

## II-447 - DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM SÉRIE NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

**Ruan Otávio Teixeira<sup>(1)</sup>**

Graduando em Tecnologia de Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN). Bolsista do Projeto Caatinga Viva.

**Carla Jéssica Rodrigues Sales**

Graduanda em Tecnologia de Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN). Bolsista do Projeto Caatinga Viva.

**Marco Antonio Calazans Duarte<sup>(2)</sup>**

Engenheiro civil, especialista e mestre em Engenharia Sanitária (UFRN/UFCG). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Engenheiro da Companhia de Águas e esgotos do RN (CAERN). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN), área de Recursos Naturais. Coordenador CAERN do Projeto Caatinga Viva.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Sílvia Bandeira de Melo, 468 – Parque de Exposições - Parnamirim - RN - CEP: 59.146-640 - Brasil - Tel: (84) 9670.5711 - e-mail: [gestaoambiental\\_ruan@hotmail.com](mailto:gestaoambiental_ruan@hotmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Avenida Bernardo Vieira, 4460 – Apartamento 101 – Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59.056-045 - Brasil - Tel: (84) 9988.7180 - e-mail: [marcoacd@gmail.com](mailto:marcoacd@gmail.com)

### RESUMO

No Brasil, assim como em vários países, são conhecidas e aplicadas várias técnicas de tratamento de esgotos, desde sofisticados sistemas até processos mais simples. Sistemas de lagoas de estabilização (SLE), por constituírem sistemas de operação e manutenção simplificadas são bastante utilizadas no País, dadas as boas condições meteorológicas e climáticas e a disponibilidade de grandes extensões de área para a implantação do sistema. O presente trabalho teve como objetivo diagnosticar o funcionamento de SLE em série localizado na cidade de Pendências/RN através de sua caracterização operacional e avaliação de eficiências de remoção de carga orgânica e bactérias indicadoras. Os resultados obtidos evidenciaram DBO bruta afluente a LFP e DBO do efluente tratado na LM II de 419 mg.L<sup>-1</sup> e 103 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, superiores aos adotados no projeto. O SLE exibiu eficiências de remoção de DBO de 75,4%, 66,1% de DQO e de 5,52 ulog de coliformes termotolerantes, comportamento semelhante ao de vários sistemas em escala real no RN. No entanto, a carga superficial (94 kg DBO. ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) e vazão (6,70 L.s<sup>-1</sup>) aplicadas ao sistema foram inferiores aos adotados no projeto, respectivamente 313 kg DBO.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> e 27,14 L.s<sup>-1</sup>, valores cerca de 27% e 25 % inferiores aos adotados no projeto. Em relação à eficiência de cada reator, LFP exibiu melhor performance na remoção de matéria orgânica, com eficiência de 67%. No entanto, a análise da cinética de degradação de matéria orgânica, admitindo que o reator funciona no regime de mistura completa ( $C = C_0/(1+kt)$ ), revelou que a constante de degradação de primeira ordem corrigida para a temperatura ambiente de 27 °C resultou em  $k_{27} = 0,102 \text{ d}^{-1}$ , valor que difere do adotado em projeto,  $k_0 = 0,276 \text{ d}^{-1}$  para  $DBO_{EB} = 333 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $DBO_{LFP} = 61,4 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $TDH_{LFP} = 16$  dias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas residuárias, tratamento de esgotos, lagoas de estabilização, matéria orgânica, coliformes termotolerantes.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em vários países, são conhecidas e aplicadas várias técnicas de tratamento de esgotos, desde sofisticados sistemas até processos mais simples. As lagoas de estabilização por constituírem sistemas de operação e manutenção simplificadas, são bastante utilizadas no Brasil, dadas as boas condições meteorológicas e climáticas e pela disponibilidade de grandes extensões de área para a implantação do sistema. A característica do esgoto a ser tratado depende da finalidade que a água foi submetida, ou seja, a situação econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 2002). A estabilização da matéria orgânica ocorre através do processo de simbiose entre as bactérias e as algas que realizam processos bioquímicos e físico-químicos (MIWA, 2007).

A implantação de sistemas de tratamento por lagoas de estabilização (SLE) visa atender principalmente a proteção e preservação ambientais pela remoção de DBO e a proteção da saúde pública pela inativação de microrganismos patogênicos. Dentre as vantagens que propiciam a implantação de lagoas de estabilização destacam-se a simplicidade e confiabilidade de operação, o alcance de qualquer grau de tratamento, capacidade de atenuação de choques de sobrecarga, ou seja, variações de vazões e carga orgânica, produzindo efluentes de fácil assimilação pelos corpos d'água (Von SPERLING, 2002). Em razão das elevadas concentrações de nutrientes eutrofizantes e densidade de cianobactérias observadas no efluente final, aliadas aos tempos de detenção hidráulica que geralmente ultrapassam 15 dias, lagoas de estabilização apresentam estes fatores como os principais limitantes para aplicação da tecnologia. Entretanto, estes dois fatores considerados como limitantes para aplicação da tecnologia, podem ser devidamente aproveitados como insumos para a fertirrigação (reuso agrícola) ou aquacultura.

Quando a manutenção não é realizada de forma adequada, esta pode comprometer o funcionamento do mesmo. Assim, descasos com atividades simples como remoção de vegetação e sobrenadante prejudicam a eficiência das lagoas de estabilização. Outro fator de relevância para o bom funcionamento e eficiência é a utilização de parâmetros de projeto que representem o real funcionamento dos reatores.

Para projetos em que os valores adotados para concentração de DBO e bactérias indicadoras revelam-se inferiores aos medidos na fase operacional do sistema, os efluentes apresentam-se fora dos padrões de lançamento excedendo a capacidade suporte do corpo aquático, ou seja, a concentração máxima de poluentes que o corpo hídrico pode receber, comprometendo a qualidade da água e seus usos de acordo com a classificação ambiental.

No Rio Grande do Norte atualmente estão operando 78 lagoas de estabilização com várias configurações, sendo 38 (49%) sistemas constituídos por uma lagoa facultativa primária seguida por duas de maturação (1LFP+2LM), 16 (21%) sistemas com uma facultativa primária e uma lagoa de maturação 1LFP+1LM, 13 (17%) com apenas uma lagoa facultativa (1LFP) e menos de 10 sistemas (13%) possuem lagoas anaeróbias ou tanque séptico (ARAÚJO, 2011).

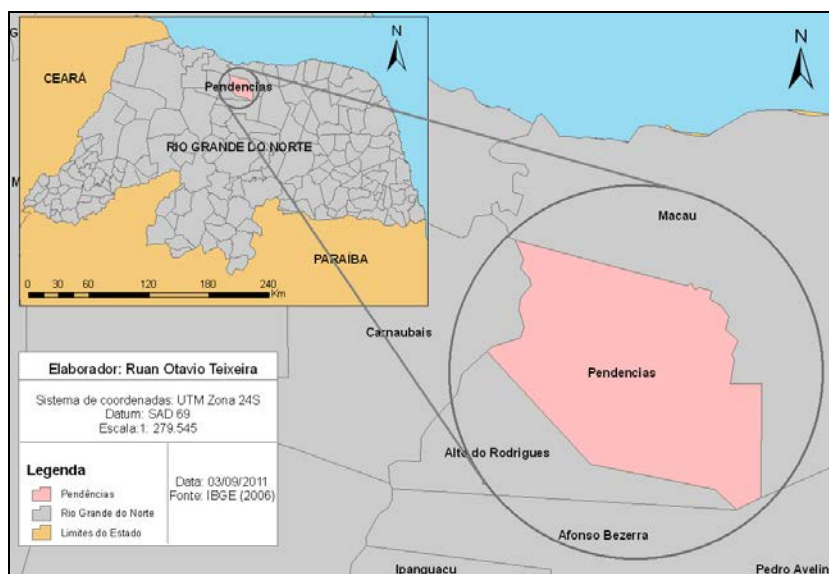
Nessa perspectiva, a avaliação da eficiência operacional de SLE em escala real, não só é importante como necessária, pois permite comparar dados observados durante o período de monitoramento com aqueles utilizados no dimensionamento e projeto. Estes dados vão desde a carga orgânica superficial aplicada até a eficiência de remoção de patógenos e DBO. Desta maneira, é possível verificar se realmente os dados propostos no projeto apresentam coerência e servem como referência para futuros sistemas que serão projetados e construídos na região.

O presente trabalho teve como objetivo diagnosticar o funcionamento de sistema de lagoa de estabilização em série localizado na cidade de Pendências/RN através de sua caracterização operacional e avaliação de eficiências de remoção de carga orgânica e bactérias indicadoras.

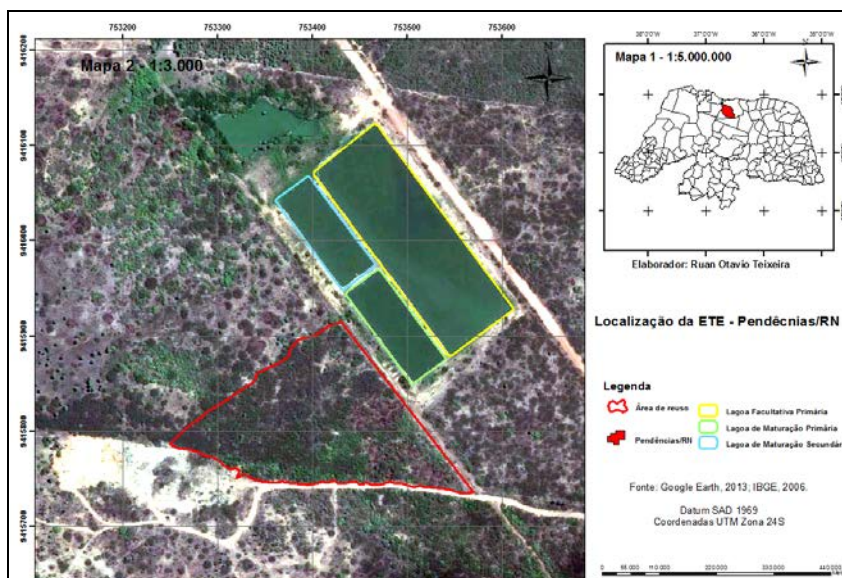
O desenvolvimento da pesquisa contou com o apoio e a participação da Companhia de Águas e Esgotos do RN (CAERN), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN) e teve o patrocínio financeiro do Programa Petrobras Ambiental, durante o desenvolvimento do Projeto Caatinga Viva, que tem como parceiros a ONG Carnaúba Viva, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA SOLOS), a Associação Northeriogrândense de Engenheiros Agrônomos (ANEA), o IFRN e a CAERN.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A ETE Pendências encontra-se instalada no município de Pendências/RN, na microrregião de Açu. O município abrange área de 419 km<sup>2</sup>, fazendo limite com Macau, Alto do Rodrigues, Carnaubais e Alto do Rodrigues. A cidade de Pendências dista 203 km da capital Natal, possui clima muito quente e semiárido: o período chuvoso compreende os meses de fevereiro a abril, com temperaturas máxima de 32°C, média de 27°C e mínima de 21°C e insolação média de 2.400 horas/ano. As Figuras 1 e 2 apresentam respectivamente a localização geográfica do município de Pendências e a área onde está implantada a ETE homônima.

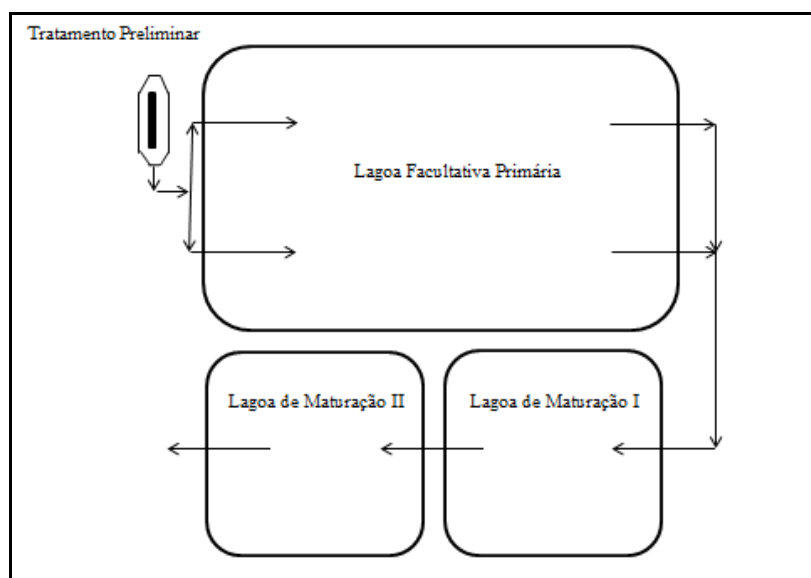


**Figura 1 – Localização geográfica do município de Pendências/RN**



**Figura 2 – Localização da ETE Pendências/RN**

O sistema é composto por tratamento preliminar e lagoa facultativa primária (LFP) seguida por duas lagoas de maturação (LM I e LM II), conforme Figura 3. Suas características físicas e operacionais e eficiências definidas em projeto estão descritas nas Tabelas 01 e 02. O sistema é alimentado com esgoto bruto produzido por 1.172 economias de esgoto cadastradas, que representam cerca de 30% do total de economias de água do sistema (CAERN, 2013).



**Figura 3 – Fluxograma operacional do sistema de lagoas de estabilização da ETE Pendências.**

O sistema foi projetado para uma DBO de  $333 \text{ mg.L}^{-1}$  e vazão de  $2.345 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ , resultando em carga orgânica superficial na Lagoa Facultativa Primária (LFP) de  $313 \text{ kg DBO.ha}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ .

**Tabela 1 – Características físicas (meia profundidade) do sistema de lagoas da ETE Pendências/RN.**

Lagoas	B (m)	L (m)	H (m)	A (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	TDH (dia)
LFP	100,0	250,0	1,50	25.000	37.500	14,29
LM I	40,0	125,0	1,50	5.000	7.500	3,0
LM II	40,0	125,0	1,50	5.000	7.500	3,0

LEGENDA: LFP – lagoa facultativa primária; LM I – lagoa de maturação I; LM II – lagoa de maturação II; B - largura; L - comprimento; H - profundidade ; A - área; V - volume; TDH – tempo de detenção hidráulica.

FONTE: CAERN (2004).

**Tabela 2 – Valores de referência, remoções e eficiências esperadas no projeto da ETE Pendências/RN.**

Lagoa	DBO <sub>a</sub>	DBO <sub>e</sub>	CF <sub>a</sub>	CF <sub>e</sub>	E <sub>DBO</sub>	E <sub>CF</sub>	T <sub>a</sub>	T <sub>e</sub>
LFP	333,3	61,4	106	93.918	81,6	99,1	27	25
M I	61,5	42,4	93.918	9.392	31,0	90,0	27	25
M II	42,4	29,2	9.392	939	31,0	90,0	27	25

LEGENDA: DBO<sub>a</sub> – DBO afluente bruto ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); DBO<sub>e</sub> – DBO efluente tratado ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); CF<sub>a</sub> - concentração de coliformes fecais do afluente bruto (NMP/100 mL); CF<sub>e</sub> - concentração de coliformes fecais do efluente tratado (NMP/100 mL); E<sub>DBO</sub> – eficiência de remoção de DBO; E<sub>CF</sub> - Eficiência na remoção de coliformes fecais; T<sub>a</sub> – temperatura ambiente (°C); T<sub>e</sub> – temperatura do esgoto (°C).

FONTE: CAERN (2004).

A campanha foi realizada no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2012. As amostras foram coletadas em quatro pontos: caixa de entrada da unidade de tratamento preliminar – esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa primária, efluente da LM I e efluente da LM II (efluente final). Essas coletas foram realizadas entre 7h50min e 12h00. Os parâmetros monitorados constam da Tabela 3 com respectivas unidades e técnicas utilizadas, que seguiram protocolos definidos e recomendados por APHA, AWWA e WEF (2005).

O monitoramento eletrônico de vazão da ETE foi feito de forma praticamente ininterrupta, com armazenamento dos dados de lâmina líquida no ponto a montante da garganta da calha Parscahall, a cada 2 minutos em datalogger de fabricação NOVUS, modelo LOGOBOX-DA IP65, com capacidade para 32.000 dados.

**Tabela 3 – Variáveis e técnicas analíticas utilizadas no monitoramento da ETE PENDÊNCIAS/RN.**

Variável	Unidade	Técnica Utilizada
DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup> <sub>bruta</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	Titulometria
DQO <sub>bruta</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	Titulometria
OD	mg.L <sup>-1</sup>	Titulometria
pH	ND	Potenciometria
CTT	NMP/100mL	Tubos Múltiplos
SST	mg.L <sup>-1</sup>	Gravimétrico
ST	mg.L <sup>-1</sup>	Gravimétrico

LEGENDA: DBO – demanda bioquímica de oxigênio; DQO – demanda química de oxigênio; OD – oxigênio dissolvido; CTT – coliformes termotolerantes; SST – sólidos suspensos totais; ST – sólidos totais.

Os valores de nível medidos foram transformados em dados de vazão instantânea ( $Q_i$ , em L/s), mediante aplicação da equação geral de vertedores Parschall,  $Q = k \cdot H^n$ , em que  $k$  e  $n$  são coeficientes definidos para cada vertedor, a partir da medida da ‘garganta’  $w$ , em mm. Para a ETE Pendências, a largura da ‘garganta’ do medidor é  $w = 75$  mm ( ou  $w = 3''$ ) e os coeficientes assumem os valores  $k = 0,176$  e  $n = 1,547$ , para medidas de  $H$  em cm e valores de vazão em L/s.

Os dados úteis obtidos (cerca de 30.000 dados para o período de 17/11 a 28/12/2011) foram sistematizados através de programação VBA® (visual basic) elaborada pelo bolsista/estagiário de engenharia civil da CAERN, Gustavo Marques Calazans Duarte. Para cada dia de monitoramento foram gerados 720 dados de nível de lâmina de esgoto na calha Parschall, os quais incluem períodos de nível zero (bomba de recalque desligada) e períodos de níveis variáveis, conforme o funcionamento da bomba centrífuga da estação elevatória EEE04 que recalca esgoto bruto para a ETE Pendências.

## RESULTADOS

As concentrações médias das variáveis obtidas durante a campanha de monitoramento estão apresentadas na Tabela 4.

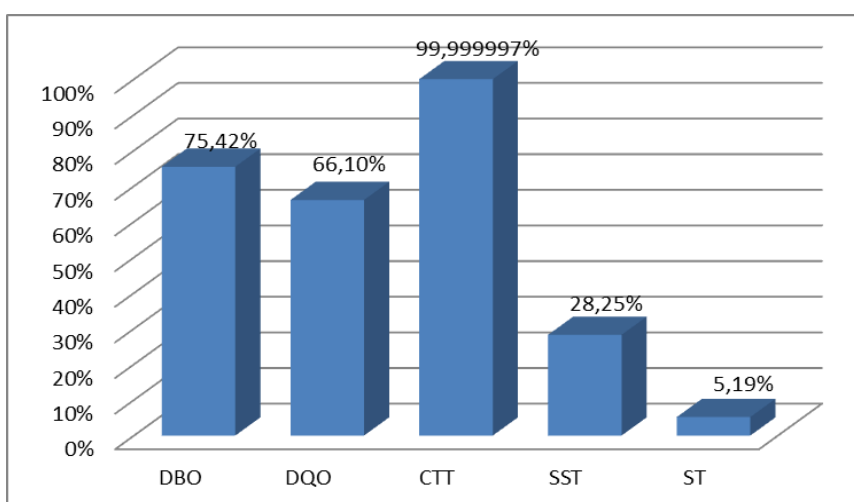
**Tabela 4 – Valores médios de variáveis físico-químicas medidas na ETE Pendências/RN (janeiro/2011 a dezembro/2012).**

Variável	EB	LFP	LM I	LM II
DBO	419	138	112	103
DQO	1130	627	567	383
OD	-	3,25	6,34	7,73
pH	7,4	7,8	8,1	8,2
CTT	6,74E+10	1,69E+06	5,28E+04	1,82E+03
ST	1663	1357	1637	1577
SST	172	166	161	123

Durante o monitoramento percebeu-se que a caixa de areia estava sendo operada de forma inadequada, isto é, a frequência de remoção de material retido era muito elevado, fato que possibilita a passagem de sólidos como areia, que no decorrer dos anos resultarão em assoreamento da LFP com consequente redução de volume útil.

A DBO média do esgoto bruto afluente a LFP foi de 419 mg.L<sup>-1</sup>. A DBO afluente utilizada no projeto foi de 333 mg.L<sup>-1</sup>, inferior às concentrações medidas durante o monitoramento. Diversos estudos realizados no RN evidenciaram valores de DBO de efluente doméstico bruto superiores a 400 mg.L<sup>-1</sup> (ARAÚJO, 2011; SILVA, 2008; SILVA, 2004; DUARTE, ARAÚJO & VALE, 2003), que confirmam a característica forte dos esgotos gerados em regiões semi-áridas, associada ao consumo de água abaixo da média de cidades brasileiras. Em Pendências, a população servida com abastecimento de água é de cerca de 11.472 habitantes, considerando taxa de ocupação média de 4,0 hab/economia e 2.868 economias ativas. No mês de março/2013 o volume faturado foi de 35.911 m<sup>3</sup>, que resulta em consumo per-capita médio de 104 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

A Figura 4 mostra as eficiências de remoção de matéria orgânica, bactérias indicadoras e sólidos. Observa-se que o sistema removeu 75% e 66% da DBO e DQO brutas. Para coliformes termotolerantes, a série de lagoas promoveu a inativação de 5,52 ulog de células, configurando-se como um sistema de ordem terciária, pois a concentração de microrganismos no esgoto bruto ( $6,74 \times 10^7$  células/100 mL) excedeu em 3-4 ulog os valores geralmente adotados em projetos, de  $10^6 - 10^7$  células/100 mL. Para a remoção de sólidos, sistemas de lagoas de estabilização (SLE) não apresentam bom desempenho, provavelmente devido à elevada densidade de fitoplâncton que se observa no efluente final, evidenciado pela intensa coloração esverdeada devido à presença de algas e cianobactérias, as quais contribuem para elevar as concentrações de ST e SST. No presente estudo observaram-se remoções de SST e ST de 28% e 5% respectivamente. Outro fato que pode estar associado à baixa remoção de sólidos é o desprendimento do lodo de fundo na LFP devido a recirculação de correntes de água aquecidas.



**Figura 4 – Eficiência de remoção de matéria orgânica, coliformes e sólidos da ETE Pendências/RN, no período de janeiro /2011 a dezembro/2012.**

Os dados diários de leitura de vazão foram agrupados em valores de vazão instantânea média ( $Q_{med}$ , em  $L.s^{-1}$ ) e acumulados ao longo das horas de funcionamento do dia ( $Q_{acum}$ , em  $m^3/dia$ ). A partir de macros inseridas nas planilhas eletrônicas, foi também possível avaliar o número de horas de funcionamento ( $F$ , em  $h.dia^{-1}$ ) e vazões instantâneas máxima e mínima ( $Q_{max}$  e  $Q_{min}$ , em  $L.s^{-1}$ ). A Tabela 5 traz os valores obtidos no monitoramento realizado de 18/11 a 28/12/2011.

Pelos dados medidos, a vazão média de esgotos afluente ao sistema foi de  $505 \pm 100 m^3.dia^{-1}$  ( $6,70 \pm 1,06 L.s^{-1}$ ), representando cerca de 22 % da vazão de projeto ( $2.345 m^3.dia^{-1}$  ou  $27,14 L.s^{-1}$ ). Nestas condições, o tempo médio de detenção hidráulico na LFP foi de 74 dias, 4,6 vezes superior ao TDH adotado em projeto (16 dias). Considerando a vazão e DBO de projeto, a carga orgânica superficial da LFP foi estimada em  $313 kg DBO.ha^{-1}.dia^{-1}$ . Para as médias de DBO ( $419 mg.L^{-1}$ ) e vazão ( $505 m^3.dia^{-1}$ ) monitoradas, a carga obtida foi de  $85 kg DBO.ha^{-1}.dia^{-1}$ , que representa 27% da carga adotada no projeto.

Em relação à eficiência de cada reator, LFP exibiu melhor performance na remoção de matéria orgânica, com eficiência de 67%. Von Sperling et al., (2004) avaliaram 115 LFP no Sudeste brasileiro e concluíram que estas removeram cerca de 74% de DBO. No entanto, a análise da cinética de degradação de matéria orgânica carbonácea e nitrogenada, admitindo que o sistema funciona no modelo teórico de mistura completa ( $C = C_0/(1+kt)$ ), revelou que a constante de degradação de primeira ordem corrigida para a temperatura ambiente de  $27^\circ C$  e coeficiente de temperatura  $\theta = 1,056$ , resultou em  $k_{27} = 0,102 d^{-1}$ , valor que difere do adotado em projeto:  $k_0 = 0,276 d^{-1}$ ,  $DBO_{EB} = 333 mg.L^{-1}$ ,  $DBO_{LFP} = 61,4 mg.L^{-1}$  e  $TDH_{LFP} = 16$  dias.

A remoção de carga orgânica pela LFP pode ter afetado o desempenho das lagoas LM I e LM II cujas taxas de degradação foram inferiores às verificadas na LFP e a remoção de DBO foi de apenas 19% e 8%, respectivamente. Comparando-se dados de literatura que relatam remoção de DBO de até 85% (Jordão & Pessoa, 2005), SLE promoveu remoções de 75,4% de DBO e 66,1% de DQO, porém teve comportamento

semelhante ao de vários sistemas em escala real no RN. Silva (2008) e Araújo (2011) encontraram eficiências de remoção de matéria orgânica em sistemas com configuração 1LFP+2LM de 69% e de 58%, respectivamente.

**Tabela 5 - Monitoramento de vazão do esgoto bruto afluente à ETE Pendências (2011)**

Dia	Q <sub>med</sub> (L/s)	Q <sub>acum</sub> (m³/dia)	F (horas/dia)	Q <sub>máx</sub> (L/s)	Q <sub>mín</sub> (L/s)
18/11	8,2	6	0,2	14,6	5,0
19/11	9,5	199	5,8	60,4	5,0
20/11	7,3	599	22,7	42,8	5,0
21/11	7,8	578	20,6	42,8	5,0
22/11	7,0	556	22,1	42,8	5,0
23/11	6,2	472	21,2	42,8	5,0
24/11	5,9	458	21,4	27,4	5,0
25/11	7,2	584	22,6	27,4	5,0
26/11	5,9	481	22,6	42,8	5,0
27/11	6,9	567	22,7	27,4	5,0
28/11	5,9	479	22,5	27,4	5,0
29/11	6,9	558	22,4	27,4	5,0
30/11	6,7	517	21,3	42,8	5,0
01/12	7,2	597	22,9	42,8	5,0
02/12	6,8	554	22,7	42,8	5,0
03/12	7,0	570	22,7	42,8	5,0
04/12	6,0	470	21,7	27,4	5,0
05/12	6,6	529	22,3	27,4	5,0
06/12	5,8	471	22,5	27,4	5,0
07/12	6,4	514	22,3	27,4	5,0
08/12	6,9	563	22,7	27,4	5,0
09/12	7,9	619	21,7	60,4	5,0
10/12	6,4	528	22,9	42,8	5,0
11/12	5,4	433	22,2	42,8	5,0
12/12	5,2	385	20,7	27,4	5,0
13/12	5,6	440	22,0	27,4	5,0
14/12	6,0	470	21,8	27,4	5,0
15/12	6,0	470	21,6	27,4	5,0
16/12	5,1	358	19,5	27,4	5,0
17/12	5,2	391	20,9	42,8	5,0
18/12	5,6	441	22,0	27,4	5,0
19/12	6,4	515	22,3	27,4	5,0
20/12	6,0	473	22,0	42,8	5,0
21/12	7,0	565	22,5	27,4	5,0
22/12	6,8	559	22,9	42,8	5,0
23/12	8,7	698	22,2	42,8	5,0
24/12	6,5	531	22,8	42,8	5,0
25/12	5,7	214	10,5	42,8	5,0
26/12	9,6	544	15,7	60,4	5,0
27/12	8,0	662	22,9	27,4	5,0
28/12	7,4	603	22,7	27,4	5,0
Médias±DP	6,70±1,06	505±100	21,6±2,2	35,8±9,5	5,0

Na superfície da LFP a concentração de oxigênio dissolvido foi de  $3,25 \text{ mg.L}^{-1}$  e nas lagoas LM I e LM II foram obtidas concentrações médias de OD de  $6,34 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $7,73 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. Para a temperatura média do líquido de  $27^\circ\text{C}$ , a concentração de saturação de OD resulta igual a  $8,0 \text{ mg.L}^{-1}$  e nestas condições as concentrações de OD medidas nas lagoas correspondem a 40,6% na LFP e 79,3% e 96,6% em LM I e LM II, relativas ao teor máximo de saturação.

Dentre os fatores que podem estar influenciando o sistema estudado, pode-se citar a utilização de constante de degradação do esgoto bruto acima do valor real observado e provavelmente a modelagem hidráulica teórica que não reflete a dinâmica existente nos reatores (SILVA, 2011). O sombreamento causado por sólidos flutuantes na LFP pode também estar interferindo na produção fotossintética de OD; neste sentido, é importante que seja implementada a remoção periódica de espuma acumulada na área esquerda do final da LFP. Por outro lado, como a entrada de esgoto bruto não é afogada, é possível a ocorrência de curto-circuito hidráulico e zonas de baixa velocidade de fluxo na massa líquida da LFP.

No sistema avaliado, as três lagoas possuem a mesma lâmina de 1,50 m. Lagoas facultativas com lâmina de água até 1,0 m possibilitam condições aeróbias em toda massa líquida enquanto que alturas úteis acima de 1,20 m possibilitam maior tempo de detenção hidráulica favorecendo remoção de DBO. A faixa da profundidade geralmente utilizada nos projetos de lagoas de maturação fica entre 0,80 m e 1,50 m.

O pH elevou-se de um reator para o outro, conforme as reações bioquímicas que ocorrem em cada um. O esgoto bruto ficou na faixa da neutralidade com tendência para alcalino e nas lagoas LMI e LMII as médias foram de 8,1 e 8,2, respectivamente. Valores de pH acima de 8,0 indicam taxa fotossintética adequada que resulta em consumo de  $\text{CO}_2$ . No entanto, esses valores também são considerados baixos para uma eficiente remoção de patógenos, cujo valor ideal é superior a 9,5 (Von SPERLING, 2002).

As lagoas de maturação têm por finalidade principal a inativação de microrganismos ou desinfecção e adicionalmente, promover remoção de carga orgânica, em menor proporção. Dentre os vários fatores que podem contribuir para a inativação bacteriana tem-se a incidência de radiação UV, a baixa disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica e a predação por microrganismos.

A concentração de coliformes termotolerantes (média geométrica) no EB foi de  $6,74\text{E}+10 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$ . A LFP reduziu a concentração de CTT para  $1,69\text{E}+06 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$ . No efluente da LMI ocorreu redução para  $5,28\text{E}+04$  e no efluente final, na saída de LM II, a densidade de bactérias foi de  $1,82\text{E}+03 \text{ NMP}/100 \text{ mL}$ , valor que confere ao efluente tratado a condição de reuso para irrigação irrestrita. Este resultado também permite consolidar o conceito que o tratamento de esgotos por SLE constitui metodologia eficiente de remoção de organismos patogênicos, sendo mais recomendado para países em desenvolvimento, quando se visa o reuso na agricultura (WHO, 2006). Da LFP para LMII houve redução de 3 ulog, evidenciando que as lagoas de maturação tiveram bom desempenho na remoção de CTT, embora o pH médio tenha sido inferior a 9,0.

Pela análise de correlação linear de Pearson dos dados obtidos, dentre as variáveis que influenciam o desenvolvimento de microrganismos na LM I destacam-se DBO ( $r^2 = 0,15$ ), Cl “a” ( $r^2 = 0,19$ ), temperatura ( $r^2 = -0,17$ ), condutividade elétrica (CE) e STD ( $r^2 = -0,16$ ). Para LM II as variáveis interferentes no processo do metabolismo bacteriano foram DBO ( $r^2 = -0,19$ ), Cl “a” ( $r^2 = -0,21$ ) e temperatura ( $r^2 = -0,10$ ). Neste último reator, os resultados obtidos para CE e STD apresentaram baixos coeficientes de correlação ( $r^2 = -0,04$ ), assim como para pH em que  $r^2 = 0,08$ , não sendo considerados significativos para o processo.

## CONCLUSÕES

A elevada concentração de DBO no esgoto bruto pode estar relacionada aos hábitos e costumes e ao baixo consumo per capita de água da comunidade.

A concentração média de oxigênio dissolvido de  $3,25 \text{ mg.L}^{-1}$  na lagoa facultativa primária (LFP) pode estar relacionada com a atividade biológica de degradação da matéria orgânica dissolvida e provavelmente com o desprendimento de lodo anaeróbico que recircula na massa líquida consumindo o oxigênio, e com a espuma/sólidos flutuantes, presentes principalmente próximo a entrada da LFP que dificulta a penetração de luz solar.

O pH próximo de 8,0 nas lagoas LM I e LM II, deve-se provavelmente a elevada taxa de fotossíntese que reduz a concentração de CO<sub>2</sub>. O fato das coletas terem sido realizadas entre 7:00h e 12:00h, pode também estar contribuindo para este fenômeno, uma vez que a taxa máxima de atividade fotossintética ocorre entre 10:00h e 16:00h.

As cargas orgânicas aplicadas em LM I e LM II (139,4 kg DBO.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> e 113,1 kg DBO.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, respectivamente) foram superiores às observadas na LFP,  $\lambda_s = 85$  kg DBO.ha<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Como critério de dimensionamento, considera-se que a carga orgânica superficial na primeira lagoa de maturação deve ser 75% da carga aplicada na LFP.

A baixa remoção de SST e ST está relacionada provavelmente às elevadas concentrações de fitoplâncton e de algas no efluente tratado final.

Os dados medidos e avaliados neste e em outras pesquisas de monitoramento em escala real devem ser compilados, sistematizados e utilizados como referência para dimensionamento e avaliação de sistemas de lagoas de estabilização, pois refletem condições hidráulicas, biológicas e ambientais que não são completamente contabilizadas nos modelos utilizados em escala piloto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition. American Public Health Association Inc., New York, 2005.
2. ARAÚJO, A. L. C. (Coord.). Avaliação operacional e da eficiência de lagoas de estabilização no Nordeste do Brasil. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SAÚDE E SANEAMENTO. Natal, 2011.
3. ARAÚJO, A. L. C., DUARTE, M. A. C., VALE, M. B.. Avaliação de quatro séries de lagoas de estabilização na grande natal na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville – SC, 2003, CD-ROM.
4. CAERN. Resumo com dados para o orçamento e Sistema de Informação para Planejamento (SINP), localidade PENDÊNCIAS, mês de março/2013, emitido em 07/04/2013. Disponível em [http://www.caern.govrn/documentos/institucionais/relatorios/gsan/simp/2013/sinp\\_032013.pdf](http://www.caern.govrn/documentos/institucionais/relatorios/gsan/simp/2013/sinp_032013.pdf). Acesso em 15/04/2013, 10:40 h.
5. CAERN. Projeto básico do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Pendências/RN. Natal: CAERN. 2004.
6. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4 ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.
7. SILVA, F. J. A.; FREITAS, E. F.; DE SOUZA, R. O. E DE CASTRO, F. J. F. Matéria orgânica em efluentes de lagoas facultativas primárias frente à norma ambiental cearense. In: Trabalho apresentado ao 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cidade, 2007. CD-ROM.
8. WHO. Guidelines for the use of wastewater, excreta and greywater. vol. 2. Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006.
9. SILVA, O. A. L. Remoção de matéria orgânica em sistemas de lagoas de estabilização no Nordeste brasileiro. Dissertação (MESTRADO). Programa de Pós-graduação em Eng. Sanitária, UFRN, Natal, 2011.
10. SILVA FILHO, P. A. DA. Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização no estado do Rio Grande do Norte. Dissertação (MESTRADO). Programa de Pós-graduação em Eng. Sanitária, UFRN, Natal, 2008.
11. Von SPERLING, M. Lagoas de Estabilização. v. 3. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2002.