

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

III-015 - USO DE BIOGÁS NA DESINTEGRAÇÃO DO LODO DE ESGOTO ANAERÓBIO

Milene França

Eng. Civil (EESC-USP), MSc. em Engenharia Ambiental (UFSC), Integrante do Grupo de Coordenação do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto, pesquisadora bolsista pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Cleverson Vitório Andreoli

Eng. Agrônomo, Dr. em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), Professor da UFPR e da FAE Business School, Eng. de Desenvolvimento e Coordenador Técnico do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto e do Programa Interdisciplinar de Pesquisas de Gerenciamento de Mananciais da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Andréia Cristina Ferreira

Eng. Agrônoma, MSc. em Agronomia, Doutoranda em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), Integrante do Grupo de Coordenação do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto e do Programa Interdisciplinar de Pesquisas de Gerenciamento de Mananciais, pesquisadora pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Cristina Rincon Tamanini

Eng. Agrônoma, Mestranda bolsista pela Universidade Federal do Paraná – UFPR/CNPQ; Integrante do Grupo de Coordenação do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto e do Programa Interdisciplinar de Pesquisas de Gerenciamento de Mananciais, pesquisadora pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR/GECIP.

Endereço do autor principal: SANEPAR/GECIP R. Engenheiros Rebouças, 1376 – Rebouças – Curitiba / PR CEP: 80215-900 – Brasil - Tel: +55(41) 330-3238 – Fax: +55(41) 333-9952.

c.andreoli@sanepar.com.br**RESUMO**

O resíduo produzido em estações de tratamento de esgoto, denominado genericamente de lodo de esgoto, é um problema de âmbito mundial. Estes resíduos necessitam de uma destinação final segura, tanto ambientalmente como sanitariamente. A gestão do lodo de esgoto é bastante complexa e representa entre 20% e 60% dos custos operacionais de uma estação de tratamento. Apesar disto, o planejamento e o destino final destes resíduos são bastante negligenciados nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil (ANDREOLI e PINTO, 2001).

O presente trabalho avalia os efeitos do aumento da temperatura, obtido através da queima do biogás gerado no tratamento anaeróbio tipo RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado), na desinfecção e na biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio estabilizado oriundo deste reator. O tratamento térmico é realizado visando a redução de patógenos, especificamente ovos de helmintos e, principalmente, o aumento da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto através da hidrólise térmica. Essa alternativa tem a finalidade de diminuir a produção de lodo de esgoto com o retorno do lodo termohidrolisado ao RALF, para sofrer maior degradação e conseqüentemente aumentar a produção de biogás, diminuindo assim seu volume final e os impactos ambientais e econômicos advindos da destinação final deste resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto anaeróbio, tratamento térmico, uso de biogás, desinfecção de lodo e

biodegradabilidade térmica.

INTRODUÇÃO

A desintegração das células bacterianas do lodo viabiliza as reações de sua própria degradação e conseqüentemente gera energia para a biossíntese. A presença dessas células no lodo ajuda o crescimento de bactérias anaeróbias que agilizam a degradação do mesmo, promovendo uma melhoria da sua biodegradabilidade e aumento na produção de metano (DOHÁNYOS et al., 1999).

O tratamento anaeróbio do excesso de lodo desintegrado apresenta duas vantagens. A digestão do excesso de lodo desintegrado no reator, reduzindo a sua produção e aumentando a produção de biogás. O segundo efeito é uma acelerada degradação do lodo desintegrado. Os resultados da degradação do lodo com a biodisponibilidade aumentada pode ser atingida em tempos curtos de digestão (LEHNE et al., 1999).

Além de promover a desintegração do lodo com a finalidade de minimizar sua produção através do retorno do lodo ao RALF, a utilização da temperatura nesse processo (hidrólise térmica) é importante quando o destino final desse lodo for a utilização na agricultura, pois a associação de tempo e temperatura ajudam na inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo sendo os agentes patogênicos mais resistentes. Estudos feitos por FERREIRA (2001), utilizando o biogás produzido no mesmo sistema mostrou eficiência e viabilidade na sua utilização, obtendo ótimos índices de sólidos no lodo e grande redução na viabilidade de ovos de helmintos.

Diante desse enfoque, o presente trabalho avalia os efeitos do aumento da temperatura, obtido através da queima do biogás gerado no tratamento anaeróbio tipo RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado), na desinfecção e na biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio estabilizado oriundo deste reator. O tratamento térmico visa a redução de patógenos, especificamente ovos de helmintos e, principalmente, o aumento da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto através da hidrólise térmica. Essa técnica alternativa tem a finalidade de diminuir a produção de lodo de esgoto com o retorno do lodo termohidrolisado ao RALF, para sofrer maior degradação e conseqüentemente aumentar a produção de biogás, diminuindo assim seu volume final e minimizando os problemas no processo operacional das estações de tratamento, dos custos de disposição, higienização, secagem e dos impactos ambientais advindos da destinação final deste resíduo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Todo o aparato experimental foi instalado na ETE-Guaraituba, situada na região metropolitana de Curitiba no município de Colombo-PR.

A população de projeto da estação é de 64.125 habitantes, mas, durante a execução do experimento a população atendida era de 26.325 habitantes, apresentando uma vazão de entrada de 46,88 L/s, com um tempo de detenção dentro do digestor de aproximadamente seis horas.

O tratamento de esgoto coletado é feito por digestão anaeróbia, em sistema RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado) que recebe e trata esgoto essencialmente doméstico.

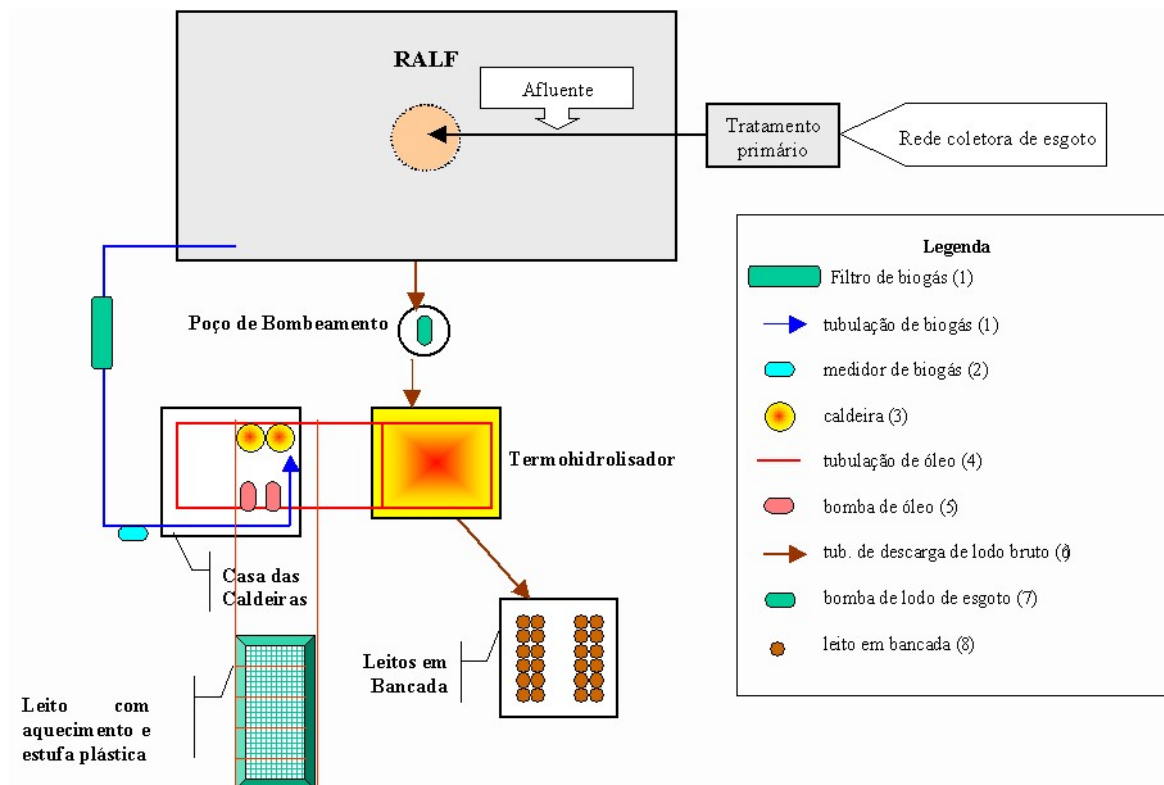
O aparato experimental utilizou o sistema de aquecimento aproveitando o biogás produzido na própria estação.

Processo esquemático do aparato experimental

O aparato experimental consistiu na captação do biogás (1) gerado no reator tipo RALF, localizado na ETE de Guaraituba; o volume de biogás utilizado foi medido diariamente através de um medidor de biogás (2). O biogás foi queimado em duas caldeiras tipo residencial (3), que funcionavam em série e esquentavam o óleo térmico que circulava dentro de uma tubulação de cobre (4) com auxílio de duas bombas (5). A tubulação de óleo térmico aquecido pelo biogás passava nas paredes internas de uma estrutura de concreto denominado termohidrolisador. Foi dada uma descarga de lodo bruto (6) dentro do termohidrolisador através de uma bomba (7) localizada no poço de distribuição de lodo da ETE. O lodo era então agitado através do misturador para distribuir o calor e homogeneizar a temperatura. A

figura 01 mostra o esquemático do aparato experimental.

Figura 01 - Esquemático do aparato experimental



O tanque termohidrolisador de lodo foi construído em concreto com largura interna de 2,60 x 2,60 x 2,20 m, correspondendo a um volume total de lodo de 15 m³ (conteúdo de um leito de secagem de 5,00 x 10,00 x 0,30 m de camada de lodo). Em seu interior foram instalados uma serpentina de cobre (passagem de óleo aquecido) e um agitador helicoidal para promover a homogeneização da massa de lodo e da temperatura, melhorando as trocas térmicas.

Figura 02 – Termohidrolisador de lodo mostrando em detalhe a tubulação de entrada e retorno do lodo.



Captação do biogás e aquecimento do óleo térmico

O biogás produzido pelo RALF foi canalizado em tubos de PVC, de 50 mm de diâmetro, para ser transportado do RALF até o sistema de aquecimento, constituído por dois aquecedores (aquecedor tipo doméstico à gás) ligados em série (figura 03), possibilitando um maior aquecimento do óleo térmico, pois o mesmo sofreu um duplo efeito da temperatura, podendo, também, serem ligados separadamente ou em paralelo.

Figura 03 - Caldeiras de aquecimento de óleo através do biogás e bombas de circulação



Os aquecedores foram alimentados pelo biogás e tiveram a função de aquecer o óleo térmico (figura 04). Cada aquecedor a gás tem capacidade para 200 litros, porém seu reservatório foi retirado e uma serpentina de cobre foi inserida no local, não existindo assim "reserva" de óleo quente, pois o mesmo era constantemente aquecido e recirculado no sistema, através de duas bombas elétricas de 3CV, as quais funcionavam alternadamente durante o dia e à noite, evitando assim o super aquecimento das mesmas. Os tubos de cobre para a passagem de óleo aquecido são de $\frac{3}{4}$ " diâmetro.

Figura 04 - Detalhe da queima do biogás dentro da caldeira.



Medidores de biogás

Os medidores são da marca LAO, modelo G-6, código GA2020, do tipo volumétrico por diafragma apto para a

medição de consumo de gás natural, GLP, manufaturado e outros gases como o biogás.

A leitura do biogás foi acompanhada diariamente durante todo o período de avaliação do experimento da termohidrólise, como forma de verificar as diferenças existentes entre os picos de maior utilização da estação de tratamento. Sempre que possível esse monitoramento foi realizado 24 horas com leitura a cada uma hora. Porém, como o processo ainda não é informatizado a leitura teve que ser realizada manualmente, o que dificultou em alguns dias a leitura completa (24 horas).

Figura 05 - Medidor para leitura de biogás e acompanhamento da produção do biogás no medidor instalado na saída do RALF.



Análises realizadas

O lodo de esgoto, oriundo do tratamento no RALF, foi conduzido para o tanque termohidrolisador de lodo, onde foi submetido ao aquecimento por um período de 30 dias.

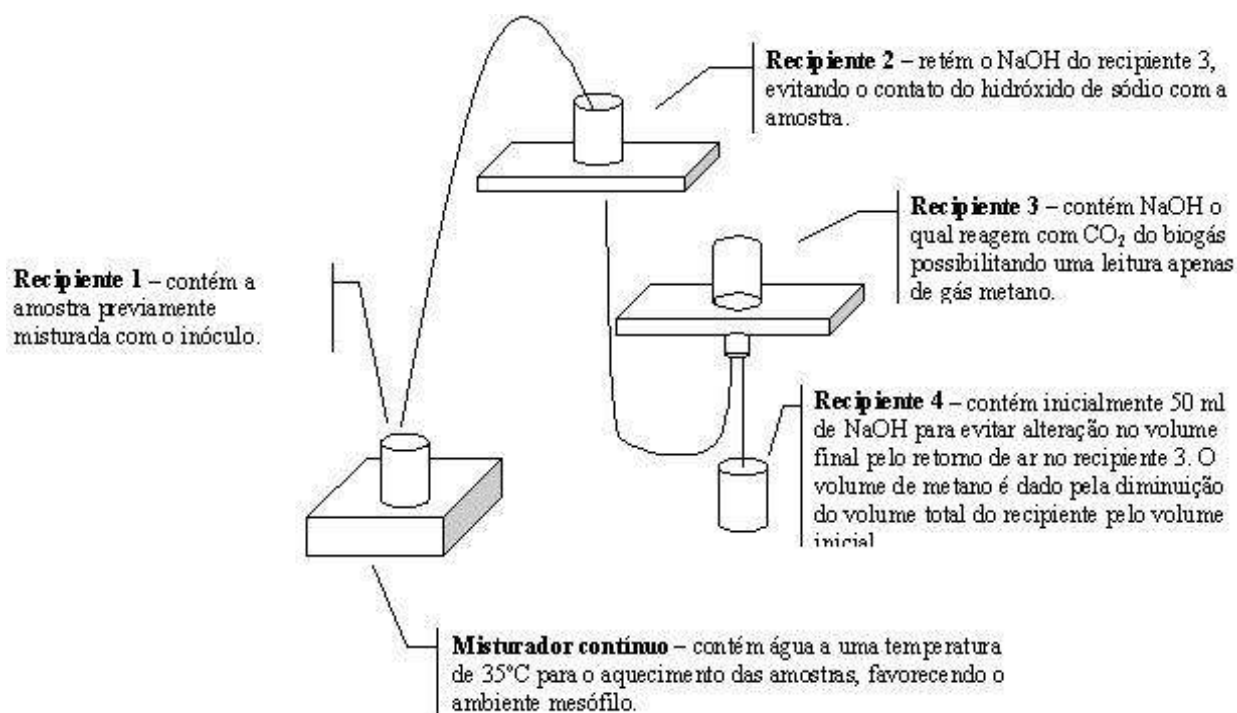
Foram feitas 12 coletas do material para a realização das análises, com intervalos menores no início do experimento e coletas mais espaçadas até o período final de avaliação (30 dias). As amostras foram coletadas de forma estratificada dentro do termohidrolisador, com profundidades de 2,50, 1,20 e 0,50 metros, através de um coletor com capacidade de 1 litro. As análises realizadas durante o período de aquecimento do lodo foram:

- Temperatura externa (acompanhamento informatizado 24 horas, com leituras a cada 10 minutos);
- Temperatura do lodo líquido dentro do termohidrolisador (acompanhamento informatizado 24 horas, com leituras a cada 10 minutos);
- Contagem e viabilidade de ovos de helmintos realizadas após 0, 24, 48, 72, 96, 120, 240, 360 e horas do início do experimento. Estas análises tiveram por objetivo a caracterização dos níveis de contaminação do lodo discriminando o número e viabilidade de ovos de helmintos. A metodologia foi realizada conforme descrito por YANKO (1987) modificada por THOMAZ-SOCCOL (1998);
- Umidade do lodo com amostragens realizadas após 0, 72, 120, 240, 360 e 720 horas do início do experimento. As análises para determinação do teor de umidade foram realizadas na própria ETE, com termostato da estufa laboratorial regulado para 105°C e uso de cadinhos de porcelana. A metodologia é proposta pelo STANDARD METHODS (1998).
- DQO total, solúvel e DBO₅ foram realizadas com amostras de 0, 72, 120, 240, 360 e 720 horas após o início do experimento. A metodologia utilizada foi proposta pelo STANDARD METHODS (1998).
- Sólidos voláteis e suspensos foram realizados com amostras de 0, 24, 32, 48, 56, 72, 80, 96, 120, 240, 360 e 720

horas após o início do experimento. A metodologia utilizada foi proposta pelo STANDARD METHODS (1998).

- **Teste de biodegradabilidade:** Para as análises de digestão do lodo termohidrolisado, as amostragens realizadas foram de 0, 24, 32, 48, 56, 72, 80, 96, 120, 240, 360 e 720 horas após o início do experimento, totalizando 12 amostras. A metodologia utilizada foi desenvolvida por WEISS (WEISS et al., 2003). Para realização dos testes as amostras foram preparadas com a utilização de 40% de inóculo, calculados em função da concentração de sólidos voláteis de cada um. A concentração de sólidos voláteis da amostra foi ajustada para 20 gSV/l, posteriormente foram tomados 40% de inóculo, totalizando uma concentração de 8,0 gSV/l para o inóculo. As amostras foram preparadas em recipientes de vidro com 300 ml (recipiente 1) onde foi adicionado gás nitrogênio para garantir a ausência de oxigênio, que prejudicaria a reação anaeróbia desejada. Posteriormente os recipientes foram fechados e colocados em um misturador contínuo (shaker) sob uma temperatura de 35°C para a obtenção de um ambiente mesófilo adequado para a produção de biogás. A estes recipientes (1) foram conectados tubos para a captação do biogás gerado pelas amostras, os quais foram conectados a um segundo recipiente vazio (recipiente 2) de onde sai outro tubo de conexão com um terceiro recipiente contendo NaOH (recipiente 3). A finalidade do recipiente 2 é de reter o NaOH que eventualmente poderia retornar do recipiente 3. O recipiente 3 com NaOH, ao formar biogás, libera seu conteúdo em um quarto recipiente (recipiente 4) contendo uma quantidade inicial de NaOH de 50 ml. O NaOH do recipiente 3 reage com o CO₂ existente no biogás, produzido no recipiente 1, fazendo com que somente a leitura do gás metano fosse realizada. Finalmente foram realizadas leituras periódicas de produção de gás metano diminuindo o total coletado no recipiente 4 do valor inicial de 50 ml até chegar a uma produção praticamente nula, concluindo a curva de produção de biogás da amostra. O procedimento do teste pode ser visualizado na figura 06.

Figura 06 - Esquemático da análise de biodegradabilidade do lodo de esgoto



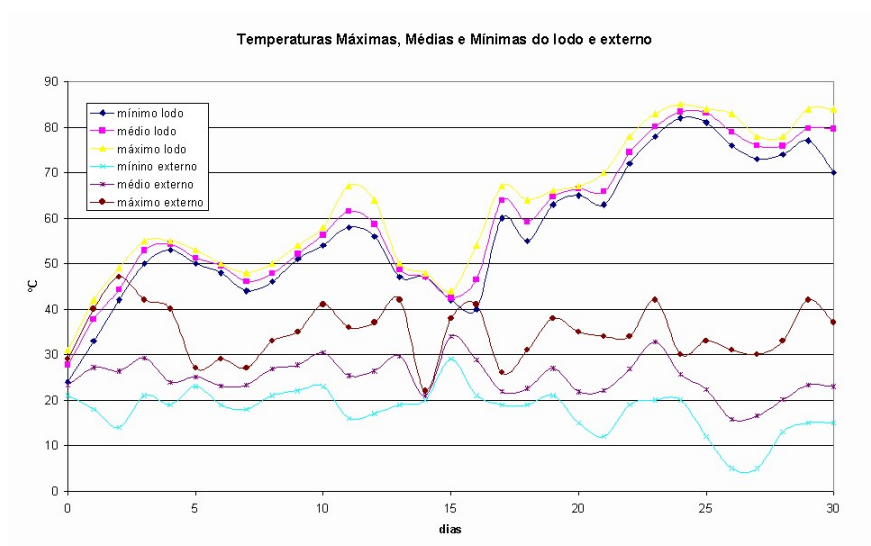
- Após trinta dias dentro do termohidrolisador, o lodo foi retornado ao RALF e foram avaliados os parâmetros, DBO, DQO, coliforme fecais, nitrogênio total, fósforo total, pH, temperatura e série de sólidos do efluente e do afluente do RALF, no dia do retorno e após 1 e 2 dias do retorno. Foram também coletadas amostras do afluente e efluente do RALF, 1 e 2 dias antes da descarga do lodo para servir como amostra de controle. A metodologia utilizada foi proposta pelo STANDARD METHODS (1998).

RESULTADOS

Temperaturas externas e internas do termohidrolisador

As temperaturas externas obtidas foram medidas ao ar livre no local do experimento (município de Colombo) e as temperaturas internas obtidas no experimento foram medidas dentro do termohidrolisador, no meio da massa de lodo sob aquecimento. As temperaturas externas e internas medidas estão indicadas na Figura 07.

Figura 07 – Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias do lodo dentro do termohidrolisador e externamente, ao ar livre.



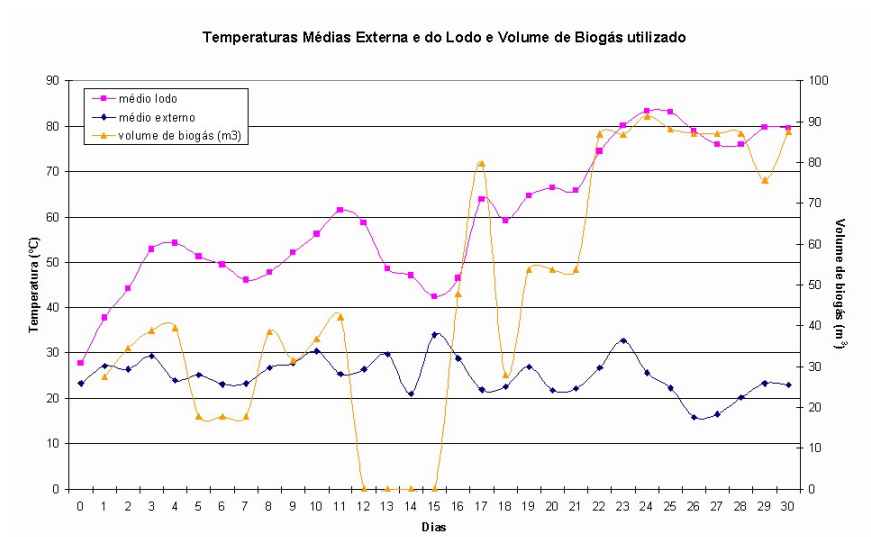
Observa-se que as temperaturas máximas, médias e mínimas do lodo dentro de termohidrolisador sofreram um aumento durante os primeiros 11 dias chegando a 67°C; após esse período houve uma queda na temperatura devido ao sistema ter sido desligado para se efetuar a manutenção e a limpeza do equipamento. Após essa interrupção a temperatura voltou a elevar e chegou ao seu máximo de 85°C do 24º dia do experimento.

Nota-se que não existe grande influência da temperatura externa no aumento ou diminuição das temperaturas do lodo no termohidrolisador.

Volume de biogás utilizado

O volume total de biogás utilizado foi de 1437,41 m³ e a média diária foi de aproximadamente de 47,91 m³/dia, porém como já foi dito no 12º dia do experimento o sistema foi desligado, diminuindo assim a média diária e a temperatura do lodo durante esse período.

Figura 08 - Temperaturas médias externa e do lodo e volume de biogás utilizado



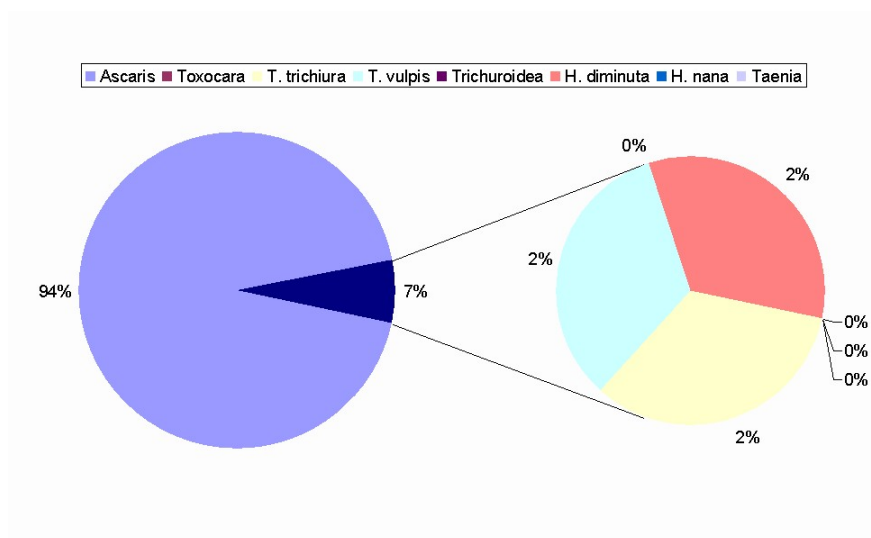
Percebe-se pela figura 08 que o volume de biogás utilizado pelo sistema está influenciando na temperatura do lodo, isso é melhor visualizado a partir do 23º dia, quando o sistema consegue atingir uma estabilidade.

Avaliação da redução dos agentes patogênicos do lodo

Segundo FERREIRA (2001) quando os ovos de helmintos forem eliminados do lodo outros organismos patogênicos como bactérias, também estarão controlados, pois os ovos de helmintos apresentam elevada resistência, podendo sobreviver por até sete anos no solo (SANEPAR, 1998).

Na Figura 09 encontram-se as espécies e porcentagens de ovos de helmintos presentes na amostra de controle.

Figura 09 – Espécies e porcentagem em relação ao total de ovos de helmintos viáveis encontrados na amostra de controle (0 hora)

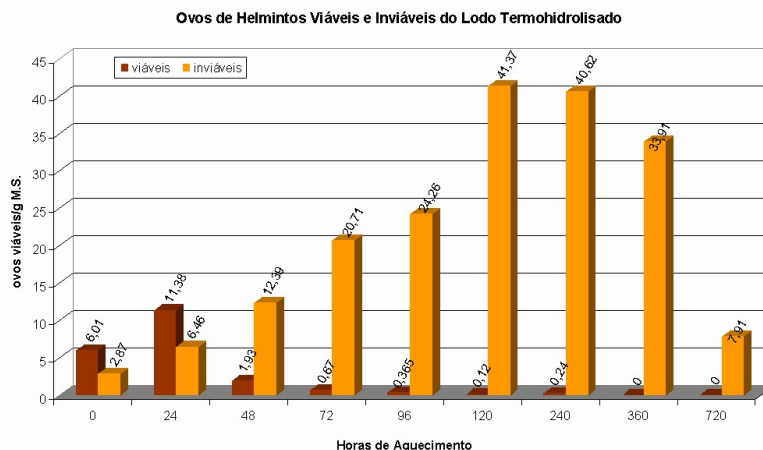


Observa-se pela Figura 09 a grande predominância dos ovos de *Ascaris* sp. viáveis encontrados na amostra de 0 hora, que representam 94% de todos os ovos viáveis encontrados na amostra. A predominância de ovos de *Ascaris* sp. no lodo de esgoto também foi observada em levantamento realizado por THOMAZ-SOCCOL et al. (1998) na região metropolitana de Curitiba e por CHERUBINI (2002) em estudo realizado na mesma Estação de Tratamento.

A figura 10 demonstra a quantidade de ovos de helmintos viáveis e inviáveis nas amostras de lodo durante o seu

período de permanência dentro do reator.

Figura 10 – Ovos de helmintos totais e viáveis de por grama de matéria seca



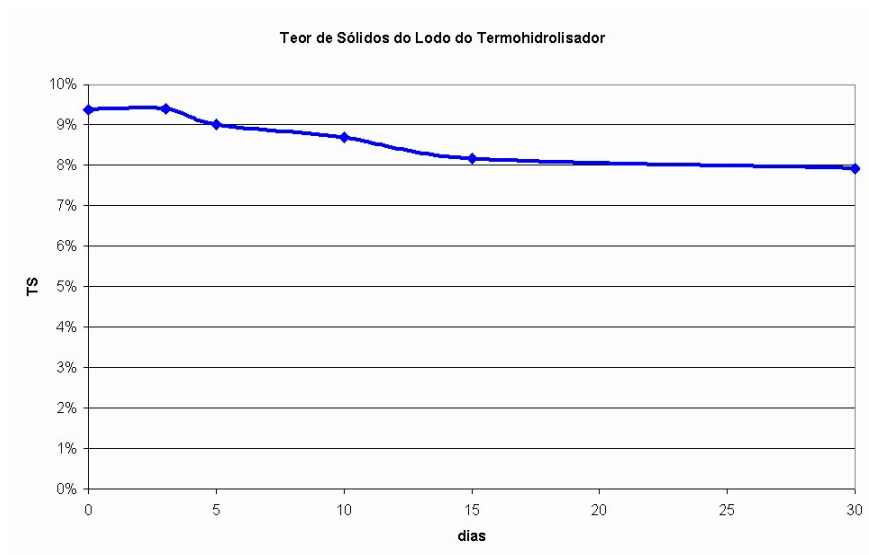
Observa-se na Figura 10 que os ovos de helmintos, tanto viáveis quanto totais, aumentaram de 0 hora para a de 24 horas do experimento, isto pode ser explicado pela dificuldade na coleta da primeira amostra (0 hora), devido ao grande teor de umidade do lodo bruto (90,62%), o que facilita a dispersão dos ovos, podendo estes ainda estar concentrados e aderidos às partículas sólidas, pois segundo REY (1991) os ovos tendem a ficar agrupados entre si e/ou aderidos a sólidos; além da dificuldade em se ter uma boa caracterização da amostra considerando a grande quantidade de lodo disposto no termohidrolisador (15 m³). Pode-se também citar que nenhuma metodologia disponível garante 100% de recuperação dos ovos eventualmente presentes nas amostras processadas (FERREIRA, 2001; ZERBINI et al., 1999). Segundo CASTIÑEIRAS e MARTINS (2002) é necessário a adoção de pelo menos três metodologias diferentes para a análise parasitológica das fezes, com o objetivo de detectar ovos pesados, ovos leves e larvas, minimizando assim os erros de detecção.

Observa-se também que em 120 horas do experimento o número de ovos de helmintos viáveis por grama de matéria seca era de 0,12. Este valor é inferior ao permitido pela Instrução Normativa (IN) do IAP (FERNANDES, 1999) e pela EPA (1992) (0,25 ovo de helminto viável por grama de matéria seca). Em 360 horas, o número de ovos de helmintos viáveis chegou a 0 e permaneceu nesse valor na amostra de 720 horas, mostrando a eficiência do processo na higienização do lodo.

Teor de umidade do lodo

Na Figura 11 têm-se os valores do teor de sólidos do lodo dentro do termohidrolisador durante o período de monitoramento.

Figura 11 – Teor de sólidos do lodo do termohidrolisador durante o experimento



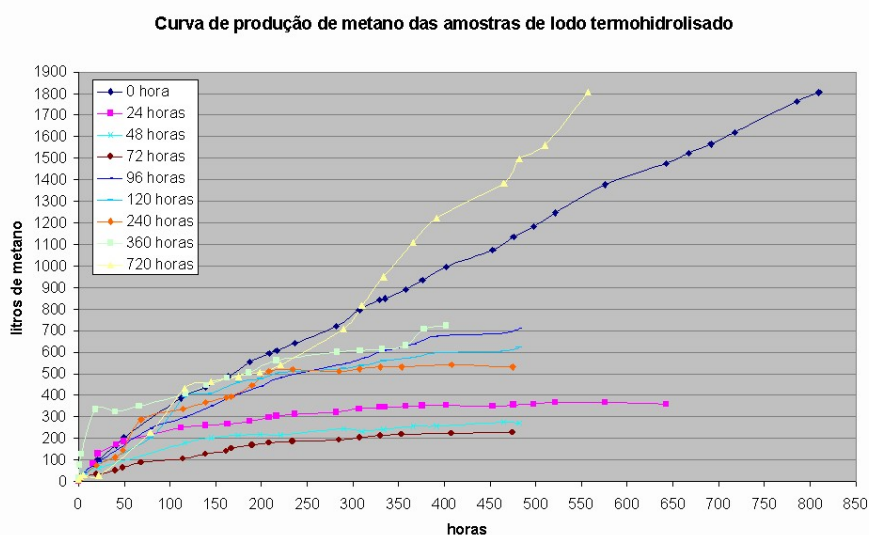
Observa-se que não houve uma grande mudança nos valores de teor de sólidos na massa de lodo do termohidrolisador durante todo o experimento, diminuindo em 1,45% entre a amostra de 0 e de 720 horas. A conservação da umidade do lodo é explicada pelo fato do sistema ser fechado e estar em constante revolvimento. O objetivo da conservação da umidade do lodo é preservar sua característica fluida para facilitar o seu retorno reator de tubulação de PVC e com auxílio de uma bomba.

Biodegradabilidade do lodo termohidrolisado

Para o estudo realizado foi efetuada a biodegradabilidade anaeróbia do lodo de controle (0 hora) e dos lodos tratados termicamente em laboratório para se obter o potencial de produção de metano das amostras de lodo.

Pode-se visualizar as curvas de produção média de metano de duas repetições de cada amostra na Figura 12.

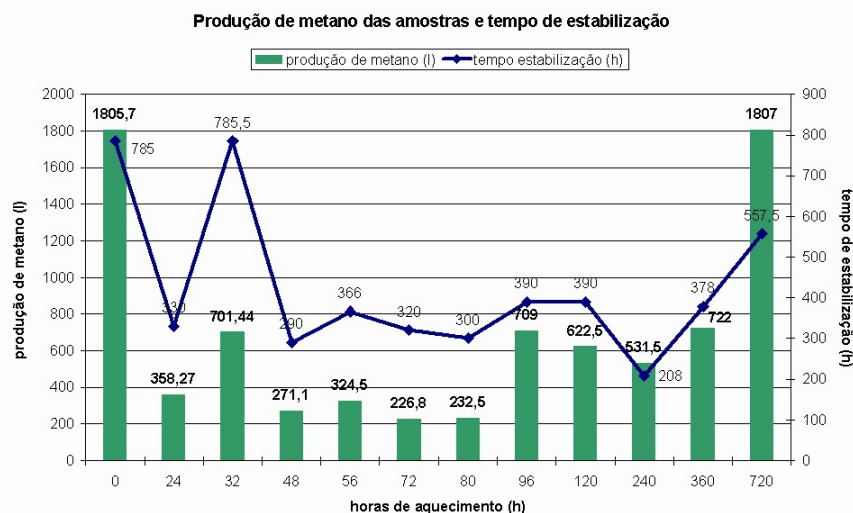
Figura 12 – Produção de gás metano do lodo bruto e termohidrolisado



Pela Figura 12 é possível perceber que houve uma piora nas curvas de produção de metano no início do experimento, porém, após 720 horas de aquecimento ocorreu uma melhoria na produção chegando a sua melhor curva.

A Figura 13 mostra o total de metano produzido e o tempo de estabilização para cada amostra de lodo.

Figura 13 – Produção total de gás metano e tempo de estabilização de cada amostra



Pode-se observar pela Figura 13 que a amostra de 720 horas foi a que obteve a maior produção de biogás. A produção de metano da amostra de 720 horas foi 0,07% superior a produção da amostra de 0 hora, demonstrando um pequeno aumento da produção após 720 horas de tratamento térmico.

Esta porcentagem de aumento foi inferior a encontrada no estudo realizado por HAUG et al. (1978) sobre tratamento térmico de lodo de esgoto a 175°C, onde após a digestão do lodo tratado ocorreu um aumento de 30% na produção de metano quando comparado com o lodo digerido não tratado. HIRAOKA et al. (1985) também concluíram em estudo realizado sobre tratamento térmico de lodo de esgoto em baixas temperaturas (60-80°C) que ocorreu um aumento de 30% na produção de metano do lodo tratado termicamente em relação ao controle.

WANG et al. (1997) compararam a produção de metano entre amostras de lodo tratado termicamente em diferentes temperaturas (60, 100 e 120°C) e observaram que o total de metano gerado no lodo tratado termicamente em alta temperatura (120°C) foi pouco superior aos demais tratamentos (60 e 100°C). Concluíram então que o tratamento térmico de lodo em baixas temperaturas é considerado absolutamente usual e supre as necessidades na digestão do lodo pré-tratado. Observaram também um crescimento de 30-52% na geração de metano para o lodo tratado termicamente e que o tratamento térmico não precisa ser rigorosamente realizado em temperaturas constantes, mas deve ser mantida em temperaturas na faixa de 60-100°C.

Segundo LI e NOIKE (1992) o tratamento térmico do lodo em temperaturas entre 60 e 80°C aumenta a produção de gás metano, mas o aumento dessa produção é bem maior em tratamentos térmicos em temperaturas superiores a 100°C.

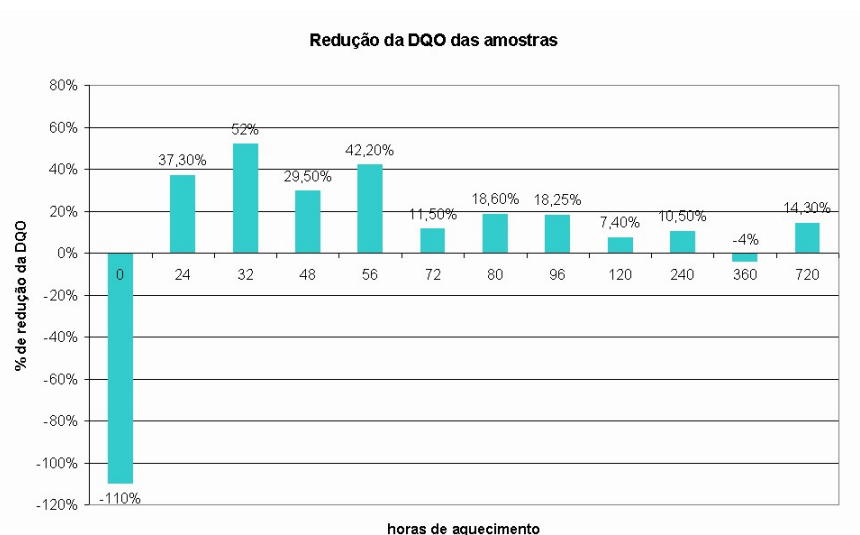
O pequeno aumento da produção de metano na amostra de 720 horas considerando os estudos citados pode ser devido ao período de desaquecimento que o lodo sofreu entre os dias 11 e 16 para efetuar a manutenção do sistema. Estudo realizado no mesmo local por FRANÇA (2002) com o aquecimento constante do lodo sem interrupção demonstrou um aumento na produção de metano em relação ao controle, superior aos estudos citados, para a amostra que permaneceu 72 horas sob efeito da temperatura.

A diminuição na produção de metano das demais amostras pode ter ocorrido pela formação de substâncias inibidoras ou de compostos refratários, o que também foi observado no estudo realizado por HAUG et al. (1978), os quais notaram um crescimento constante na produção de metano até chegar à sua máxima produção para o lodo tratado em temperatura de 175°C; depois ocorreu um decréscimo na produção de metano para os lodos tratados em temperaturas superiores.

Pela figura 13 também percebe-se que apesar da produção de metano da amostra de 720 horas ser próxima a de 0 hora, o tempo necessário para essa produção foi 29% inferior a amostra de controle, demonstrando uma maior facilidade de degradação da amostra.

Além dos dados de produção de metano também foram obtidos, através do teste de biodegradabilidade do lodo, a degradação da DQO após a realização da análise, como pode ser visualizado na figura 14.

Figura 14 – Degradação da DQO das amostras de lodo após o teste de biodegradabilidade.



Pela figura 14 percebe-se que apesar da amostra de 0 hora ter uma produção de biogás superior a diversas amostras, esta não tem uma redução da DQO, após a realização do teste e sim um aumento de 110% na sua concentração final, provavelmente devido a um erro amostral, enquanto a maioria das amostras que sofreram efeito da temperatura teve redução da DQO, chegando a 52% para a amostra de 32 horas, sendo que a única amostra de lodo termicamente tratado que teve um aumento da concentração da DQO foi a de 360 horas de tratamento.

DQO total e solúvel

Na Tabela 01 mostra o valor da DQO total e solúvel e a taxa de solubilização das amostras de lodo pelo seu tempo de aquecimento.

Tabela 01 – DQO total e solúvel e taxa de solubilização da DQO das amostras

AMOSTRA (tempo de aquecimento)	DQO total (mg/l)	DQO solúvel (mg/l)	DQOs/DQOt
0	23410,73	438,25	1,87
72	33546,68	431,75	1,29
120	37169,16	2540,86	6,84
240	39048,72	2622,17	6,72
360	43971,90	4240,02	9,64
720	45952,02	4915,59	10,70

Percebe-se um crescimento da taxa de solubilização de DQO a partir da amostra de 120 horas, chegando ao seu máximo na amostra de 720 horas, com a taxa de 10,70%, o que representa um aumento de 5,71 vezes quando comparado à amostra de 0 hora. Observando-se todos os dados, se percebe que a taxa de solubilização teve uma tendência ao crescimento durante todo o experimento.

Este aumento da taxa de solubilização representa uma conversão, após o tratamento térmico, de compostos não solúveis em compostos solúveis de maior acessibilidade aos microrganismos na digestão anaeróbia.

DOHÁNYOS et al. (1999) concluíram em seu estudo sobre tratamento térmico de lodo de esgoto que a taxa de solubilização da DQO cresce conjuntamente com o aumento da temperatura.

Nota-se também pela tabela 01, um crescimento tanto da DQO total quanto da DQO solúvel durante todo o período de monitoramento.

DBO

A DBO está diretamente ligada a quantidade de matéria orgânica presente no material analisado e está associada à fração biodegradável dos compostos orgânicos carbonáceos. A relação DQO/DBO nos mostra a fração de material biodegradável e inerte da amostra analisada. Sendo que quanto maior for a relação, maior será a fração inerte da amostra e quanto menor for a relação, maior será a fração biodegradável da amostra. Pela tabela 02 é possível visualizar os valores da DBO e da relação DQO/DBO encontrados para as amostras de lodo, pelo seu tempo de permanência dentro do termohidrolisador, sob efeito da temperatura.

Tabela 02 – DBO e relação DQO/DBO das amostras

AMOSTRA (tempo de aquecimento)	DBO (mg/l)	DQO/DBO
0	10050,00	2,33
72	11970,68	2,80
120	7466,67	4,98
240	6133,33	6,37
360	7866,67	5,59
720	15812,00	2,91

Pela tabela 02 percebe-se que houve uma inconstância nos valores de DBO encontrados e que a relação DQO/DBO aumentou até chegar ao seu maior valor na amostra de 240 horas, e após isso ocorreu uma diminuição até chegar a amostra de 720 horas, porém o valor dessa amostra ainda foi superior à da amostra de 0 hora. Isso pode demonstrar uma maior concentração de elementos inertes em relação aos biodegradáveis após o aquecimento do lodo.

Sólidos suspensos totais e voláteis

Na Tabela 03 é possível visualizar os valores de sólidos suspensos totais e voláteis para as amostras de lodo, pelo seu tempo de permanência dentro do termohidrolisador, sob efeito da temperatura.

Tabela 03 – Sólidos Totais, Voláteis e Suspensos Totais e Voláteis das amostras

AMOSTRA (tempo de aquecimento)	ST (g/l)	SV (g/l)	SST (g/l)	SSV (g/l)	SV/ST	SSV/SST
0	73,79	30,66	72,15	29,55	41,55	40,96
24	78,70	32,10	62,01	22,23	40,79	35,85
32	90,50	37,50	76,35	28,26	41,44	37,01
48	90,40	34,50	77,57	29,50	38,16	38,03
56	91,00	32,70	79,89	29,08	35,93	36,40
72	95,00	29,99	68,46	26,38	31,57	38,53
80	93,00	30,14	74,37	27,06	32,41	36,39
96	97,00	28,18	63,38	25,20	29,05	39,76
120	89,00	27,49	33,96	12,91	30,89	38,02
240	84,00	27,74	66,29	21,28	33,02	32,10
360	76,50	25,30	32,53	10,19	33,07	31,32
720	73,09	27,76	31,10	8,83	37,98	28,39

Os sólidos suspensos voláteis representam a fração de sólidos suspensos que pode ser considerada como a fração

orgânica da biomassa (SPERLING, 1996).

Percebe-se pela Tabela 03 que ocorreu uma tendência de diminuição em relação ao controle tanto dos sólidos suspensos totais (SST), quanto dos sólidos suspensos voláteis (SSV).

Na Tabela 03 também é possível visualizar a relação entre os sólidos voláteis e totais e sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos totais, pelo seu tempo de permanência no termohidrolisador. Observa-se que tanto na relação de SV por ST quanto a de SSV por SST os valores diminuem quando comparado com o controle.

Monitoramento da eficiência DO RALF APÓS o retorno do lodo termohidrolisado.

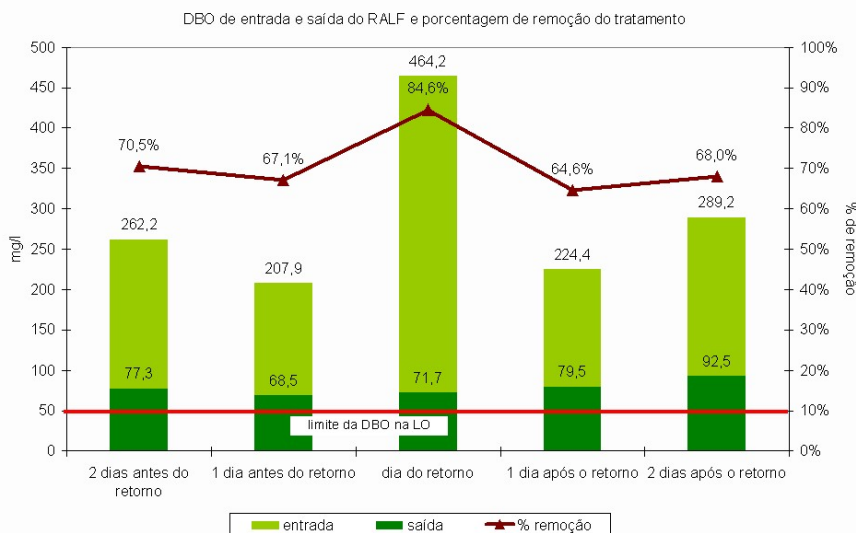
O lodo de esgoto anaeróbio estabilizado, após permanecer durante 720 horas sob efeito de uma temperatura média total de 59,86°C dentro do termohidrolisador, foi retornado ao RALF no no poço de elevação do esgoto, para se avaliar a eficiência do RALF após o retorno do lodo.

O volume do RALF é de 1300 m³ e a vazão no ato da descarga era de 200 m³/h. Através destes dados conclui-se que o tempo de detenção do RALF no ato da descarga era de 6,5 horas.

Descontando o volume de lodo do termohidrolisador utilizado nos leitos de secagem temos que aproximadamente 10 m³ de lodo termohidrolisado foram retornados para o RALF durante um período de 5,5 horas, totalizando uma carga de lodo no sistema de 1,82 m³/h. Foram coletadas 48 amostras, durante 48 horas, do efluente da Estação antes do retorno do lodo para nos dar uma amostragem de controle (1 e 2 dias antes da descarga). Após o retorno do lodo foram coletadas amostras a cada hora, através de um coletor automático, durante um período de 3 dias (dia da descarga, 1 e 2 dias após a descarga) para avaliar a eficiência do RALF.

A Figura 15 mostra a porcentagem de remoção da DBO, 1 e 2 dias antes da descarga, no dia da descarga, 1 e 2 dias após a descarga.

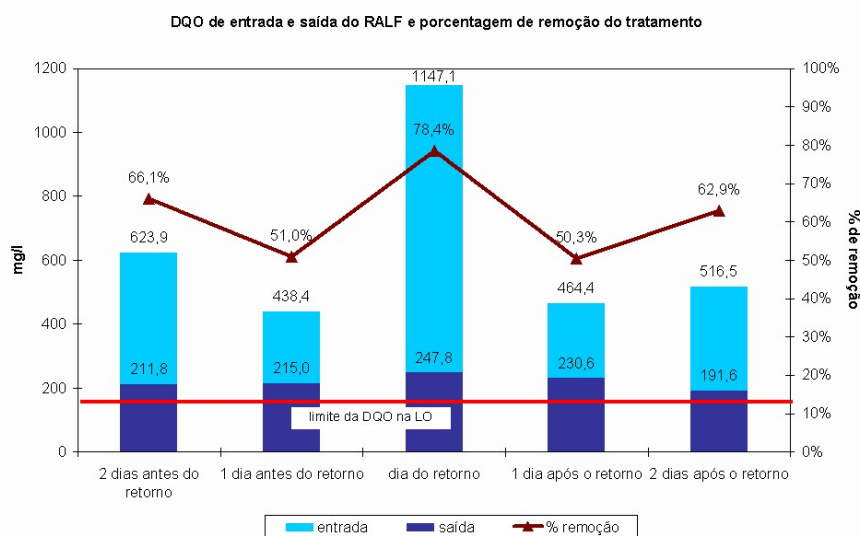
Figura 15 – Porcentagem de remoção de DBO₅, 1 e 2 dias antes e após retorno do lodo termohidrolisado.



Pode-se observar pela Figura 15 que no dia do retorno houve um aumento de 1,77 vezes na concentração de DBO de entrada, porém a eficiência do reator aumentou de 67,1% para 84,6% resultando em um efluente com 71,7 mg/l de DBO. Analisando o resultado de 2 dias antes e os 2 dias após o retorno percebe-se que este valor é inferior aos demais dias, excetuando-se o resultado de 1 dia antes do retorno. Apesar do valor ter sido superior ao limite estabelecido pela LO, percebe-se que o retorno do lodo não afetou o efluente final e que o lodo sofreu degradação dentro do reator pelo fato de seu efluente final não ser desproporcional aos demais dias monitorados.

A Figura 16 mostra a porcentagem de remoção da DQO, 1 e 2 dias antes da descarga, no dia da descarga, 1 e 2 dias após a descarga.

Figura 16 – Porcentagem de remoção de DQO do RALF, 1 e 2 dias antes e após retorno do lodo termohidrolisado



Pela figura 16 podemos perceber que também ocorreu um aumento de 2,61 vezes na concentração da DQO no afluente e que houve um aumento de 51,0% para 78,4% na eficiência do reator. Pelos dados obtidos também se percebe que do mesmo modo que ocorreu a degradação da DBO do lodo termohidrolisado dentro do reator, também ocorreu para a DQO.

Conclusões

De acordo com as condições monitoradas no experimento, pode-se concluir que:

- A temperatura alcançada pela massa de lodo dentro do termohidrolisador está diretamente relacionada com a quantidade de biogás utilizado, não havendo interferência relevante da temperatura externa.
- O tratamento térmico inviabilizou os ovos de helmintos presentes no lodo, aos níveis da Instrução Normativa do IAP e da EPA em 5 dias e em 15 dias houve a inviabilização de todos os ovos de helminto;
- Não houve uma grande mudança nos valores de teor de sólidos na massa de lodo do termohidrolisador durante todo o experimento, permanecendo na faixa de média de 8,20%;
- Verificou-se um decréscimo na produção de metano após o teste de biodegradabilidade do lodo tratado termicamente, possivelmente devido a pela formação de substâncias inibidoras ou de compostos refratários. Na amostra de 720 horas e última analisada ocorreu um aumento da produção de metano chegando a ser superior à produção conseguida na amostra de 0 hora, esse aumento pode ter ocorrido devido à influência apenas da temperatura ou do tempo em que o lodo permaneceu sob o efeito da mesma;
- Verificou-se um aumento da DQO total, solúvel e da taxa de solubilização da DQO após o tratamento térmico;
- Observou-se também uma inconstância nos resultados de DBO do lodo após tratamento térmico;
- A relação DQOs/DQOt do lodo aumentou durante o período de aquecimento (720 horas) demonstrando uma maior conversão em compostos solúveis mais facilmente degradáveis;
- A relação DQO/DBO do lodo sofreu um aumento até a amostra de 240 horas e um posterior decréscimo até chegar ao seu valor mínimo para a amostra de 720 horas, podendo demonstrar uma maior concentração de elementos inertes em relação aos biodegradáveis após o aquecimento do lodo;
- Após o retorno do lodo ao RALF, ocorreu um grande acréscimo das concentrações da DBO e da DQO do afluente, porém houve uma melhoria na porcentagem de remoção destes parâmetros dentro do reator, os quais chegaram ao efluente em valores próximos à média atingida normalmente.

É possível concluir que alguns parâmetros analisados indicaram um aumento da solubilização do lodo, porém diversos parâmetros demonstraram a diminuição da biodegradação do lodo. É necessário efetuar outras repetições e análises para se ter uma conclusão mais fundamentada sobre o que realmente acontece com o lodo após o aquecimento e como operacionalizar o termohidrolisador de modo que não prejudique os resultados finais objetivados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V.; PINTO, M.A.T. Introdução. In: ANDREOLI, C.V. (Coord). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro : RiMa/ABES, p.XXI-XXIV, 2001.
2. CASTIÑEIRAS, T.M.P.P.; MARTINS, F.S.V. Infecções por helmintos e enteroprotzoários. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ : centro de informação em saúde para viajantes – Cives. Disponível em <http://www.cives.ufrj.br/informes/hel-ou.pdf> Arquivo acessado em 2002.
3. CHERUBINI, C. Secagem e Higienização de Lodo de Esgoto Anaeróbico em Leitos de Secagem Através da Solarização. Tese, Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 128 p. 2002.
4. DOHÁNYOS, M.; et al. The intensification of sludge digestion by disintegration of activated sludge and thermal conditioning of anaerobic biomass. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON DISPOSAL AND UTILIZATION OF SEWAGE SLUDGE (1999 : Atenas). Anais. Atenas : IAWQ. p 113-120, 1999.
5. EPA. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge, UNDER 40 cfr PART 503. environmental Regulation and Technology, Ohio, 152 p., 1992.
6. FERNANDES, F.; LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto In Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções. Curitiba : SANEPAR, FINEP, 1999.
7. FERREIRA, A. C. Monitoramento do Uso de Estufa Plástica e Arpoveitamento do Biogás na Secagem e Desinfecção de Lodo Anaeróbico em Leito de Secagem. Curitiba, 98p. Tese, Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 2001.
8. FRANÇA, M. Avaliação da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbico termohidrolisado pelo uso de biogás. Florianópolis , 158p. Tese, Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, dezembro 2002.
9. HAUG, R.T.; STUCKEY, D.C.; GOSSETT, J.M; McCARTY, P.L.. Effect of thermal pre-treatment on digestibility and dewaterability of organic sludge, Wat. Sci. Tech. 26, 857-866, 1978
10. HIRAOKA, M.; TAKEDA, N.; SAKAI, S.; YASUDA, A. Highly Efficient Anaerobic Digestion with Thermal Pretreatment, Wat. Sci. Tech., 17, 529-539. 1985.
11. LI, Y.Y.; NOIKE, T. Upgrading of anaerobic digestion os waste activated sludge by thermal pretreatment. Wat. Sci. Tech. Vol 26, nº 3-4, p 857-866, 1992.
12. REY, L. Parasitologia – parasitos e doenças parasitárias do homem nas Américas e na África. Guanabara 2a edição, Koogan. 1991.
13. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto. Orgs - Cleverson V. Andreoli, Bárbara Rocha P. Bonnet – Curitiba : Sanepar, 1998.
14. SPERLING, M.V. Princípio básicos do tratamento de esgotos. In: Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 211 p. 1996.
15. Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater - APHA. 19ª Ed., American Public Health Association, Washibgton, D.C., 1998.
16. THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos Sanitários do Lodo de Esgoto. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BLOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, I., 1998, Curitiba. Anais... Curitiba: Sanepar/ABES. p.65-72, 1998.
17. WANG, Q.; NOGUCHI, C.; HARA, Y.; SHARON, C.; KAKIMOTO, K.; KATO Y. studies of anaerobic digestion mechanism: influence of pretreatment temperature on biodegradation of waste activated sludge. Environ. Techn., 18, 999-1008, 1997.
18. WEISS, M.; SIMÕES, R. C.;FRANÇA, M.; ANDREOLI, C. V.; BELLI FILHO, P.; SOARES, H. M.; CASTILHOS JR, A. B. Determinação da Biodegradabilidade de Lodos Anaeróbios Hidrolisados. XIV SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES. (Artigo submetido). Florianópolis, 5 a 8 de agosto de 2003.
19. YANKO, W.A., 1987. Ocurrance of pathogens in distribution and marketing municipal sludges. In: Environmental regulation and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Rapport U.S. EPA 625/R-92/013, 149. Washington : EPA, 1992.
20. ZERBINI, Adriana Molina; CHERNICHARO, Carlos A. de Lemos; VIANA, Evelin M. Estudo da Remoção de Ovos de Helmintos e Indicadores Bacterianos em um Sistema de Tratamento de Esgotos Domésticos por Reator Anaeróbico e Aplicação Superficial no Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20º, Rio de Janeiro-RJ. Anais... Rio de Janeiro : ABES. p.895-904, 1999.