



II-254 – AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS UTILIZANDO ESCÓRIA DE ACIARIA LD COMO MEIO SUPORTE EM LEITOS CULTIVADOS E NÃO-CULTIVADOS

Janine Cabral Avelar⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Pedro Santana Cassini⁽²⁾

Oceanógrafo pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Alex Barcellos Vieira⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Ricardo Franci Gonçalves⁽⁴⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista – UERJ (1984), Pós-graduado em Enga de Saúde Pública - ENSP/RJ (1985), DEA - Ciências do Meio Ambiente - Univ. Paris XII, ENGREF, ENPC, Paris (1990), Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Água – INSA de Toulouse, França (1993), Prof. Adjunto do DHS e do PMEA - UFES.

Sérvio Túlio Alves Cassini⁽⁵⁾

Biólogo pela Universidade Federal de Minas Gerais (1975). PhD Microbiologia pela Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSSU) – EUA – 1988. Pós-Doutorado em Microbiologia Ambiental na Universidade do Tennessee – EUA – 1997. Prof. Adjunto do DHS e do PMEA - UFES.

Endereço⁽¹⁾: Av. Fernando Ferrari, s/n – Goiabeiras – Vitória – ES – Brasil - CEP.: 29060-970 - Telefax.: (027) 3335-2165 / Tel: (027) 3335-2069 e-mail: jcaavelar@gmail.com.

RESUMO

O saneamento básico ainda é um grande problema, principalmente em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. No Brasil, essa realidade não é diferente. A presente pesquisa trata de uma alternativa de baixo custo e simples manejo que possa ser implementada em pequenas comunidades de até 2.000 habitantes com vistas ao tratamento de efluentes domésticos. Para tanto, foi utilizada escória de aciaria LD como meio suporte na dos leitos, visando a reutilização de um co-produto existente quantidade abundante na região de implementação do presente trabalho, devido a indústrias siderúrgicas localizadas no estado do Espírito Santo. O sistema de tratamento foi composto pela associação de um reator anaeróbio compartimentado com leitos de distintas composições. Em cada leito foram avaliados a remoção de matéria orgânica, microrganismos, como os coliformes e *E. coli*, além dos parâmetros físico-químicos básicos, como sólidos totais, pH, dureza e turbidez. Para a maioria dos resultados observados, os leitos com presença de escória de aciaria LD obtiveram resultados mais satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, Escória de aciaria, Leitos cultivados, Leitos não-cultivados.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a situação do saneamento ambiental, no seu contexto mais abrangente — abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem urbana e controle de vetores — revela um quadro bastante precário, contudo se por um lado a cobertura por acesso aos serviços na área urbana apresenta uma situação razoável, o mesmo não se verifica na área rural.

No Brasil, de acordo com o BNDES, 49% do esgoto produzido é coletado através de rede e somente 10% do esgoto total é tratado. O resultado é que as Regiões Metropolitanas e grandes cidades concentram grandes volumes de esgoto coletado que é despejado sem tratamento nos rios e mares que servem de corpos receptores. Em consequência a poluição das águas que cercam nossas maiores áreas urbanas é bastante elevada, dificultando e encarecendo, cada vez mais, a própria captação de água para o abastecimento. Para evitar problemas como o descrito anteriormente, recomenda-se o tratamento prévio do esgoto.

Estudos realizados por Kadlec e Knight (1996). demonstram o aumento na pesquisa e utilização de leitos cultivados devido à baixa demanda energética requerida e ao menor uso de processos químicos, além de não

produzir lodo e não utilizar substâncias químicas adicionais. Assim sendo, os leitos cultivados constituem uma alternativa simples, e podem ser implantados em pequenas comunidades, equivalente a 2.000 habitantes, com vistas ao tratamento de águas residuárias, como sistema de pós-tratamento.

Para a construção dos leitos cultivados, foi utilizada escória de aciaria — também denominada “slag” — como meio suporte em substituição à brita, priorizando o desenvolvimento sustentável por meio da utilização de um co-produto da siderurgia, reduzindo a retirada de um recurso natural.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação do Núcleo Água – Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e da Arcelor Mittal Tubarão.

MATERIAIS E MÉTODOS

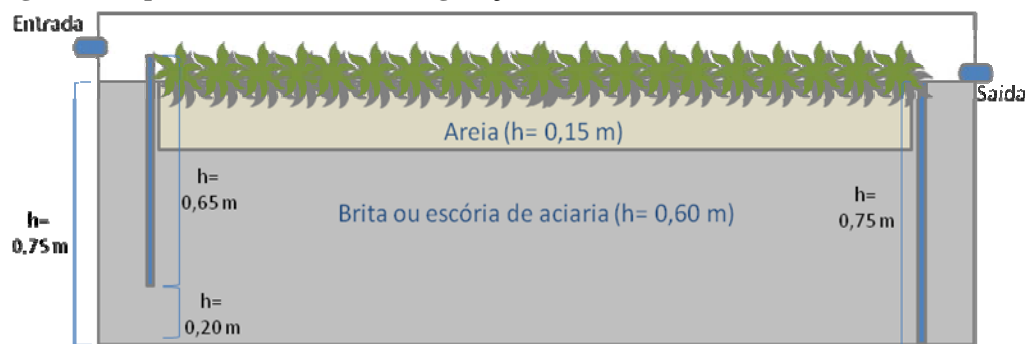
A presente pesquisa utiliza a estação de tratamento de esgoto composta pela associação em série de um reator anaeróbio compartimentado, denominado RAC, e leitos cultivados e não-cultivados com composições distintas. Localizada no parque experimental do Núcleo Água – Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, no Campus Universitário de Goiabeiras – Vitória, e foi desenvolvida em duas etapas: a primeira entre os meses de março de 2007 a agosto de 2007 e a segunda etapa entre os meses de dezembro de 2007 a março de 2008.

O RAC possui seção circular de 1,60 m de diâmetro, altura total de 3,58 m e volume total de 7,20 m³ e foi executado em fibra de vidro. Trata-se de um reator constituído por um compartimento interno e outro externo, que consistem nas zonas de digestão e sedimentação, respectivamente. A zona de digestão possui seção circular (tubo interno) de 0,80 m de diâmetro, altura útil de 2,30 m e volume útil de 1,16 m³. A zona de sedimentação possui seção em forma de coroa circular (anel externo), cujos diâmetros externo e interno medem, respectivamente, 1,60m e 0,80m, possui altura útil de 2,30 m e volume útil de 3,46 m³, como descrito por Souza (2005).

A construção dos leitos baseou-se na obtenção de 3 leitos, sendo 2 destes cultivados (LC1 e LC2) e um não-cultivado (LC3), obedecendo o declive de 0,10m da entrada para a saída, direcionando o fluxo do afluente. Observa-se que a sigla para o terceiro leito manteve certa continuidade com os demais visando melhor compreensão para fins didáticos. Os leitos foram construídos em paralelo, cada um com volume total de 7,2 m³ (8,0 x 0,75 x 1,20) e volume útil de 3,3525 m³ para LC1 e LC2 e 3,450 m³ para LC3, considerando os volumes de vazios da areia, brita e escória, respectivamente de 39,5%, 46% e 46%. Cada leito foi devidamente impermeabilizado

Na distância de 0,25m dos pontos iniciais e finais de cada leito cultivado, foram inseridas placas de fibra de vidro. As placas iniciais (1,250m x 0,55m) garantiam que o efluente inserido no leito penetrasse pela parte inferior do leito, enquanto que as planas finais (1,25m x 0,65m) permitiam a saída do efluente tratado apenas pela parte superior do leito. Este sistema possibilitou a configuração e a manutenção do fluxo sub-superficial, como indicado pela figura 11. Todas as placas foram impermeabilizadas junto às paredes e ao fundo do leito.

Figura 1: Esquema ilustrativo da configuração dos leitos.





Os leitos cultivados foram preenchidos com diferentes materiais de composição do meio suporte objetivando tratamentos distintos. Os diferentes tratamentos deste trabalho estão descritos na tabela 1. Nos leitos cultivados 1 e 2, o componente de maior granulometria ocupou uma altura de 0,60 m e o de menor granulometria preencheu uma altura de 0,15 m. No LC3 toda altura (0,75 m) foi preenchida com o componente de maior granulometria.

Tabela 1: Composição dos leitos.

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO DOS LEITOS	VEGETAÇÃO
Leito 1	Brita 2 ($D_{10} = 32,0$ mm) + Areia média	Presente
Leito 2	Escória de aciaria ($D_{10} = 32,0$ mm) + Areia média	Presente
Leito 3	Escória de aciaria ($D_{10} = 32,0$ mm)	Ausente

Após o preenchimento total dos leitos 1 e 2, foram plantadas espécies dos gêneros *Typha* sp. e *Eleocharis* sp, conhecidas popularmente como taboa e junco obtidas de uma área alagada próximo ao mangue da UFES, na densidade de 5 plantas por m².

Após a construção do sistema RAC + leitos e a partida do sistema com o efluente derivado do RAC, iniciou-se a fase de monitoramento, em março de 2007. O esgoto é bombeado da elevatória e levado até o RAC. Após o tratamento primário, o efluente é coletado utilizando a caixa de passagem, de onde é retirado por meio de bomba dosadora de cabeçotes independentes com regulagem de fluxo. Na primeira fase do tratamento cada linha recebeu 4,32m³/d ou 50mL/s. Na segunda fase, cada uma das linhas de tratamento recebeu 6,48m³/d ou 75mL/s. Os leitos possuem saída independente das quais foram retirados o efluente final.

Em caso de problemas técnicos e conseqüentes interrupções nas análises, os resultados considerados foram os de uma segunda análise após a interrupção, visto que a primeira análise era utilizada para fins de teste e comparação ao período anterior à interrupção e posteriormente descartada.

O processo de amostragem foi realizado por meio de coletas de amostras simples nos diversos pontos de coleta, com frequência semanal na primeira etapa de monitoramento, e duas vezes por semana na segunda etapa do monitoramento, sempre realizado no período entre 8 e 10 horas da manhã.

Os principais parâmetros de análise o monitoramento foram DBO₅, DQO_t, SST, dureza, pH e turbidez, realizados segundo (APHA. 1995), encontram-se referenciadas na tabela 2. A densidade de coliformes totais e *E. coli* foi determinada em 24 horas respectivamente pelo desenvolvimento de coloração amarela e observação de fluorescência, através da determinação do número mais provável (NMP), utilizando-se Substrato Cromogênico definido ONPG-MUG (Colilert®), com quantificação por meio de cartelas.

Tabela 2: Resumo de metodologias das análises físico-químicas.

Adaptado de SOUZA (2005).

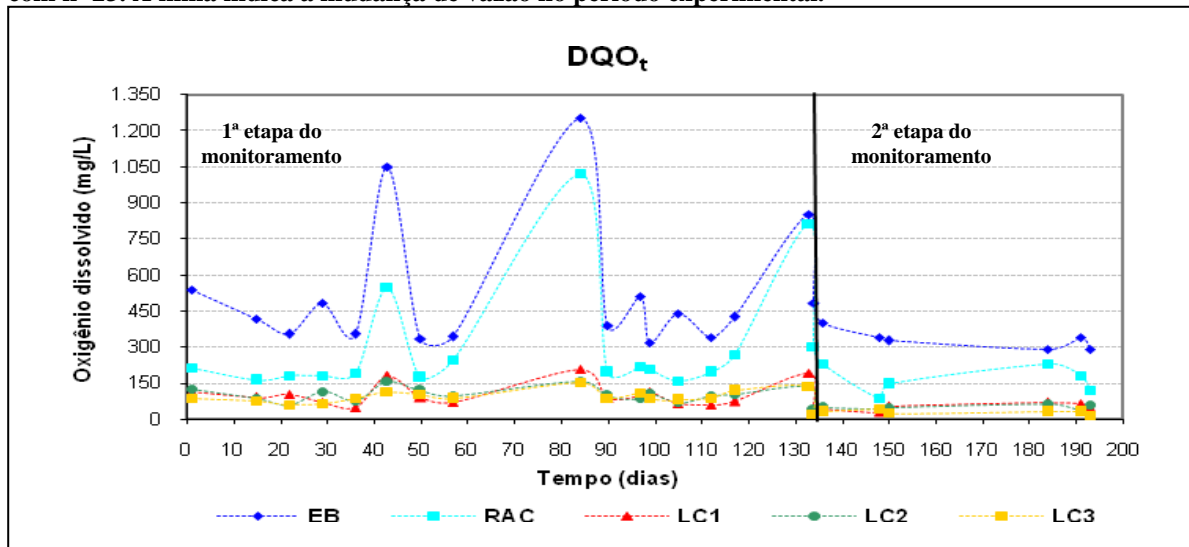
PARÂMETROS	MÉTODOS	REFERÊNCIA
DQO (total)	Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido	STANDARD METHODS 5220 D, 1995
DBO ₅	Método respirométrico	STANDARD METHODS 5210 D, 1995
Turbidez	Método nefelométrico	STANDARD METHODS 2130 B, 1995
SST	Método gravimétrico	STANDARD METHODS 2540, 1995
pH	Método eletrométrico	STANDARD METHODS 4500-H ⁺ B, 1995
Dureza	Método titulométrico	STANDARD METHODS 2340 C, 1995

RESULTADOS

Os resultados são representados respectivamente pelos gráficos de dispersão das séries históricas e diagramas em caixas (“boxplots”), que representam as tendências centrais e a dispersão das amostras.

O parâmetro DQO informa o consumo de oxigênio dissolvido em função da oxidação química da matéria orgânica, sendo assim dito indireto quanto à medição da quantidade de matéria orgânica. As séries históricas dos resultados referentes às amostras simples obtidos no parâmetro DQO_t da vazão de 50mL/s e 75mL/s encontram-se descritas na figura 2.

Figura 2 – Série histórica referente ao parâmetro DQO_t no período de março de 2007 a março de 2008, com n=23. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



Os resultados obtidos na primeira fase do monitoramento ($Q=50\text{mL/s}$) apresentaram-se com grande variabilidade de entrada no sistema. Este fato pode estar associado a inúmeros fatores, dentre eles a diluição do esgoto bruto pelas chuvas e a modificação de hábitos da população de acordo com o clima. Outro fator a ser considerado é o armazenamento do esgoto na elevatória, localizada no Núcleo Água (UFES). Sabendo-se que o esgoto utilizado no presente trabalho e em outros trabalhos anteriores é proveniente do bairro adjacente ao campus, foi necessária a construção de uma elevatória para recepção do mesmo. Porém, por motivos técnicos e devido a incidentes com a rede, inúmeras vezes foram cessadas a recepção do efluente. Desta forma, podem ter ocorrido reações diversas na tubulação e na elevatória em consequência do armazenamento temporário que provocaram variações no esgoto bruto.

O mesmo comportamento pôde ser observado no RAC. Apesar de apresentar 41% de eficiência de remoção em relação ao afluente do sistema, o RAC não conseguiu amortecer as grandes variações apresentadas pelo esgoto bruto, ou seja, acompanhando seu comportamento variável. Contudo, Souza (2005), utilizando as instalações do Núcleo Água, obteve valores médios do esgoto bruto próximos ao obtido neste trabalho, como pode ser observado no resumo estatístico de ambos os sistemas presentes na tabela 3.

Tabela 3: Comparações entre afluente e efluente em pesquisas com sistemas de tratamento de esgotos realizadas no Núcleo água (UFES).

	Esgoto Bruto			RAC		
	nº de amostras	Média (mg O_2/L)	Desvio padrão	nº de amostras	Média (mg O_2/L)	Desvio padrão
Presente trabalho	16	524	279	16	311	257
Souza (2005)	20	525	111	20	223	20



Apesar da grande variabilidade apresentada pelo esgoto bruto e pelo efluente do RAC, os leitos apresentaram comportamento relativamente constante, demonstrando amortecimento da carga proveniente do pré-tratamento realizado pelo RAC. Este resultado pode estar associado ao tempo de detenção hidráulica (TDH) de cada etapa do tratamento. O RAC apresentou TDH de 7,5 h, enquanto nos leitos estes valores foram de aproximadamente 19 h.

Os resultados obtidos na segunda etapa do tratamento ($Q=75\text{mL/s}$) foram mais constantes. Todavia, estes resultados foram obtidos em intervalos de tempo mais curtos, sendo feitas duas análises semanais. Além disso, o monitoramento foi realizado num período de sessenta dias, havendo interrupção da recepção do esgoto entre o intervalo de 20 a 50 dias.

Notou-se que a menor variação também pode relacionar-se a capacidade de carga do sistema, indicando que na primeira etapa do monitoramento o sistema estava trabalhando abaixo da faixa limite, ou seja, com baixa capacidade de carga associada. No momento em que foi elevada a carga no sistema (segunda etapa do monitoramento), ocorreu melhora responsiva.

As séries históricas apresentaram os dados obtidos. Visando melhor observação do desempenho do sistema de tratamento proposto, os mesmos foram descritos de forma distinta, observadas nas figuras 3 e 4.

Figura 3 – Remoção de DQO_t no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.

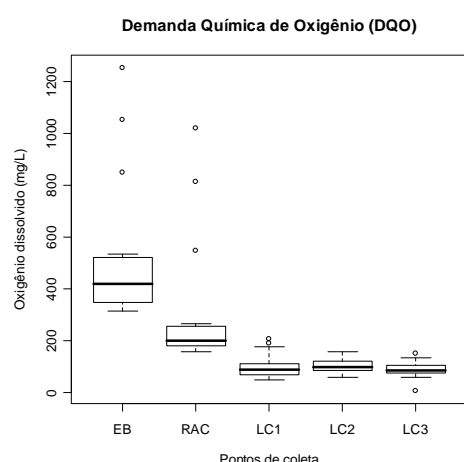
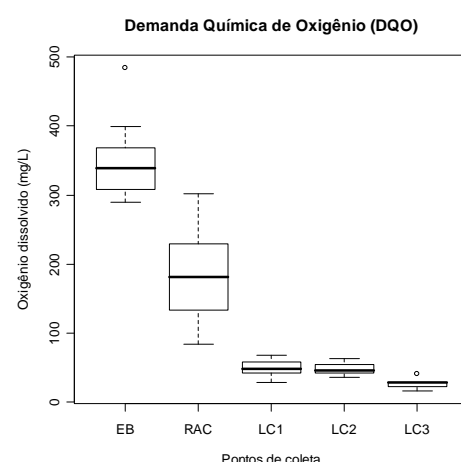


Figura 4 – Remoção de DQO_t no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.

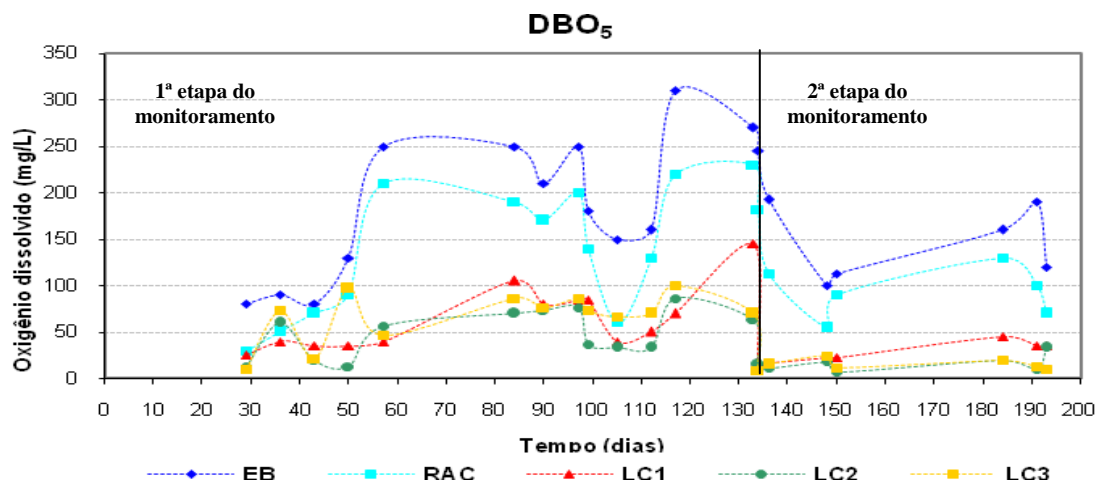


Sabe-se que as características do efluente anaeróbio produzido pelo RAC não apresentam, grandes diferenças em relação às características do efluente anaeróbio produzido em outros reatores UASB com diferentes configurações. Os dados referentes a primeira e segunda fases do monitoramento indicam remoção satisfatória de matéria orgânica no RAC, com eficiência de 41% e 48% respectivamente, em relação ao esgoto bruto. Contudo, o desempenho do RAC não atingiu as expectativas do tratamento. Este fator pode estar relacionado com problemas hidrodinâmicos referentes à criação de caminhos preferenciais, o que causa menor contato do afluente com a população microbiana. Outro possível fator causador da redução da eficiência do RAC pode ser o problema da inconstância das vazões, relacionada às inúmeras paradas do sistema devido a falta do esgoto bruto, como descrito anteriormente.

Os leitos, para ambas as vazões utilizadas, apresentaram resultados mais representativos do que o RAC. Em relação aos resultados apresentados pelo mesmo, na primeira etapa do monitoramento, os leitos 1, 2 e 3 exibiram eficiências médias de 67%, 66% e 69% respectivamente, não sendo estatisticamente diferentes entre si. Na segunda fase do monitoramento esse resultado foi de 73%, 74% e 85%, para os leitos 1, 2 e 3 respectivamente. Porém notou-se um desempenho diferenciado para LC3, apresentando diferença significativa em relação a LC1 e LC2, indicando melhor eficiência de remoção em relação aos outros LCs.

Encontram-se descritos nas figuras 6 e 7 os resultados dos monitoramentos do parâmetro DBO_5 da primeira e segunda fase desta pesquisa. O panorama geral está descrito na figura 5.

Figura 5 – Série histórica referente ao parâmetro DBO_5 no período de março de 2007 a março de 2008, com $n=20$. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



A primeira fase do monitoramento apresentou variabilidade bastante acentuada, em especial o esgoto bruto e o RAC. Não obstante, essa variação foi percebida nos leitos, apesar do processo de acentuação realizado pelos mesmos. Um fato notório relacionado aos picos de DBO_5 é a detecção de período de chuvas nos dias anteriores as análises. De acordo com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) nos dias anteriores a algumas análises ocorreu aumento no índice pluviométrico, o que pode ter acarretado o aumento da DBO_5 devido ao processo de lixiviação de material orgânico para a rede de esgotos, como folhas, restos de comida, dentre outros materiais presentes em grande quantidade no lixo domiciliar.

Assim como no parâmetro DQO_t , o RAC seguiu as tendências de variação impostas pelo esgoto bruto. O mesmo não ocorreu com os leitos cultivados, que permaneciam menos variáveis, amortecendo as variações do seu afluente.

As figuras 6 e 7 informam o comportamento do parâmetro em questão e permitem uma análise mais clara da remoção de DBO_5 no sistema de tratamento descrito neste.

Figura 6 – Remoção de DBO_5 no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.

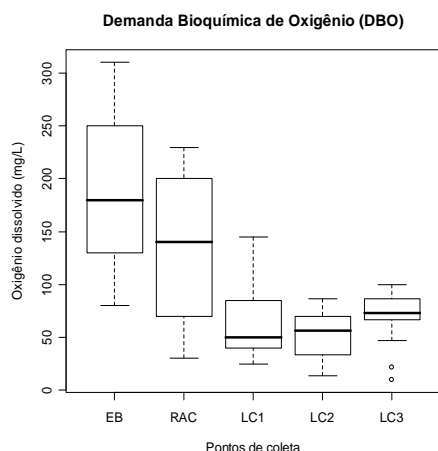
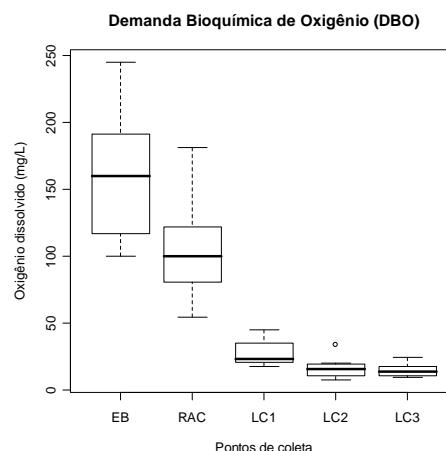


Figura 7 – Remoção de DBO_5 no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.



A figura 6 sugere que não houve diferença significativa entre o afluente e o efluente do RAC, o que indica um funcionamento inapropriado do reator, com eficiência média de remoção de 26%. Os fatores que podem relacionados ao mau funcionamento do RAC foram descritos anteriormente. Já os leitos podem ser

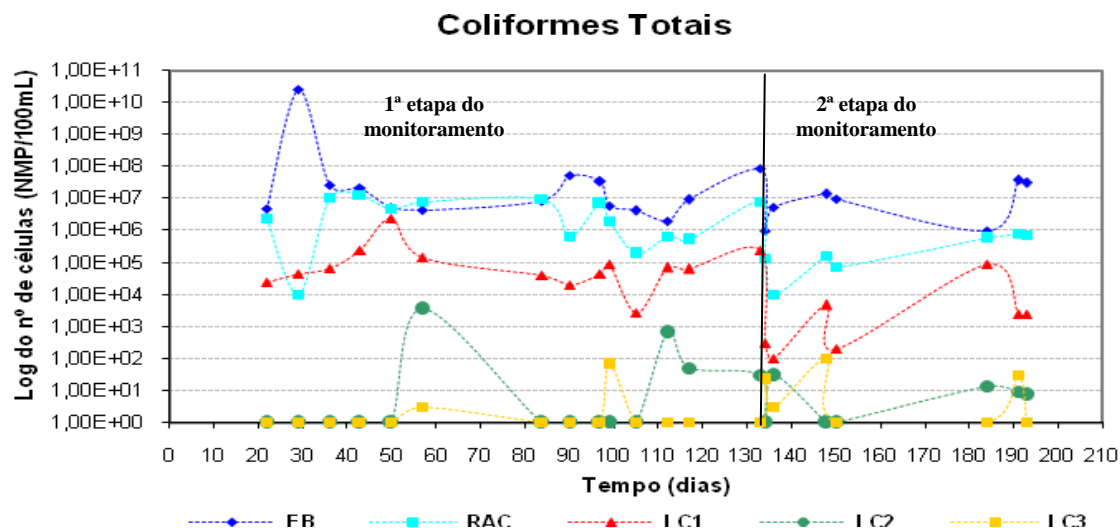


considerados estatisticamente diferentes do efluente do RAC, ou seja, admite-se que os leitos removeram matéria orgânica do material sob tratamento, considerando suas eficiências médias respectivamente para LC1, LC2 e LC3 de 53%, 64% e 51%. Entretanto, apesar das médias dos resultados indicarem maior eficiência de remoção para LC2, estatisticamente todos os leitos comportaram-se de forma semelhante.

A figura 7 apresenta resultados distintos em relação à figura 6. Nota-se que na vazão de 75mL/s obteve-se maior eficiência entre as etapas do tratamento. Neste caso o RAC removeu matéria orgânica na proporção de 34% em relação ao esgoto bruto. Os leitos apresentaram comportamentos diferenciados, sendo LC1 representativo diante do RAC, com 74% de remoção de matéria orgânica, porém menos eficaz que os demais, LC2 e LC3, que obtiveram respostas de 84% e 86% respectivamente, sendo considerados igualmente eficazes. No caso dos leitos 2 e 3, a composição do leito é predominantemente de escória de aciaria. Contrariando as expectativas, devido ao pH elevado do efluente, os melhores desempenhos foram nos leitos com presença de escória de aciaria, indicando que o pH não afetou de forma decisiva a população microbiana, indicando que a mesma passou por um processo bem sucedido de aclimação.

Nas séries históricas representadas na figura 8 estão descritos os resultados obtidos para o parâmetro coliformes totais na primeira e segunda etapa do monitoramento.

Figura 8 – Série histórica referente ao parâmetro coliformes totais no período de março de 2007 a março de 2008, com n=21. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



De acordo com os dados descritos acima nota-se, em ambos os períodos de monitoramento, a tendência de remoção de coliformes totais nas etapas do sistema de tratamento. O RAC apresentou taxa relativa à eficiência de remoção de 99,73% e os leitos de 94,71% para LC1, 99,99% para LC2 e 100,00 para LC3 na vazão de 50mL/s, enquanto na vazão de 75mL/s as eficiências obtidas foram de 97,48% para o RAC, 99,15% para LC1, 100,00% para LC2 e 99,99% para LC3, destacando a atuação dos leitos.

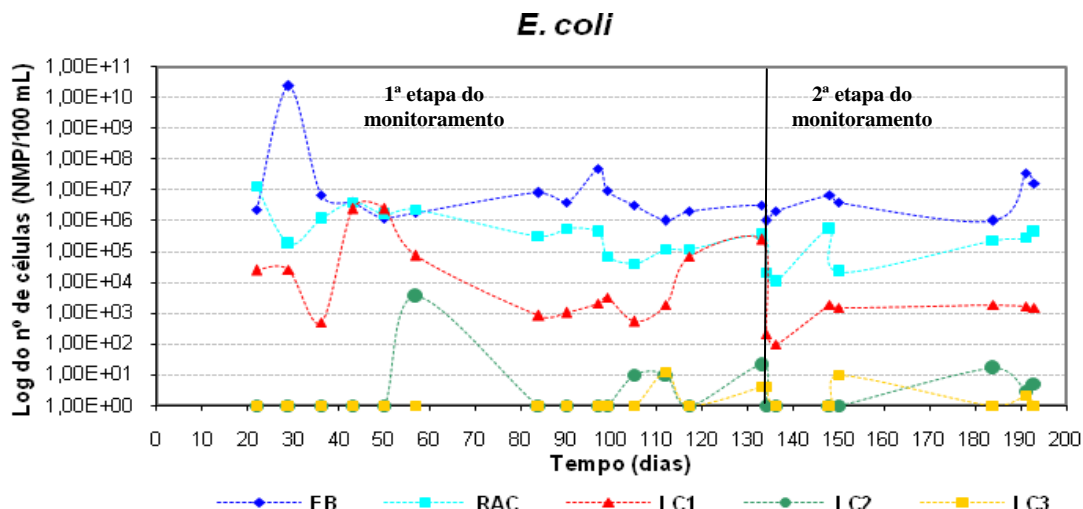
Apesar do bom desempenho de LC1, LC2 e LC3 obtiveram resultados excelentes, visto que em média, considerando a primeira vazão experimental (50mL/s), LC2 obteve 298NMP/100mL e LC3 5,0NMP/100mL. Na segunda vazão experimental, os resultados de LC2 e LC3 mantiveram a mesma tendência com valores para o número de células de 9,0NMP/100mL e 22,0NMP/100mL respectivamente.

De acordo com a legislação vigente para lançamento de efluentes (CONAMA 357), os valores médios obtidos por LC2 na vazão de 75mL/s e LC3 em ambas as vazões experimentais estão dentro da norma e aptos ao lançamento considerando o parâmetro analisado.

Os resultados das séries históricas das vazões experimentais de 50 mL/s e 75 mL/s observados nas análises de *E. coli* estão descritas na figura 9.



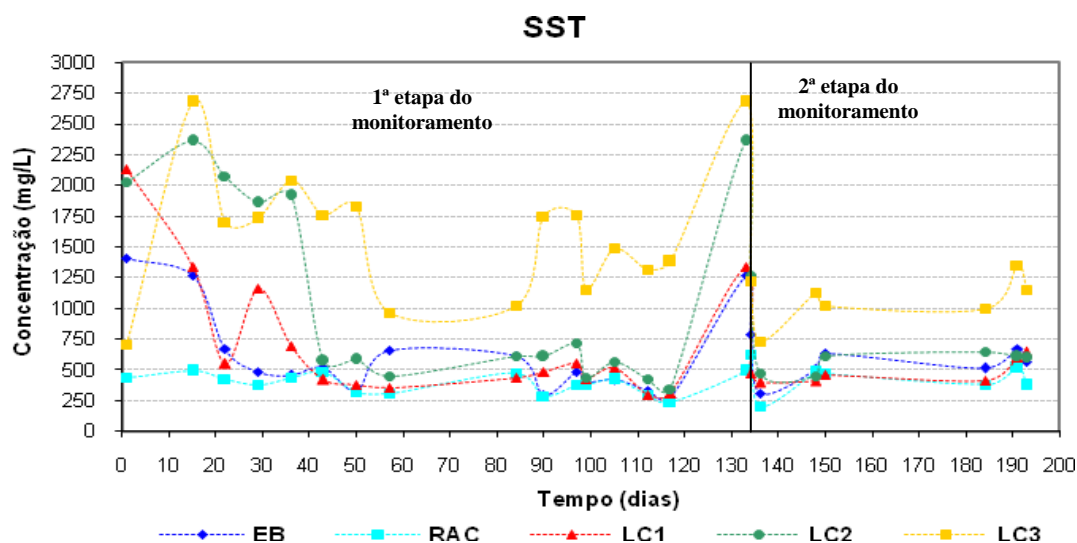
Figura 9 – Série histórica referente ao parâmetro *E. coli* no período de março de 2007 a março de 2008, com n=21. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



Os resultados obtidos por meio do logaritmo do número de células de *E. coli* indica um comportamento muito próximo ao descrito do item anterior no parâmetro coliformes totais, destacando o comportamento dos leitos 2 e 3. As eficiências de remoção para vazão de 50mL/s são de 99,90% para o RAC, 78,38% para LC1, 99,99 para LC2 e 100,00% para LC3. Na segunda vazão experimental aplicada (75mL/s) as taxas indicativas da eficiência de remoção foram de 97,89% para o RAC, 99,13% para LC1 e 100,00% para LC2 e LC3. Nota-se que para a maioria das análises realizadas no primeiro período de monitoramento, cuja vazão aplicada foi de 50mL/s, o resultado obtido indica valor inferior a 1NMP/100mL, atendendo a legislação vigente para lançamento de efluentes (CONAMA 357). O mesmo comportamento é observado na vazão de 75mL/s, contudo o desempenho de LC2 foi inferior ao de LC3.

As séries históricas resultantes das análises de sólidos totais nas vazões de 50mL/s e 75mL/s encontram-se descritas na figura 10.

Figura 10 – Série histórica referente ao parâmetro sólidos suspensos totais no período de março de 2007 a março de 2008, com n=23. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



Na primeira etapa do monitoramento os resultados destacaram-se pelos seus valores elevados, estes ainda mais acentuados nos leitos 2 e 3, ou seja, na presença da escória de aciaria.



O afluente do sistema (esgoto bruto) na vazão de 50mL/s, apresentou picos iniciais e finais possivelmente devido a períodos de interrupção do fornecimento de esgoto para o núcleo de pesquisa da UFES (Núcleo Água). Quando cessada a recepção do esgoto, uma parte do mesmo fica retida em tubulações promovendo acúmulo de sólidos e, com a volta do processo de bombeamento, pode ocorrer arraste do material sedimentado na tubulação gerando picos nas análises do material. Nota-se que os picos ocorreram no período de partida e após uma interrupção de aproximadamente 10 dias. O mesmo não foi percebido no período de interrupção entre 60 e 90 dias, pois as análises posteriores a este período foram realizadas após 2 dias da retomada do sistema.

Apesar da variabilidade inicialmente notada, o RAC atuou satisfatoriamente, à medida que possibilitou o amortecimento da carga, quando comparado aos demais pontos do sistema. Todavia, os leitos imprimiram grande elevação na quantidade de material particulado devido à presença de CaO liberado pela escória, sendo notado principalmente na fração dissolvida.

Na segunda etapa do monitoramento, os resultados foram mais constantes em relação à primeira etapa do monitoramento. Porém o comportamento dos leitos foi similar, elevando a carga de sólidos gerando em consequência a ineficiência do sistema. Essa elevação de sólidos no sistema de tratamento foi mais baixa na vazão de 75mL/s, fator possivelmente relacionado a tendência da escória a estabilização e liberação de menor carga de CaO.

A avaliação do desempenho da associação RAC + leitos, com relação à remoção de sólidos totais, pode ser realizada a partir dos gráficos das figuras 11 e 12.

Figura 11 – Remoção de SST no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.

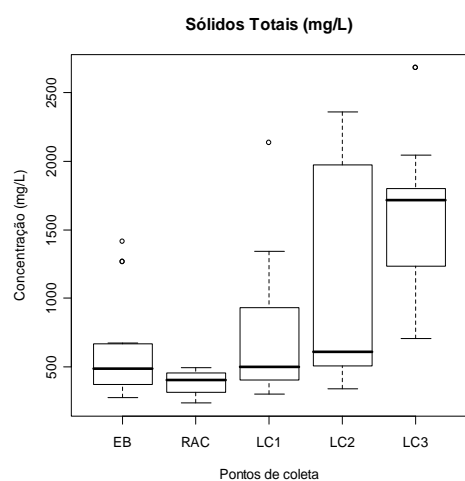
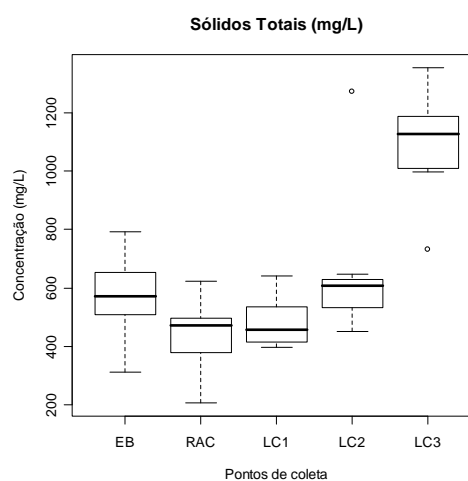


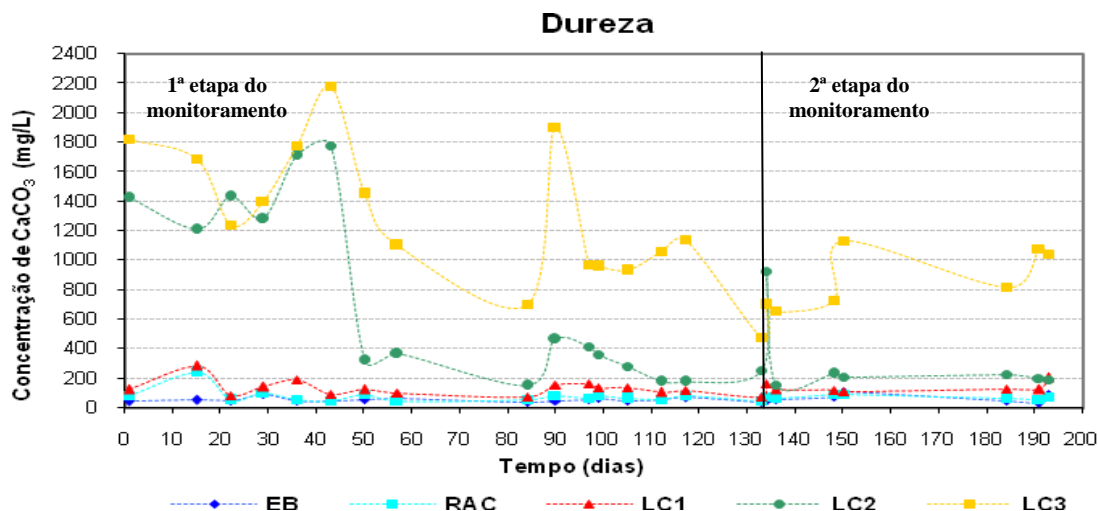
Figura 12 – Remoção de SsT no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH de 12,5h.



A partir das figuras, nota-se que em ambas as vazões o sistema foi ineficiente em relação à remoção de sólidos totais. A maior ineficiência foi obtida na vazão de 50mL/s para o leito LC3, chegando a triplicar os valores iniciais. Na aplicação de 75mL/s o pior resultado também foi obtido no LC3 com até o dobro dos valores iniciais. O desempenho negativo agregado ao LC3 deve-se a sua composição ser totalmente feita por escória de aciaria, elevando a liberação de compostos como CaO principalmente, e elevando ainda mais a carga de sólidos presentes no efluente.

O parâmetro dureza trata da concentração de cátions multimetálicos em solução. Dentre eles, os mais frequentes são os cátions bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . Quando condicionados a uma supersaturação, esses íons reagem com a água e formam precipitados. Os dados obtidos pelos períodos de monitoramento encontram-se descritos na figura 13.

Figura 13 – Série histórica referente ao parâmetro dureza no período de março de 2007 a março de 2008, com n=23. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



Baseado nos dados descritos na figura 13, referentes à vazão experimental de 50mL/s, pode-se afirmar que o parâmetro dureza está diretamente ligado à presença da escória de aciaria. Nota-se que em outros pontos do sistema de tratamento que os valores relativos ao parâmetro destacam-se nos leitos 2 e 3. Para os demais pontos de coleta, os resultados permanecem relativamente constantes, em torno de 54mg/L, 78mg/L e 131mg/L respectivamente para EB, RAC e LC1. Em termos de tratamento de águas, os valores acima citados são considerados moderados, pois variam de 50 a 150mg/L, como define o padrão de classificação. Dentro desta classificação, as águas residuárias provenientes de LC2 e LC3 seriam ditas muito duras, pois ultrapassam 300mg/L de CaCO_2 , visto que seus valores médios são de 737mg/L e 1300mg/L respectivamente. Os mesmos resultados supracitados são percebidos na vazão experimental de 75mL/s para quase todos os pontos de coleta, exceto LC2. EB, RAC e LC1 apresentam concentrações de 66mg/L, 73mg/L e 139mg/L respectivamente. No LC2 percebe-se uma queda na concentração de CaCO_2 , fato este possivelmente relacionado a um processo de estabilização ou desgaste decorrente da lixiviação na escória de aciaria, apresentando concentração média de 304mg/L. O LC3 foi o leito cultivado cuja composição foi feita totalmente por escória de aciaria, em consequência, apresentou os maiores valores de dureza, com média de 878mg/L. Apesar do elevado valor obtido, nota-se uma redução em relação à primeira vazão experimental. Objetivando melhor visualização do comportamento do sistema em relação ao parâmetro discutido, são mostradas as figuras 14 e 15.

Figura 14 – Remoção de dureza no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.

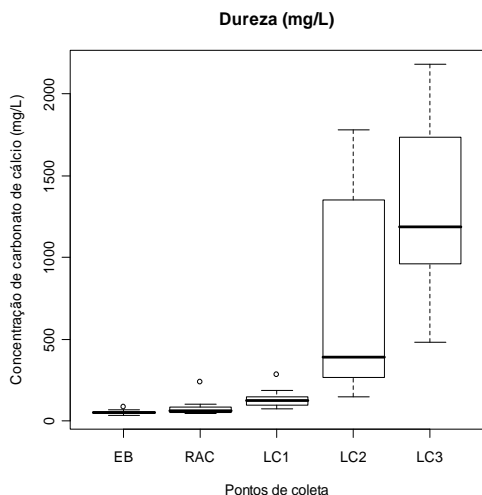
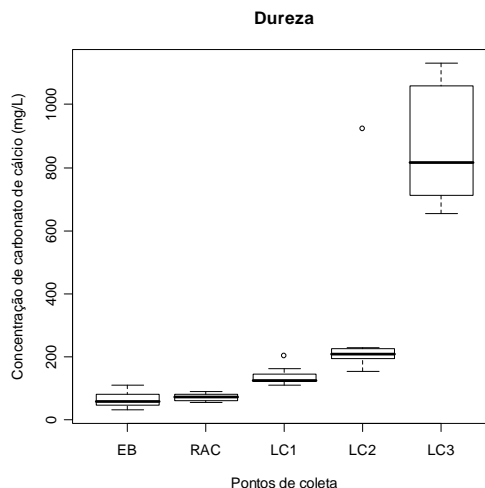


Figura 15 – Remoção de dureza no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.

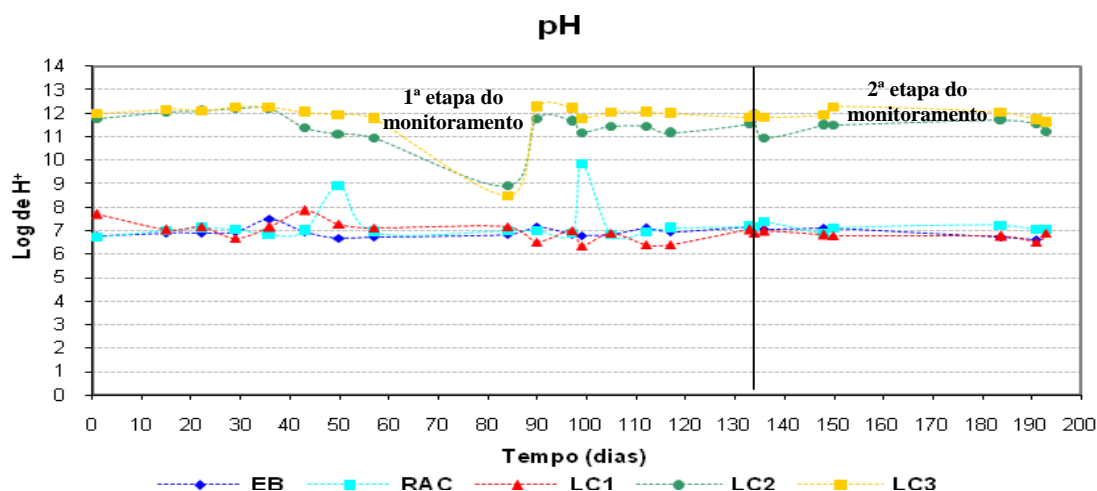




A figura 16 indica valores mais baixos do EB, do RAC e do LC1. O LC2 apresentou valores muito elevados, porém esses valores são estatisticamente distintos de LC3, visto que estes foram ainda mais elevados. Em nenhum ponto de coleta foi observada a remoção de dureza, ao contrário, todo sistema foi ineficiente. Os mesmos resultados foram obtidos na segunda vazão experimental.

Na figura 16 estão descritas as séries históricas obtidas por meio de análises do parâmetro pH.

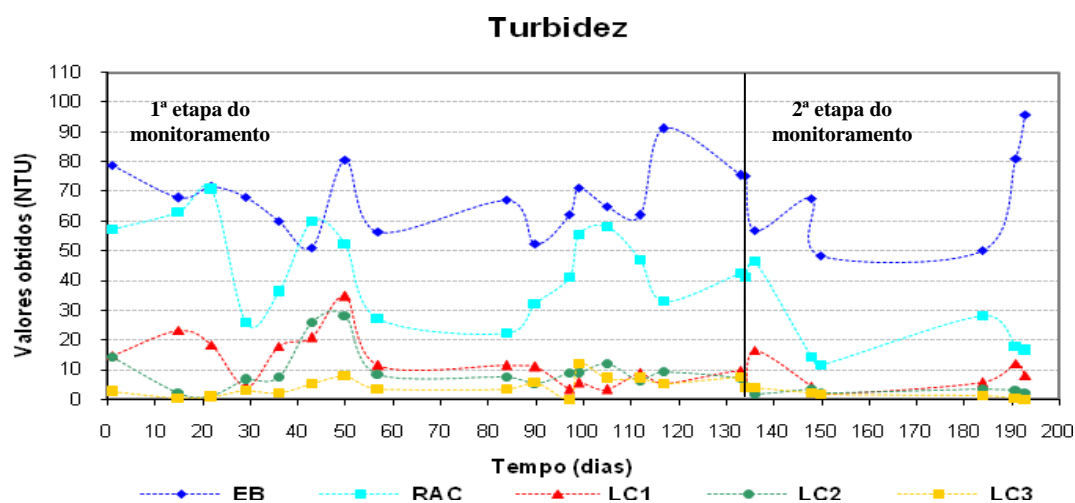
Figura 16 – Série histórica referente ao parâmetro pH no período de março de 2007 a março de 2008, com n=23. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



O comportamento do parâmetro é bastante similar em ambas as vazões, apresentando valores próximos da neutralidade para EB, RAC e LC1, em média 6,9 para EB, 7,3 para RAC e 7,0 para LC1, na vazão de 50mL/s e 7,0 para EB, 7,1 para RAC e 6,8 para LC1, na vazão de 75mL/s. Contudo, LC2 e LC3 obtiveram resultados de pH bastante elevados. Na vazão de 50mL/s os valores foram de 11,4 e 11,8 respectivamente para LC2 e LC3, enquanto na vazão de 75mL/s os valores foram de 11,5 e 11,9 para LC2 e LC3 respectivamente, indicando alcalinidade de efluente. Este fato deve-se a presença da escória e sua solubilização no efluente, liberando íons como Ca²⁺ provenientes do CaO presente em grandes quantidades na escória de aciaria, devido a sua importância na produção do aço.

Na figura 17 estão descritos os resultados obtidos nos períodos de análises referentes ao parâmetro turbidez.

Figura 17 – Série histórica referente ao parâmetro turbidez no período de março de 2007 a março de 2008, com n=23. A linha indica a mudança de vazão no período experimental.



De acordo com a figura acima, que retrata o comportamento do parâmetro turbidez na primeira etapa do monitoramento, seus valores apresentaram variabilidade mais acentuada de 50 a 90NTU e 30 a 70NTU respectivamente no EB e RAC, enquanto os leitos 1 e 2 mantiveram variações menores, em torno de 10 a 30NTU. LC3 foi o leito com melhor desempenho, com variação aproximada de 10NTU. As médias obtidas no período são de 68NTU, 45NTU, 13NTU, 10NTU e 5NTU para EB, RAC, LC1, LC2 e LC3 respectivamente.

A segunda etapa do monitoramento indica valores em média mais baixos do que na primeira etapa do monitoramento, sendo 68NTU, 25NTU, 8NTU, 3NTU e 2NTU os respectivos valores para EB, RAC, LC1, LC2 e LC3. As figuras 18 e 19 mostram a remoção de turbidez no sistema de tratamento, indicada pelos valores supracitados.

Figura 18 – Remoção de turbidez no período de março a agosto de 2007 para vazão de 50mL/s e TDH 19h.

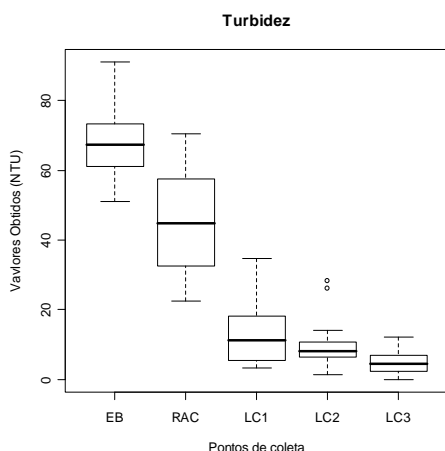
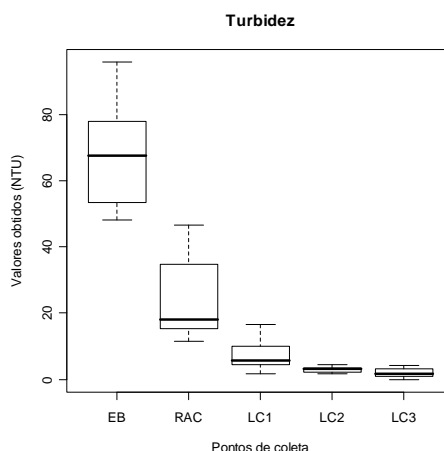


Figura 19 – Remoção de turbidez no período de janeiro a março de 2008 para vazão de 75mL/s e TDH 12,5h.



As taxas de remoção representadas na figura 95 são de 33%, 72%, 78% e 90% para os respectivos pontos de coleta RAC, LC1, LC2 e LC3, na vazão de 50mL/s. Por sua vez, a figura 96, representação gráfica do segundo período de monitoramento, apresenta as seguintes taxas de remoção, referentes à vazão de 75mL/s: 63% para RAC, 70% para LC1, 88% para LC2 e 92% para LC3.

Para a vazão de 50mL/s, todas as etapas do sistema de tratamento (RAC e leitos) foram eficientes na remoção de turbidez. Contudo, houve diferenciação entre os leitos 1 e 2 em relação ao LC3. LC3 foi o leito com melhor desempenho de acordo com a análise estatística realizada por meio do teste de *Wilcoxon-Mann-Whitney* com probabilidade de erro de 5%.

Para a vazão de 75mL/s, as etapas do sistema de tratamento foram eficientes, assim como na vazão experimental anteriormente citada. Entretanto, a diferença entre os leitos ocorreu entre LC1 e os demais, indicando que LC2 e LC3 apresentaram maior eficiência de remoção de turbidez.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

De acordo com o parâmetro DQO_i, nota-se que ocorreu remoção de matéria orgânica de forma significativa em ambas as etapas do tratamento (RAC e leitos), nas duas vazões experimentais analisadas (50mL/s e 75mL/s). Contudo, LC3 destacou-se perante os demais leitos na vazão de 75mL/s, apresentando maior capacidade de remoção de matéria orgânica.

A análise da fração biodegradável da matéria orgânica indicou ineficiência do RAC na primeira vazão experimental. O mesmo não foi notado na segunda vazão experimental, com eficiência de remoção em torno de 34%.

Os leitos foram eficazes em ambas as vazões experimentais na remoção de matéria orgânica biodegradável. No entanto, na vazão de 50mL/s, os leitos não indicaram diferenciação significativa entre si. O mesmo não foi



percebido na segunda vazão experimental, na qual os leitos com presença de escória obtiveram melhores resultados em relação ao leito sem escória. Além disso, notou-se que a vazão de 75mL/s destacou-se em relação a vazão de 50mL/s, ou seja, apesar do desempenho favorável dos leitos para as duas vazões, a vazão de 75mL/s obteve maiores taxas de remoção.

O sistema de tratamento utilizado na presente pesquisa foi ineficiente na remoção de sólidos suspensos totais para ambas as vazões, verificando que o RAC não apresentou diferenças significativas em relação ao esgoto bruto. Por sua vez, os leitos demonstraram acúmulo de sólidos, principalmente na vazão de 50mL/s, na qual LC2 e LC3 obtiveram os maiores valores absolutos de sólidos totais para ambas as vazões. Na vazão de 75mL/s, LC3 destacou-se pelo maior acúmulo de sólidos.

O sistema apresentou elevada dureza após a passagem pelos leitos 2 e 3, ou seja, leitos com presença de escória, apresentando aumento bastante significativo. Notou-se melhor desempenho da segunda vazão experimental, com valores absolutos mais baixos.

A primeira etapa do tratamento implementado na presente pesquisa apresentou pH próximo da neutralidade. Contudo, a segunda etapa do tratamento mostrou aumento do pH para LC2 e LC3, nos quais havia presença de escória. Os valores obtidos estão em torno de 11,0 a 14,0. O mesmo resultado foi obtido em ambas as vazões experimentais.

O sistema de tratamento em suas etapas foi eficiente na remoção de turbidez. Dentre os leitos na vazão de 50mL/s, LC3 foi o que apresentou melhor desempenho. Na vazão de 75mL/s, LC2 e LC3 obtiveram melhores resultados em relação a LC1. Notou-se diferenças entre as vazões, sendo 75mL/s mais indicada para remoção de turbidez.

A remoção dos contaminantes microbiológicos analisadas pela quantidade de células de coliformes totais e *E. coli* em 100mL da amostra indica grande capacidade da escória de aciaria na eliminação dos elementos supracitados. Na vazão de 50mL/s apenas LC3 apresentou resultados que atendem ao padrão de lançamento de efluentes do CONAMA, contudo a remoção no LC2 foi muito expressiva, chegando a valores próximos ao exigido pela legislação ambiental vigente. A segunda vazão experimental obteve melhor desempenho, visto que LC2 e LC3 obtiveram valores abaixo de 100 NMP/100mL, como determina a legislação em vigência.

A segunda vazão experimental (75mL/s) apresentou melhores resultados em relação a primeira vazão experimental (50mL/s) no sistema de tratamento analisado na presente pesquisa, indicando que o sistema-piloto de tratamento trabalhou abaixo da sua capacidade na primeira vazão experimental.

Na ETA Morrinhos, o cloreto férrico pode ser mais eficiente do que o sulfato de alumínio devido aos elevados valores de alcalinidade e pH;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA & WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19a edição, Washington D. C./USA, American Public Health Association, 1995.
2. BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A., FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no sistema de tratamento de esgoto doméstico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 133 – 137. Campina Grande, PB. 2005.
3. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 142, n. 53, 18 mar. Seção 1, p. 58-63.
4. KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. Treatment Wetlands. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.
5. NEDER, D. K.; QUEIROZ, T. R.; SOUZA, M. A. A. Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2007.
6. SOUZA, W. G. Associação em série de um reator anaeróbio compartimentado, uma lagoa de polimento e um sistema de pós-tratamento físico-químico para tratamento terciário de esgoto sanitário. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.