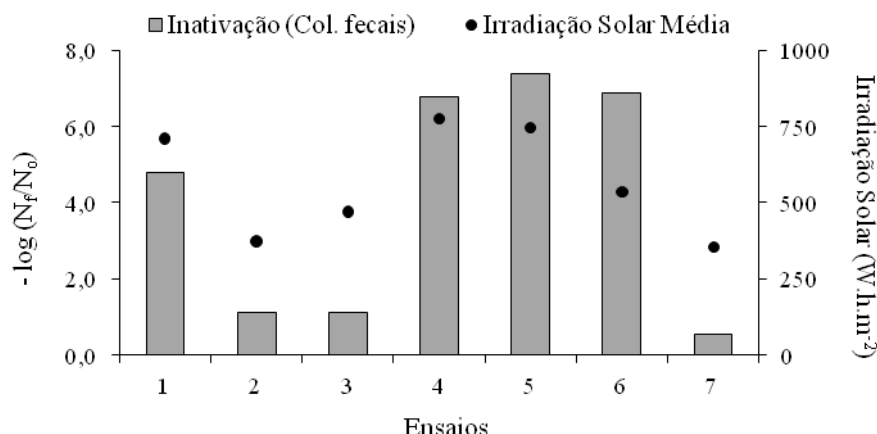


Figura 06: Inativação de coliformes totais e irradiação solar média em cada ensaio.

A inativação de *E. coli* e coliformes totais ocorreu de modo semelhante. O tratamento térmico de desinfecção nas condições dos ensaios 1, 4, 5 e 6 mostrou-se eficiente. A redução de *E. coli* foi superior a 6 unidades logarítmicas nesses ensaios, o que representou praticamente a eliminação total desse microrganismo. Os ensaios 2, 3 e 7 foram comprometidos pelos baixos índices de irradiação solar, que comprometeram a elevação da temperatura do lodo.

Observa-se que o processo depende das condições externas para atingir níveis de temperaturas que promovam a desinfecção do lodo. Conforme Lang e Smith (2008) e Haug (1993), a inativação de *E. coli* e coliformes totais ocorre de forma mais efetiva quando o material permanece em temperaturas acima de 55°C por pelo menos 1 hora. Os ensaios 1, 4, 5 e 6 apresentaram temperaturas superiores a 55°C por mais de 2 horas conforme observado na Figura 03.

Um fator que pode limitar a desinfecção térmica é a capacidade que certas bactérias e esporos apresentam de serem reativados em matéria orgânica quando as temperaturas são reduzidas a níveis subletais. De acordo com Haug (1993), esse fenômeno tem sido observado com coliformes totais e fecais, *salmonella* e *streptococcus fecal*, presentes em lodo líquido ou mesmo em compostos com baixa umidade.

Sendo assim, a Figura 07 mostra o logaritmo da concentração final (N_f) de *E. coli* e o recrescimento após 24 horas do término do tratamento (N_r) para os sete ensaios experimentais. Os valores das concentrações foram convertidos para NMP por gramas de sólidos totais (ST) com base nas análises de sólidos de cada ensaio. Observa-se que a concentração final (N_f) de *E. coli* foi nula nos ensaios 1, 4, 5 e 6. Ao final de 24 horas do tratamento também não foi detectado células viáveis, indicando o efeito residual do tratamento nessas condições de temperatura, que impediu a reativação desse microrganismo.

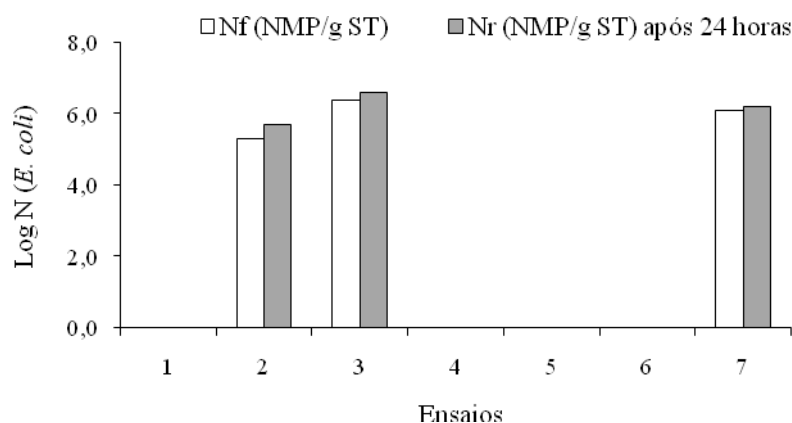


Figura 07: Logaritmo da concentração de *E. coli* ao final do tratamento (N_f) e após 24 horas (N_r). Concentrações em NMP.gST⁻¹.

Ao final dos ensaios 2, 3 e 7 a concentração de *E. coli* ainda esta acima de 5 unidades logarítmicas, essa concentração se manteve após 24 horas.

Com relação aos coliformes totais (Figura 08), dos experimentos realizados com o céu aberto apenas o ensaio 1 apresentou uma concentração de aproximadamente 2 unidades logarítmicas ao final do tratamento, essa concentração se manteve após 24 horas, indicando que não houve recrescimento.

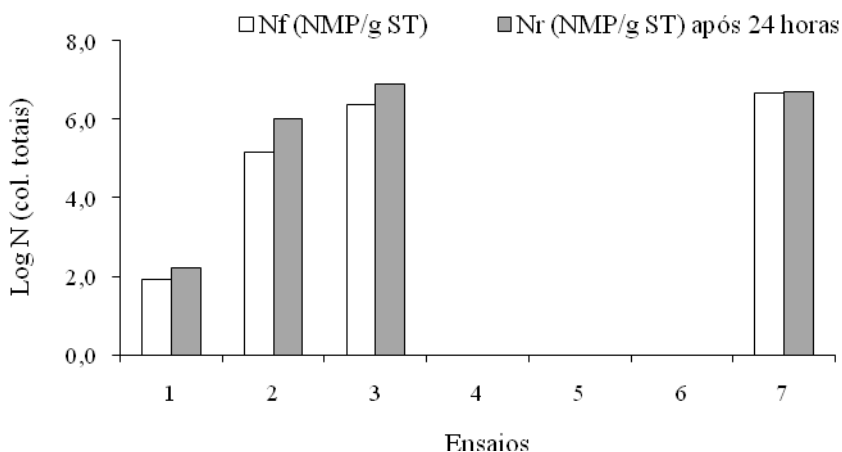


Figura 08: Logaritmo da concentração de coliformes totais ao final do tratamento (N_f) e após 24 horas (N_r). Concentrações em NMP.gST⁻¹.

Com base nas Figuras 07 e 08, pode-se afirmar que o tratamento térmico de desinfecção nos ensaios 1, 4, 5 e 6, mostraram-se aptos a atender o que é estabelecido na Resolução nº 375/2006 do CONAMA com relação à coliformes. Essas amostras apresentaram valores de *E. coli* e coliformes totais abaixo de 10³ NMP.gST⁻¹ após 24 horas do tratamento, que é o limite estabelecido pela Resolução para categorização do lodo como classe A.

CONCLUSÕES

O tratamento térmico com uso de energia solar mostrou-se eficiente, no entanto é dependente das condições meteorológicas. A inativação de *E. coli* e coliformes totais nos ensaios realizados em dias com céu aberto entre dezembro e março, foi praticamente completa e evitou o recrescimento microbiano após 24 horas. A redução de *E. coli* e coliformes totais nesses ensaios foi superior a 6 e 4,8 unidade logarítmicas, respectivamente. A temperatura média do lodo ficou acima de 55°C por mais de 2 horas.

Em dias com céu encoberto a eficiência do reator não foi satisfatória, os baixos índices de irradiação solar comprometeram a elevação da temperatura do lodo.

Os resultados obtidos são promissores, e juntamente com o estudo de outros parâmetros podem viabilizar a utilização do processo como alternativa descentralizada de tratamento de lodo, com grande aplicabilidade no meio rural, condomínios, bairros, ou mesmo, pequenas cidades, ressaltando-se a importância da utilização de tecnologias que façam o uso de energia limpa no setor de saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AITKEN, M. D.; SOBSEY, M. D.; BLAUTH, K. E.; SHEHEE M.; CRUNK, P. L. and WALTERS, G. W. Inactivation of *Ascaris suum* and Poliovirus in biosolids under thermophilic anaerobic digestion conditions. **Environ. Sci. Technol.**, v. 39, p. 5804-5809, jun.2005.
2. ALTERTHUM, F.; CARVALHAL, M. L. Controle de microrganismos. In: TRABULSI, L. R. *et al.*. **Microbiologia**. 3. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1999.
3. ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2. ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001.

4. ARTHURSON, V. Proper sanitization of sewage sludge: a critical issue for a sustainable society. **Applied and Environmental Microbiology**, v.74, n.17, p.5267–5275, sept. 2008.
5. BEZERRA, A. M. **Aplicações térmicas da energia solar**. 2a ed. João Pessoa: Ed. Universitaria UFPB, 1986.
6. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375**. Brasília, 2006, 32p.
7. COLLE, S. (Org.); PEREIRA, E. B. (Org.). **Atlas de Radiação Solar do Brasil**. Brasília: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 1998. 65 p.
8. FOGOLARI, O. **Desinfecção de lodo de tanque septico em reator com aquecimento solar**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
9. HAUG, R. T. **The practical handbook of compost engineering**. Boca Raton: Lewis, 1993.
10. LANG, N. L.; SMITH, S. R. Time and temperature inactivation kinetics of enteric bacteria relevant to sewage sludge treatment processes for agricultural use. **Water Research**, v. 42, n. 8-9, p. 2229-2241, apr. 2008.
11. MOCÉ-LLIVINA, L.; MUNIESA, M.; PIMENTA-VALE, H.; LUCENA, F.; JOFRE, J. Survival of Bacterial Indicator Species and Bacteriophages after Thermal Treatment of Sludge and Sewage. **Applied and Environmental Microbiology**, vol. 69, n. 3, p. 1452-1456, mar. 2003.
12. SIMONETI, M. F. **Inativação térmica de ovos de helmintos em água e em bio sólidos digeridos: cinética em reator batelada e modelagem matemática em reator tubular**. 2006. 251 f. Tese (Doutor em Engenharia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
13. SPINKS, A. T.; DUNSTAN, R.H.; HARRISON, T.; COOMBES, P.; KUCZERA, G. Thermal inactivation of water-borne pathogenic and indicator bacteria at sub-boiling temperatures. **Water Research**, v.40, 2006, p.1326–1332.
14. VENGLOVSKY, J.; MARTINEZ, J.; PLACHA, I. Hygienic and ecological risks connected with utilization of animal manures and biosolids in agriculture. **Livestock Science**, 102, p.197–203, 2006.
15. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. **Vol. 4: Excreta and greywater use in agriculture**. Geneva: WHO. 2006. 182 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Nacional da Saúde pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desse trabalho e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC.