

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA

**DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS
CINZAS E NEGRAS PARA RESIDÊNCIAS RURAIS, ENVOLVENDO
FILTROS ORGÂNICOS E REATORES SOLARES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R672d
2013

Rocha, André Luiz Marques, 1976-

Desempenho de estações de tratamento de águas cinzas e
negras para residências rurais, envolvendo filtros orgânicos e
reatores solares / André Luiz Marques Rocha. – Viçosa, MG,
2013.

106f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Antônio Alves Soares

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 92-98

1. Água - Estações de tratamento. 2. Água - Reuso.
3. Águas residuais - Purificação. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 628.16

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA

**DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS
CINZAS E NEGRAS PARA RESIDÊNCIAS RURAIS, ENVOLVENDO
FILTROS ORGÂNICOS E REATORES SOLARES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de fevereiro de 2013.

Sandra Parreiras Pereira Fonseca

Milton Edgar Pereira-Flores

Alisson Carraro Borges
(Presidente da Banca)

***Aos meus pais amados,
Diana Cleide e Carlos Magno.***

Dedico.

***À minha esposa Silvana,
fonte de carinho, compreensão,
companheirismo e amor sincero.***

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, por estar sempre no meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Aos meus irmãos, Carla Beatriz, Marcus Vinícius, Carlos Magno Júnior, à minha afiliada Gabriella e demais membros da família, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização e conquista desse desafio.

Ao orientador Professor Antônio Alves Soares, pela confiança e por seu apoio para o amadurecimento de meus conhecimentos e conceitos, o que me possibilitaram a conclusão desta dissertação.

Aos Professores Alisson Borges e Rafael Batista, que mesmo à distância, sempre estiveram presentes durante essa jornada, com a persistência e dinamismo inesgotáveis.

Aos Professores Antônio Teixeira de Matos, Everardo Mantovani e Cecília de Fátima Souza, que me deram apoio durante a graduação e incentivo para retornar ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de desenvolvimento tecnológico e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela concessão de recursos financeiros para a montagem dos sistemas de tratamento e desenvolvimento dos experimentos.

Aos amigos Sady, Danilo, Eduardo, Emerson Leoni, Márcia, David, Valdeir Eustáquio, Ednaldo, Gheila, Júlio, Gustavo, Luan e amigos da Intec Consultoria Ltda, pelo convívio direto, incentivo e pelo apoio constante.

Ao amigo Gilberto Estanislau, pelo auxílio durante a montagem e monitoramento do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, que participaram direta e indiretamente para a conclusão desse trabalho.

Aos proprietários das residências rurais que acreditaram e contribuíram para o desenvolvimento do projeto.

BIOGRAFIA

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA, filho de Diana Cleide Marques Rocha e Carlos Magno da Rocha, nasceu em Ponte Nova, Minas Gerais, em 02 de julho de 1976.

Em 1992, iniciou o ensino médio no Colégio de Aplicação (COLUNI) na Universidade Federal de Viçosa, onde concluiu em 1994.

Em 1999, matriculou-se no curso de Engenharia Agrícola, que posteriormente foi reformulado para Engenharia Agrícola e Ambiental, graduando-se em janeiro de 2005.

Durante o curso de graduação, dedicou-se a colaboração de pesquisas científicas e participação em estágios nas áreas de irrigação e drenagem, construções rurais e tratamento e manejo de resíduos agroindustriais.

Após sua formatura, seguiu para a aplicação dos seus conhecimentos técnicos e científicos adquiridos durante a sua graduação, destacando atividades no setor de gerenciamento de irrigação e recuperação de áreas degradadas pelas atividades de mineração com a utilização de técnicas de bioengenharia.

Em 2010, retornou à Viçosa, Minas Gerais, onde ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Recursos Hídricos e Ambientais, da Universidade Federal de Viçosa, na Linha de Pesquisa de Tratamento e Manejo de Resíduos Agroindustriais, submetendo-se a defesa de sua dissertação em fevereiro de 2013.

Concomitantemente ao Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em 2010, também ingressou no Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu*, em nível de Especialização, em Engenharia de Segurança do Trabalho, submetendo-se a defesa de sua monografia em fevereiro de 2012.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Caracterização dos esgotos domésticos	20
2.2. Impactos ambientais causados pelos esgotos domésticos	22
2.3. Legislação ambiental aplicada à disposição dos efluentes e esgotos domésticos nos corpos hídricos receptores	23
2.4. Tratamento e disposição final de águas residuárias domésticas	26
2.5. Caracterização e aproveitamento de águas cinzas e águas negras	29
2.6. Alternativas para o reuso das águas cinzas e negras	32
2.7. Riscos e padrões de qualidade para o reuso de águas cinzas e negras em residências rurais	35
3. MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1. Contextualização da Pesquisa	42
3.2. Eficiência da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) e da estação de tratamento de águas negras (ETAN)	43
3.3. Funcionamento e aspectos construtivos da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)	44
3.3.1. Filtro Biológico	43
3.3.2. Reatores Solares	43
3.3.3. Sumidouro	44
3.4. Funcionamento e aspectos construtivos da estação de tratamento de águas negras (ETAN)	47
3.4.1. Caixa de Gordura	49
3.4.2. Tanque Séptico	49
3.4.3. Filtro Biológico	49
3.4.4. Reatores Solares	50
3.4.5. Sumidouro e Fertirrigação	50
3.5. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)	53
3.6. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)	59
4.2. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)	76
5. CONCLUSÕES	90
5.1. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)	90
5.2. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)	91

6. REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 - Planta baixa (a) e vista lateral (b) do sistema de tratamento de água cinza.....	47
Figura 2 - Planta baixa (a) e vista lateral (b) do sistema de tratamento de água negra.....	48
Figura 3 - Ilustração do sistema de tratamento de água cinza, destacando o filtro (a) e o reator solar (b).....	52
Figura 4 - Ilustração dos componentes implantados para tratamento de água cinza: (a) residência escolhida; (b) área destinada a implantação dos protótipos; (c) filtro e reatores solares; e (d) sumidouro do sistema.....	54
Figura 5 - Ilustração dos protótipos confeccionados em fibra de vidro para o tratamento de água negra, destacando o caixa de gordura (a), o tanque séptico (b), o biofiltro (c) e o reator solar (d).....	58
Figura 6 - Ilustração dos protótipos implantados para tratamento de água negra: (a) caixa de gordura; (b) tanque séptico; (c) filtro biológico e reatores solares; e (d) vista geral do sistema.....	61
Figura 7 - Ilustração do sistema de tratamento de águas cinzas incluindo os pontos de monitoramento.....	63
Figura 8 - Ilustração do sistema de tratamento de águas negras incluindo os pontos de monitoramento.....	64
Figura 9 - Ilustração dos protótipos e do mini-sistema de fertirrigação implantados para tratamento de água negra: (a) filtro biológico com cobertura anti-pássaros; (b) reator solar com motobomba acoplada; (c) linhas de derivação e laterais antes de serem enterradas; e (d) detalhe do gotejador utilizado no sistema.....	65
Figura 10 - Gráficos ilustrando as características físicas, químicas e microbiológicas das amostras de efluentes coletadas no ponto 1 (efluente da entrada do filtro biológico) e 3 (efluente do reator solar) da mini-estação de tratamento de águas cinzas.....	68
Figura 11 - Gráficos ilustrando as características físicas, químicas e microbiológicas das amostras de efluentes coletadas no ponto 1 (efluente da entrada do tanque séptico) e 4 (efluente do reator solar) da mini-estação de tratamento de águas negras.....	69
Figura 12 – Concentrações médias de Sólidos Totais (ST) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de ST da estação de	

tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem.....	70
Figura 13 – Concentrações médias de Sólidos Suspensos Totais (SST) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de SST na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem.....	71
Figura 14 – Concentrações médias de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de P_{total} na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC).....	72
Figura 15 – Concentrações médias de nitrogênio total (N_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de N_{total} na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC).....	73
Figura 16 – Concentração média de Óleos e Graxas (OG) no Ponto 1(entrada) e Ponto 3 (saída), e eficiência de remoção média de OG na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC).....	74
Figura 17 – Concentrações médias de Condutividade elétrica (CE) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de CE na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	78
Figura 18 – Concentrações médias de Turbidez (TB) para o Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de TB na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	79
Figura 19 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Totais (CT) nos Pontos 1 e 4, e eficiência de remoção média de CT na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	80
Figura 20 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) nos Pontos 1 e 4, e eficiência de remoção.....	80
Figura 21 – Concentrações médias da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de DQO na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	84
Figura 22 – Concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de DBO na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	85
Figura 23 – Concentrações médias de Sólidos Totais (ST) no Ponto 1	

e Ponto 4, e eficiência de remoção média de ST da estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	85
Figura 24 – Concentrações médias de Sólidos Suspensos Totais (SST) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de SST na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem.....	86
Figura 25 – Concentrações médias de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de P_{total} na estação de tratamento de águas negras (ETAN).....	87
Figura 26 – Concentrações médias de nitrogênio total (N_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de N_{total} na estação de tratamento de águas negras (ETAN).....	88
Figura 27 – Concentração média de Óleos e Graxas (OG) no Ponto 1(entrada) e Ponto 4 (saída), e eficiência de remoção média de OG na estação de tratamento de águas negras (ETAN).....	89
Figura 28 – Planta baixa (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC): Biofiltro, Reator Solar I, Reator Solar II e Sumidouro.....	100
Figura 29 – Corte (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC): Biofiltro, Reator Solar I, Reator Solar II e Sumidouro.....	100
Figura 30 – Planta baixa (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas negras (ETAN): Tanque Séptico, Biofiltro, Reator Solar I (RS I) e Reator Solar II (RS II).....	103
Figura 31 – Corte (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas negras (ETAN): Tanque Séptico, Biofiltro, Reator Solar I (RS I), Reator Solar II (RS II) e Sumidouro.....	103

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1 – Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento.....	21
Tabela 2 – Características biológicas de esgotos domésticos sem tratamento.....	22
Tabela 3 – Resumo dos padrões complementares de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme as legislações dos Estados de Santa Catarina (SC), Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS).....	24
Tabela 4 – Resumo dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1/2008.....	31
Tabela 5 – Características físicas, químicas e biológicas de águas cinzas originadas de várias fontes.....	36
Tabela 6 – Padrões propostos no Manual da Federação das Indústrias de São Paulo (FIESP) para Reuso de Águas Classe 1 (águas para descarga sanitária, lavagem de roupas).....	37
Tabela 7 – Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados a montante e jusante dos protótipos de tratamento de água cinza ao longo do período experimental.....	39
Tabela 8 – Dados de radiação solar global para o município de Viçosa-MG, durante o período de 21/07/2009 a 01/10/2009.....	41
Tabela 9 – Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P3) do sistema de tratamento de águas cinzas.....	60
Tabela 10 – Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados nos protótipos de tratamento de água negra ao longo do período experimental.....	62
Tabela 11 – Dados de radiação solar global para o município de Viçosa-MG, durante o período de 05/05/2009 a 25/06/2009.....	65
Tabela 12 – Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P4) do sistema de tratamento de águas negras.....	67

Tabela 13 – Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P3) da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC).....	74
Tabela 14 – Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TU), Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) presentes nas águas negras coletados a montante e jusante dos componentes da ETAN ao longo do período experimental.....	77
Tabela 15 – Dados de radiação solar global para o município de Viçosa-MG, durante o período de amostragem de 05/05/2009 a 05/06/2009.....	81
Tabela 16 – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Óleos e Graxas (OG) presentes nas amostras de águas negras coletadas a montante e jusante dos componentes da ETAN ao longo do período experimental.....	82
Tabela 17 – Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P4) da estação de tratamento de águas negras (ETAN).....	89

RESUMO

ROCHA, André Luiz Marques, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Desempenho de estações de tratamento de águas cinzas e negras para residências rurais, envolvendo filtros orgânicos e reatores solares.** Orientador: Antônio Alves Soares. Coorientador: Alisson Carraro Borges.

A água de reuso é uma opção promissora do ponto de vista ambiental, já que contribui para diminuição da captação e conseqüentemente redução nas vazões de lançamento de efluentes. O lançamento de águas cinzas e águas negras sem tratamento no ambiente deprecia a qualidade de vida das populações em função do surgimento de várias doenças. O presente trabalho objetivou monitorar e avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) e de uma estação de tratamento de águas negras (ETAN), visando o reaproveitamento não-potável das águas cinzas e das águas negras em comunidades rurais de baixa renda. A ETAC foi montada na comunidade rural Macena, no município de Viçosa-MG. Tal sistema era constituído de biofiltro, reatores solares e sumidouro, o qual foi monitorado no período de 23 de julho de 2009 a 01 de outubro de 2009. As análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes foram realizadas em distintos pontos do sistema para avaliação do desempenho. A ETAC foi montada no Delineamento Inteiramente Casualizado com três tratamentos (pontos de amostragem) e cinco repetições no tempo. De acordo com os resultados obtidos durante a avaliação da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC), conclui-se que a (ETAC) proporcionou eficiências médias de remoções de 28%, 56%, 71,3%, 76,5%, 52,5%, 71%, 61%, 4,6% e 87% nas concentrações de Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}) e Óleos e Graxas (OG), respectivamente. Com relação às características microbiológicas, a ETAC obteve uma eficiência de remoção média de *E. coli* de 3 unidades logarítmicas. A ETAN foi montada na comunidade rural de Água Limpa do município de Cajuri-MG. Tal sistema foi constituído de caixa de gordura, tanque séptico, biofiltro, reatores solares

e sumidouro, o qual foi monitorado no período de 7 de maio de 2009 a 25 de junho de 2009. As análises físico-químicas e microbiológicas dos efluentes foram realizadas em distintos pontos do sistema para avaliação do desempenho. O experimento para tratamento de águas negras foi montado no Delineamento Inteiramente Casualizado com quatro tratamentos (pontos de amostragem) e seis repetições no tempo. De acordo com os resultados obtidos durante a avaliação da estação de tratamento de águas negras (ETAN), conclui-se que a (ETAN) proporcionou eficiências médias de remoções de 46%, 88%, 78,2%, 85,8%, 61,5%, 91%, 75%, 14,4% e 67,8% nas concentrações de Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}) e Óleos e Graxas (OG), respectivamente. Com relação às características microbiológicas, a ETAN proporcionou uma eficiência de remoção média de *E. coli* de 2 unidades logarítmicas.

ABSTRACT

ROCHA, André Luiz Marques, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Performance overview of grey and black water treatment plants for rural residences, involving organic filters and solar reactors.** Adviser: Antônio Alves Soares. Co-adviser: Alisson Carraro Borges.

The water reuse is a promising alternative for the viewpoint of the environment, contributing to reduced absorption and reduces the flow of effluent discharge. The release of greywater and untreated sewage depreciates environmental quality of life of populations due to the onset of various diseases. This study aimed to monitor and evaluate the capacity of a treatment plant for greywater and a treatment of sewage, for non-potable reuse of greywater and blackwater in communities low-income rural. The treatment plant grey water was set up in the rural community Macena in Viçosa-MG. This system consists of biofilters, solar reactors and sinkhole, which was controlled in the period from July 23, 2009 to October 1, 2009. The physico-chemical and microbiological characteristics of the effluents were realized in different parts of the performance evaluation system. The treatment plant greywater was mounted in a completely randomized design with three treatments (sampling points) and five replications in time. According to the results obtained during the evaluation of the water treatment station ash, it is concluded that this treatment station gave mean elimination efficiency of 28%, 56%, 71.3%, 76.5 %, 52.5%, 71%, 61%, 4.6% and 87% concentrations of electrical conductivity, turbidity, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total solids, total suspended solids, total phosphorus, total oil and grease, nitrogen, respectively. Regarding the microbiological characteristics, the treatment plant greywater obtained an average efficiency of removal of *E. coli* three logarithmic units. The station blackwater treatment was mounted in the rural community of Água Limpa, in Cajuri-MG. This system consisted of the grease trap, septic tank, biological filter, solar reactors and the sinkhole, which is monitored in the period from May 7, 2009 to June 25, 2009. The physico-chemical and microbiological characteristics of the effluents were carried out in different parts of the performance evaluation system. Experience in wastewater treatment was mounted in a completely randomized design with four treatments (sampling points) and six replications in time. According to the results obtained during the evaluation of treatment plant sludge, it follows that a gave mean elimination efficiency of 46%, 88%, 78.2%, 85.8%, 61.5%, 91%, 75%, 14.4% and 67.8% to levels of electrical conductivity, turbidity, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total solids, total suspended solids, total phosphorus, nitrogen total, oil and grease, respectively. Regarding the

microbiological characteristics, the station blackwater treatment obtained an average efficiency of removal of *E. coli* two logarithmic units.

1. INTRODUÇÃO

A água é o elemento fundamental da vida. Seus múltiplos usos são indispensáveis a um largo espectro das atividades humanas, onde se destacam, entre outros, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática (von Sperling, 2005).

Atualmente, a água se constitui no fator limitante para o desenvolvimento agrícola, urbano e industrial, tendo em vista que a disponibilidade per capita de água doce vem sendo reduzida rapidamente, face ao aumento gradativo da demanda por seus múltiplos usos e à contínua poluição dos mananciais ainda disponíveis (Ana, Fiesp, Sinduscon – SP, 2005).

Encontrada na natureza e essencial a vida no nosso planeta, percebe-se, no entanto, que o volume de água disponível para consumo tem se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam o aumento, o que nos leva a observar, nos últimos anos, que o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos há, ainda, muito a ser aprimorado (May e Hespanhol, 2008).

Entende-se por poluição das águas, a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dela são feitos. Existem duas formas de poluição num corpo d'água: a pontual, em que os poluentes chegam ao corpo d'água de forma concentrada no espaço; e a difusa, na qual os poluentes atingem o corpo d'água de forma distribuída na sua extensão (von Sperling, 2005).

A inadequação dos serviços de saneamento básico é a principal causa de doenças e de poluição ambiental no mundo. De acordo com o HDR (UNDP, 2006), cerca de 2,6 bilhões de habitantes moram em domicílio sem rede de esgoto, dos quais 660 milhões sobrevivem com menos de dois dólares por dia. Em detrimento disso, anualmente, cerca de 1,7 milhões de

crianças morrem em resultado direto de diarreia e de outras doenças provocadas por más condições de saneamento.

Um dos maiores problemas ambientais enfrentados pelos habitantes brasileiros é a falta de tratamento dos esgotos sanitários, aos quais são lançados in natura nos solos acarretando contaminação das águas e, conseqüentemente, sérios problemas de saúde pública, como cólera, hepatites, verminoses e diarreias. A população de baixa renda e a rural são as que mais sofrem com este problema, devido à falta de conscientização e de investimentos governamentais. Segundo o IBGE (2010), no Brasil, 47,2% da população não possui rede coletora de esgoto nem ao menos fossa séptica, ou seja, quase 100 milhões de habitantes não dispõem desses serviços. Em sua Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, o IBGE identificou que 44,8% dos municípios brasileiros não possuíam rede coletora de esgoto doméstico bruto. Além disso, no Brasil apenas 28,5% dos municípios dispõem de sistema para tratamento de esgoto doméstico bruto.

A ausência, total ou parcial, de serviços públicos de esgotos sanitários nas áreas urbanas, suburbanas e rurais exige a implantação de algum meio de disposição dos esgotos locais com o objetivo de evitar a contaminação do solo e da água. Em sua maioria, estas regiões são também desprovidas de sistemas públicos de abastecimento de água e utilizam poços rasos como fonte de suprimento de água, razão pela qual se exige extremo cuidado para evitar a contaminação da água de subsolo. Os cuidados são exigidos, pois acarreta a decomposição da matéria orgânica aumentando, assim, a presença de microorganismos patogênicos que oferecem risco à saúde humana (Coraucchi Filho *et al.*, 2001).

Os esgotos sanitários são constituídos de matéria orgânica – proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microorganismos, sais orgânicos e componentes dos detergentes e alvejantes – e inorgânica – sais formados de ânions (cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio). Os esgotos sanitários caracterizam-se pela grande quantidade de matéria orgânica biodegradável, responsável pela depleção do oxigênio nos cursos de água, como resultado da estabilização pelas bactérias. Estes efluentes líquidos apresentam, ainda, nutrientes e organismos patogênicos que podem causar efeitos deletérios no corpo

receptor, dificultando ou mesmo inviabilizando o seu uso para outro fim (von Sperling, 2005).

Anualmente são registrados 5 (cinco) bilhões de casos de diarreia nos países em desenvolvimento em decorrência da ausência de esgotamento sanitário. As doenças de veiculação hídrica matam 1,8 milhões de crianças menores de cinco anos por ano, sendo a segunda principal causa de morte na infância, perdendo apenas para doenças respiratórias (UNDP, 2006)

A população urbana e rural, ciente da degradação ambiental causada pelo lançamento de efluentes nos corpos hídricos receptores e diante da ação fiscalizadora implementada por órgãos ambientais, busca soluções específicas no sentido de tratar, dispor ou reutilizar os resíduos.

O reuso de água já vem sendo amplamente empregado na indústria, principalmente em torres de resfriamento, caldeiras, construção civil, irrigação de áreas verdes e em alguns processos industriais onde a utilização de água com menor padrão de qualidade não ocasione maiores problemas. Desta forma, o reuso de água para fins não potáveis deve ser considerado como primeira opção para reuso (Hespanhol e Mierzwa, 2000).

O aproveitamento de águas residuárias em residências rurais é uma opção promissora, do ponto de vista ambiental, já que contribui para diminuição da captação e, conseqüentemente, redução nas vazões de lançamento de efluentes. Entretanto, para que possa ser utilizada, deve-se levar em conta a questão da saúde pública, observando, principalmente, os padrões adotados em legislações vigentes.

O conceito de saneamento ecológico é baseado no princípio de separação dos fluxos dos diferentes tipos de efluentes domésticos, de acordo com suas características, visando reutilizá-los ou minimizá-los para reduzir sua liberação ao meio ambiente (Bazzarela, 2005). Nesse sentido, a segregação do esgoto doméstico em águas cinzas e águas negras, torna-se uma alternativa tecnicamente viável para o aproveitamento ou reuso não potável das mesmas.

A segregação de águas residuárias na escala residencial permite soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos, aumentando a eficiência da reciclagem de água e de nutrientes, permitindo ao mesmo tempo uma redução no consumo de

energia em atividades de saneamento. Para Otterpohl (2001), o esgoto doméstico gerado nas residências pode ser segregado em:

- a) Água negra (*blackwater*): efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Águas negras segregadas das demais resultam em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos. Os lodos podem ser aproveitados na agricultura e o biogás valorizado do ponto de vista energético.
- b) Água cinza (*greywater*): águas servidas provenientes dos diversos pontos de consumo de água na edificação (lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque), excluindo o efluente dos vasos sanitários.
- c) Água amarela: água residuária proveniente de dispositivos que separam a urina das fezes. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura representando somente a urina.
- d) Água marrom: águas residuárias compostas somente por fezes.

As águas amarelas e as águas marrons são mais difíceis de serem segregadas no Brasil, pelo fato da necessidade de instalações sanitárias separadoras, adequadas para esse fim. Já a segregação do esgoto doméstico em águas negras e águas cinzas ocorre com maior facilidade, desde que a mesma seja prevista no projeto hidráulico da residência.

As principais técnicas de tratamento e aproveitamento de águas residuárias em residências rurais costumam combinar processos físicos e biológicos, dos quais podem ser citados: a caixa de gordura, o tanque séptico, os filtros orgânicos, os filtros biológicos, os reatores solares e a técnica de disposição no solo (Batista *et al.*, 2011).

Neste sentido, esta pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de águas cinzas e de uma estação de tratamento de águas negras, instaladas em comunidades rurais localizadas

na região da Zona da Mata Mineira, visando atender à legislação vigente para águas tratadas com potencial de uso doméstico e para a fertirrigação de culturas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização dos esgotos domésticos

A palavra esgoto costumava ser usada para definir tanto a tubulação condutora das águas servidas de uma comunidade, como também o próprio líquido que flui por estas canalizações. Segundo os mesmos autores, atualmente este termo é usado apenas para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (Jordão e Pessoa, 2009).

O esgoto sanitário, segundo a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. O esgoto doméstico é aquele que provém de quaisquer edificações que disponha de banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituído por resíduos humanos, fezes e urina, e águas produzidas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos (von Sperling, 2005).

As características quantitativas físicas e químicas típicas de esgotos domésticos encontram-se sintetizadas na Tabela 1. Nos esgotos domésticos, a concentração varia em função de diversos fatores, como a contribuição per capita do poluente, o consumo per capita de água, clima, situação sócio-econômica, hábitos da população e a presença de despejos industriais (von Sperling, 2005). Em locais com baixo consumo per capita de água, normalmente se tem esgotos bem concentrados, com valores que podem mesmo exceder aos das faixas típicas apresentadas na literatura. Em geral, os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos, na forma particulada ou dissolvida.

Tabela 1– Características físicas e químicas de esgotos domésticos sem tratamento

Características	Contribuição per capita (g hab ⁻¹ d ⁻¹)		Concentração (mg L ⁻¹)	
	Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos totais	120 – 200	180	700 – 1350	1100
Em suspensão	35 – 70	60	200 – 450	400
Fixos	7 – 14	10	40 – 100	80
Voláteis	25 – 60	50	165 – 350	320
Dissolvidos	85 – 150	120	500 – 900	700
Fixos	50 – 90	70	300 – 550	400
Voláteis	35 – 60	50	200 – 350	300
Sedimentáveis	-	-	10 – 20	15
Matéria orgânica				
Determinação indireta				
DBO ₅	40 – 60	50	200 – 500	350
DQO	80 – 130	100	400 – 800	700
DBO última	60 – 90	75	350 – 600	500
Determinação direta				
COT	30 – 60	45	170 – 350	250
Nitrogênio total	6,0 – 112,0	8,0	35 – 70	50
Nitrogênio orgânico	2,5 – 5,0	3,5	15 – 30	20
Nitrogênio amoniacal	3,5 – 7,0	4,5	20 – 40	30
Nitrito	≅0	≅0	≅0	≅0
Nitrato	0,0 – 0,5	≅ 0	0 – 2	≅ 0
Fósforo total	1,0 – 4,5	2,5	5 – 25	14
Fósforo orgânico	0,30 – 1,5	0,8	2 – 8	4
Fósforo inorgânico	0,7 – 3,0	1,7	4 – 17	10
pH	-	-	6,7 – 7,5	7,0
Alcalinidade (CaCO₃)	20 – 30	25	110 – 170	140
Cloreto	4 – 8	6	20 – 50	35
Óleos e graxas	10 – 30	20	55 – 170	110

Fonte: von Sperling, 2005.

As características biológicas típicas de esgotos domésticos em termos de organismos patogênicos e indicadores encontram-se apresentados na Tabela 2. Segundo von Sperling (2005), a contribuição per capita de organismos patogênicos varia em função do nível de saúde pública da população, apresentando maiores valores nos casos de precárias condições sanitárias.

Tabela 2 - Características biológicas de esgotos domésticos sem tratamento

Micro-organismo	Contribuição per capita org hab ⁻¹ d ⁻¹	Concentração org (100 mL) ⁻¹
Coliformes totais	10 ⁹ – 10 ¹²	10 ⁶ – 10 ¹⁰
Coliformes termotolerantes	10 ⁸ – 10 ¹¹	10 ⁶ – 10 ⁹
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁸ – 10 ¹¹	10 ⁵ – 10 ⁸
<i>Streptococcus fecalis</i>	10 ⁸ – 10 ⁹	10 ⁵ – 10 ⁶
Cistos de <i>Giardia</i> sp.	10 ⁵ – 10 ⁷	10 ² – 10 ⁴
Ovos de helmintos	10 ⁴ – 10 ⁶	10 ¹ – 10 ³
Vírus	10 ⁵ – 10 ⁷	10 ² – 10 ⁴

Fonte: Adaptado de Bastos *et al.* (2001), Chernicharo *et al.* (2001), von Sperling (2005).

2.2. Impactos ambientais causados pelos esgotos domésticos

As principais manifestações de degradação ambiental decorrentes da disposição inadequada de esgotos domésticos no meio ambiente são a contaminação de corpos hídricos com nutrientes e microrganismos entéricos.

A introdução de matéria orgânica em corpos hídricos resulta no consumo de oxigênio dissolvido. Tal se deve aos processos de estabilização do material orgânico realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração. O decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido tem diversas implicações do ponto de vista ambiental, como desequilíbrios na fauna e flora aquática (von Sperling, 2005).

Outro aspecto de poluição das águas é aquele relacionado com o fator higiênico, associado às doenças de veiculação hídrica. Um corpo hídrico receptor de lançamento de esgotos domésticos sem tratamento pode incorporar uma ampla gama de agentes transmissores de doenças. Este fato não pode gerar um impacto à biota do corpo hídrico, mas afeta alguns usos preponderantes, tais como abastecimento de água potável, irrigação e balneabilidade (von Sperling, 2005).

O enriquecimento das águas dos corpos hídricos com nitrogênio e fósforo proveniente de esgotos domésticos, e de águas residuárias agroindustriais sem tratamento, ocasionam o processo de eutrofização. Tal se deve ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, em níveis tais que sejam consideradas como causadoras de interferências com os usos desejáveis dos cursos d'água.

A eutrofização dos corpos hídricos acarreta diversos efeitos indesejáveis tais como: problemas estéticos e recreacionais, condições anaeróbias no fundo do curso d'água, eventuais mortandades de peixes e maiores custos para o tratamento das águas (Arceivala, 1981; Thomann & Mueller, 1987; von Sperling, 2005).

2.3. Legislação ambiental aplicada à disposição dos efluentes e esgotos domésticos nos corpos hídricos receptores

As exigências nacionais para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores segue o disposto na Resolução CONAMA n.º 430/2011 (CONAMA, 2011).

A Resolução CONAMA n.º 430/2011 que altera a Resolução CONAMA n.º 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, também delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário (CONAMA, 2011). O disposto na referida norma, em termos de padrão de lançamento de efluentes, incluindo os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos domésticos em corpos hídricos receptores, compreende:

- Potencial hidrogeniônico (pH): entre 5 e 9.
- Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo hídrico receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.
- Sólidos sedimentáveis (SP): até 1 mL L⁻¹ com o teste em cone de Imhoff, durante 1 h. Para lançamento em lagos e lagoas, esses materiais deverão estar ausentes.
- Óleos e graxas (OG): até 20 mg L⁻¹ para óleos minerais e até 50 mg L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais.
- Ausência de material flutuante.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- Os efluentes não poderão conferir ao corpo hídrico receptor características em desacordo com o seu enquadramento.

Comparando-se a legislação adotada no Estado de Minas Gerais (Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 1/2008) com a Resolução CONAMA n.º 430/2011, nota-se que os padrões de monitoramento apresentados na legislação para o estado de Minas Gerais são muito similares aos padrões apresentados pela legislação nacional, como era de se esperar, já que as legislações estaduais devem apresentar no mínimo, os mesmos padrões de restrição de restrição apresentados pela legislação federal.

Na Tabela 3 estão apresentadas as condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 1/2008, para efeito de comparações iniciais quanto ao grau de restrição das mesmas.

Tabela 3 - Resumo dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 1/2008

Parâmetros	CONAMA 430/2011	COPAM /CERH MG 01/2008
Potencial Hidrogeniônico (pH)	5,0 - 9,0	6,0 – 9,0

Temperatura (T)	< 40°C	< 40°C
Sólidos sedimentáveis (SP)	Até 1mL L ⁻¹	Até 1mL L ⁻¹
Sólidos suspensos totais (SST)	n.c.	100 mg L ⁻¹
Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas)	Até 100 mg L ⁻¹ (valor para efluentes de sistemas de tratamentos de esgotos sanitários)	n.c.
Óleos e graxas: óleos minerais	20 mg L ⁻¹	20 mg L ⁻¹
Óleos e graxas: óleos vegetais e gorduras animais	50 mg L ⁻¹	50 mg L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal total	20 mg L ⁻¹	n.c.
	Remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corporeceptor.	Até 60 mg L ⁻¹ ou: a) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. b) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% para os demais sistemas.
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Para o lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário o valor máximo da DBO deverá ser de 120 mg L ⁻¹ , sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.	Até 180 mg L ⁻¹ ou: a) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. b) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	n.c.	

Nota: n.c. - não consta na respectiva norma.

Fonte: Resolução CONAMA n.º 430/2011; Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1/2008.

2.4. Tratamento e disposição final de águas residuárias domésticas

A crescente preocupação com a preservação dos recursos hídricos, reflexo da perplexidade diante da degradação ambiental em nível mundial, tem levado à elaboração de legislação mais rigorosa, no intuito de proteger a qualidade dos recursos naturais, bem como à criação de órgãos fiscalizadores, cada vez mais atuantes. Segundo Chernicharo *et al.* (2006), essa nova política contribuiu para que as principais tecnologias de tratamento de esgotos domésticos nas companhias de saneamento, se subdivididas em:

- **Tratamento preliminar:** tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de processos físicos. Grades, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas pertencem a essa classe.

- **Tratamento primário:** objetiva a redução de sólidos em suspensão por meio de estruturas em alvenaria com tempo de detenção maior que o dos tratamentos preliminares ou de equipamentos com precipitantes químicos. Nessa etapa pode, também, ocorrer a degradação anaeróbia do material orgânico em suspensão, facilitando o tratamento secundário. Sedimentadores, flotadores e filtros pertencem a essa classe.

- **Tratamento secundário:** tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio - utiliza microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza microrganismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo utilizado em esgotos domésticos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores e lagoas anaeróbias).

- **Tratamento terciário:** objetiva a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. De modo geral, são utilizados quando o esgoto doméstico é lançado em corpos hídricos receptores ou para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe.

As tecnologias utilizadas pelas companhias de saneamento tornam-se inviáveis para comunidades rurais de baixa renda, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção quanto pela grande dispersão populacional nas zonas rurais. Portanto, cada vez mais, existem necessidades quanto ao desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico. Nesse sentido, destacam-se algumas tecnologias, tais como: os filtros orgânicos, os filtros biológicos, os reatores solares e a disposição controlada de águas residuárias no solo utilizando a fertirrigação, conforme apresentado a seguir.

Os filtros orgânicos são equipamentos constituídos de materiais filtrantes capazes de remover solutos e reter sólidos que sejam subprodutos das atividades humanas, agropecuárias e industriais. Trata-se de uma opção interessante, tendo em vista a sua abundância, o baixo custo de aquisição e a possibilidade de serem compostados, depois de utilizados. Brandão *et al.* (2000) propuseram a utilização de filtros orgânicos no tratamento primário de dejetos de suínos. Os materiais filtrantes utilizados no estudo foram o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz, a casca de café, o fino de carvão vegetal, o sabugo de milho e a serragem de madeira, que proporcionaram remoções de até 44, 90 e 33%, nas concentrações de cobre, sólidos sedimentáveis e sólidos totais do efluente. Lo Monaco *et al.* (2004) obtiveram remoções de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, nitrogênio total e fósforo total de até 40, 80, 70, 50 e 65%, respectivamente, com o tratamento de dejetos de suínos em filtros de serragem de madeira. Magalhães *et al.* (2006) obtiveram remoções de sólidos suspensos e sólidos totais de 90 a 99% e de 43 a 57% para os filtros de serragem de madeira e de 81 a 96% e de 50 a 56% para os filtros de bagaço de cana-de-açúcar, com tempo de operação médio de 1 a

1,7 h e área superficial de 1 m², suficiente para o tratamento de 3.600 a 5.500 L de dejetos de suínos.

Os filtros biológicos são dispositivos compostos de materiais orgânicos e inorgânicos, geralmente, possuem quatro camadas: a primeira é constituída de material orgânico com elevado nível populacional de microrganismos e minhocas, para absorção e degradação da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos; a segunda camada possui apenas material orgânico, proporcionando nova filtração do efluente. A terceira e quarta camadas são constituídas por cascalho, tendo por finalidade proporcionar a aeração e a permeabilidade no sistema (Batista *et al.*, 2011). Laws (2003) analisou a qualidade da filtração de filtros biológicos operando com esgoto doméstico bruto na taxa de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹. Os resultados indicaram que no esgoto doméstico tratado houve remoção de 95% da demanda química de oxigênio, de 80% dos sólidos suspensos totais e de 70% no nitrogênio e fósforo.

Os reatores solares são tanques rasos de lona, alvenaria ou fibra de vidro que proporcionam a inativação de microrganismos patogênicos nos esgotos domésticos, simplesmente com a exposição à radiação solar direta. Sanches-Roman *et al.* (2007) verificaram que a eficácia da desinfecção solar de águas residuárias depende tanto da profundidade da lâmina de efluente quanto do nível de radiação incidente. No Brasil, a desinfecção solar de águas residuárias para uso irrestrito na irrigação (população de *E. coli* inferior a 1.000 micro-organismos por 100 mL) ocorre com dois dias ou menos de exposição solar (Sanches-Roman *et al.*, 2007).

A disposição controlada de águas residuárias no solo utilizando a fertirrigação é outra possibilidade para o tratamento dos resíduos prejudiciais ao meio ambiente. No entanto, o problema consiste na disponibilização de quantidades de nutrientes superiores à capacidade de absorção pela cultura e retenção pelo solo. Em geral, o sódio é utilizado como nutriente referencial para a obtenção das taxas de aplicação de esgotos domésticos (Matos, 2007). Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente, em áreas fertirrigadas com águas residuárias, desde que estas sejam adequadamente manejadas.

2.5. Caracterização e aproveitamento de águas cinzas e águas negras

De acordo com o modelo de saneamento que prevê a segregação de águas residuárias e a utilização de fontes alternativas de água nas edificações, pode-se dizer que as águas residuárias domésticas são compostas por águas cinzas e águas negras. As águas cinzas são as águas servidas que não possuem contribuição de efluentes de vasos sanitários. São as águas residuárias provenientes do uso de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (California Graywater Standards, 1994; Jefferson *et al.*, 1999; Eriksson *et al.*, 2002; Ottoson e Stenström, 2003). Em função da presença de óleos e gorduras, alguns autores não consideram como água cinza o efluente oriundo de cozinhas (Nolde, 1999 e Christova-Boal *et al.*, 1996).

Henze & Ledin (2001, *apud* May e Hespanhol, 2009) dividem as águas cinzas em duas categorias: águas cinzas claras e águas cinzas escuras. As águas cinzas claras são águas residuárias provenientes de chuveiros, de lavatórios e de máquinas de lavar roupas. Já as águas cinzas escuras incluem as águas provenientes de pias da cozinha e de máquinas de lavar pratos.

As águas cinzas contêm componentes decorrentes do uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza em geral (Jefferson *et al.*, 1999). Suas características em termos de quantidade e de composição variam de acordo os seguintes fatores: localização, nível de ocupação da residência, faixa etária, estilo de vida, classe social e costumes dos moradores e com o tipo de fonte de água cinza que está sendo utilizado (lavatório, chuveiro, máquina de lavar) (Nsw Health, 2002 e Nolde, 1999). Outros fatores que também contribuem para as características da água cinza são: a qualidade da água de abastecimento e o tipo de rede de distribuição, tanto da água de abastecimento quanto da água de reuso (Eriksson *et al.*, 2002).

Existem riscos a serem considerados com o aproveitamento das águas cinzas, principalmente no que diz respeito à saúde pública, uma vez que esta água não está isenta de contaminação. Em algumas localidades, por falta de conhecimento, as águas cinzas muitas vezes são segregadas

das águas negras e descartadas diretamente nos corpos receptores sem prévio tratamento de forma que o custo para implantação de tratamento para o esgoto bruto seja reduzido devido à diminuição da vazão a ser tratada. No caso de infiltração das águas no solo pode haver contaminação do lençol freático devido à presença de compostos xenobióticos originados nos produtos químicos utilizados nas residências (Eriksson *et al.* 2001).

As águas cinzas provenientes de chuveiros e pias de banheiros são consideradas aparentemente como as menos contaminadas, quando comparadas às águas negras, provenientes de vasos sanitários. A concentração de coliformes termotolerantes pode variar de 10^4 a 10^6 NMP(100 mL)⁻¹.

As águas cinzas provenientes da lavagem de roupas podem apresentar concentrações de coliformes termotolerantes que variam de 10^7 NMP(100 mL)⁻¹ (primeira lavagem), até apenas 25 NMP(100 mL)⁻¹ (no caso de segunda lavagem de máquina de lavar). A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões empregados que contém sódio, fosfato, boro, amônia e nitrogênio. Além disso, apresentam sólidos em suspensão e turbidez elevados, e a demanda por oxigênio por ser alta, podendo causar danos ambientais e a saúde se for lançadas no solo sem tratamento (Rapoport, 2004).

Algumas características físicas, químicas e microbiológicas, encontradas para amostras de águas cinzas originadas de várias fontes dentro de uma residência, são apresentadas na Tabela 4 (Siegrist *et al.*, 1976 *apud* Eriksson, 2002; Christova-Boal *et al.*, 1998).

Tabela 4 - Características físicas, químicas e biológicas de águas cinzas originadas de várias fontes de uma residência

Características	Siegrisht <i>et al.</i> (1976)		Christova-Boal <i>et al.</i> (1998)		
	Chuveiro/ Banheira	Pia de Cozinha	Enxague de roupa	Banheiro	Lavanderia
Físicos					
Temperatura (°C)	29,00	27,0	28,0	-	-
Turbidez (UNT)	-	-	-	10,0 a 240,0	50,0 a 210,0
Sólidos totais(mgL ⁻¹)	250,0	2410,0	410,0	-	-
Sólidos Suspensos Totais (mgL ⁻¹)	120,0	720,0	120,0	-	-
Químicos					
Potencial Hidrogeniônico	-	-	-	6,4 a 8,1	9,3 a 10,0
Condutividade Elétrica (µS cm ⁻¹)	-	-	-	82 a 250	190,0 a 1.400,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	170,0	1460,0	150,0	76 a 200	48,0 a 290,0
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-
Óleos e Graxas (mg L ⁻¹)	-	-	-	37 a 78	8,0 a 35,0
Cloreto (mg L ⁻¹)	-	-	-	9,0 a 18,0	9,0 a 88,0
Nutrientes					
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	17,0	74,0	6,0	-	-
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	2	74	21	0,11 a 1,8	0,062 a 42,0
Microbiológicos					
Coliformes Totais (NMP / 100 mL)	7,0x10 ¹ a 8,2 x10 ⁴	-	1,9x10 ² a 1,5x10 ⁵	5,0x10 ² a 2,4x10 ⁷	2,3 x10 ³ a 3,3x10 ⁵
Coliformes Termotolerantes (NMP / 100 mL)	1 a 2,5x10 ⁴	-	3,5 x10 ¹ a 7,1x10 ³	1,7x10 ² a 3,3x10 ³	1,1 x10 ² a 1,09x10 ³

Fonte: adaptado de Siegrisht *et al.*, 1976 *apud* Eriksson, 2002 ; Christova-Boal *et al.*, 1998.

Segundo Bazzarela (2005), os estudos realizados no Brasil e no exterior indicam que as águas cinzas contêm elevados teores de matéria orgânica, de sulfatos, além de turbidez e de moderada contaminação fecal. Alguns estudos comprovaram também a presença de compostos orgânicos rapidamente biodegradáveis na sua constituição. Por tais motivos, seu reuso direto nas edificações (em estado bruto) não é recomendável, tendo em vista, sobretudo, o aspecto desagradável e à possibilidade de produção de

mau cheiro nas instalações sanitárias (Dixon *et al.*, 1999). Para a obtenção de água de reuso com baixa turbidez, inodora e isenta de microrganismos patogênicos, deve-se prever um tratamento a nível secundário seguido de desinfecção (Bazzarela, 2005).

As águas negras são as águas utilizadas nos vasos sanitários, com contaminação de origem orgânica (Ercole, 2003). De acordo com Otterpohl (2001), águas negras são as águas residuárias provenientes dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou provenientes de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Alguns autores consideram como água negra também a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes (Rebouças *et al.*, 2007).

Gonçalves (2006) afirma que a segregação das águas negras das demais resulta em estações de tratamento com menores dimensões, operando de forma mais estável e produzindo menores quantidades de subprodutos.

Apesar de conter a maior parte dos patógenos e dos nutrientes encontrados no esgoto doméstico, o volume de águas negras é bem menor do que o volume de águas cinzas produzido. Analisando-se a composição do esgoto doméstico, foi observada a proporção de 25.000 a 100.000 L por ano por pessoa de água cinza, para 500 L de urina e apenas 50 L anuais de fezes produzidos por pessoa (Otterpohl, 2002).

2.6. Alternativas para o reuso das águas cinzas e negras

Segundo Metcalf & Eddy (2003), reusar água é aproveitar a água residuária recuperada, por meio da remoção ou não de parte dos resíduos por ela carregada em uso anterior, e usá-la novamente, em aplicações menos exigentes que o primeiro uso, encurtando assim o ciclo da natureza em favor do balanço energético.

Conforme orientação da Organização Mundial da Saúde – OMS (1973, *apud* Brega Filho e Mancuso, 2003) tem-se as seguintes classes de reuso:

a) Reuso indireto: é o que ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída;

b) Reuso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;

c) Reciclagem interna: é o reuso de águas que ocorre internamente nas instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Além disso, a OMS aponta que o reuso indireto pode ser intencional ou não; o reuso indireto intencional é o que decorre de descargas planejadas a montante, ou a recargas planejadas em aquífero subterrâneo. Lavrador Filho (1987, *apud* Brega Filho e Mancuso, 2003), de outra forma, utiliza a seguinte terminologia tendo em vista a uniformização da linguagem:

a) Reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações tanto planejadas quanto não planejadas.

b) Reuso indireto não planejado de água: é o que ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Nesse caso, o reuso da água é um subproduto não intencional da descarga a montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente será diluído e sujeito a diversos processos como autodepuração, sedimentação, entre outros, além de eventuais misturas com outros despejos advindos de diferentes atividades humanas.

c) Reuso planejado de água: é o que ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reuso planejado das

águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. A reutilização de água planejada também pode ser denominada reuso intencional da água.

d) Reuso indireto planejado de água: é o que ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.

e) Reuso direto planejado de água: é o que ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso. Assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregados no meio ambiente.

f) Reciclagem de água: é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular de reuso direto.

Para Westerhoff (1984, *apud* Brega Filho e Mancuso, 2003) o reuso é classificado em duas grandes categorias: o reuso potável e o reuso não potável, pela praticidade e facilidade da utilização desses termos. O reuso potável pode ser dividido em direto (ocorre quando a água residuária é recuperada por meio de tratamento avançado e reutilizada diretamente no sistema como água potável) e indireto (ocorre quando a água residuária, após o tratamento, é disposta nas coleções de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável), ressaltando que a água para ser considerada potável deve apresentar as características de potabilidade conforme a Portaria Nº2914/2011 do Ministério da Saúde.

O reuso não-potável é dividido de acordo com sua finalidade, como por exemplo: para fins agrícolas, industriais, domésticos, recreacionais, para manutenção de vazões, para aquicultura e para recarga de aquíferos

subterrâneos. Dentre os usos não potáveis residenciais, destacam-se principalmente a lavagem de roupas, de carros, de calçadas, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários (Mancuso e Santos, 2003citado por Bazzarela 2005).

O reuso de águas cinzas e negras enquadram-se no reuso não-potável, destacando-se, principalmente, o reuso doméstico (rega de jardins residenciais, lavagem de veículos e de áreas impermeáveis, descarga de vasos sanitários) e agrícola (Bazzarella, 2005). Segundo Eriksson *et al.*(2002), diferentes tipos de águas cinzas e águas negras podem ser adequados para diferentes tipos de reuso, requerendo diferentes tipos de tratamento, dependendo do reuso que se pretende dar a ela. As águas negras, normalmente são utilizadas para fins de irrigação de culturas agrícolas e jardins, em virtude de presença de material fecal, sendo adotados padrões de proteção à saúde pública (Gonçalves, 2006).

2.7. Riscos e padrões de qualidade para o reuso de águas cinzas e negras em residências rurais

O ponto de partida de qualquer projeto de reaproveitamento de água, independente do ponto de aplicação, é a segurança da saúde dos usuários. Os riscos devido a produtos químicos na água de reuso são oriundos principalmente da presença de compostos a base de matéria orgânica, de nitrogênio, de enxofre e de metais pesados. Entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microrganismos patogênicos (Gregory *et al*,1996). Em virtude disso, os modelos de avaliação de risco para a reutilização não potável são baseados nos riscos microbiológicos.

O guia para o uso de água reciclada estabelecido pelo governo da Austrália prevê quatro graus de qualidade para água reciclada em termos microbiológicos (Anderson, 2001; *apud* Bazzarela, 2005). Os graus de qualidade referem-se à densidade média de coliformes termotolerantes - fecais (CF), em função da intensidade do contato da água reciclada com o usuário, a saber:

- Contato alto: $CF < 10 \text{ NMP (100 mL)}^{-1}$
- Contato médio: $CF < 100 \text{ NMP (100 mL)}^{-1}$
- Contato baixo: $CF < 1000 \text{ NMP (100 mL)}^{-1}$

- Acesso restrito: CF < 10000 NMP (100 mL)⁻¹.

O Nsw Health (2002) adverte que para a prática do reuso de águas cinzas devem ser consideradas as seguintes recomendações: a)

- ✓ O contato direto com a água cinza, humano e animal, deve ser evitado.
- ✓ Em caso de reuso da água cinza na descarga sanitária, um tratamento prévio incluindo uma etapa de desinfecção deve ser providenciado.
- ✓ Evitar a irrigação de culturas agrícolas cujo produto possa ser ingerido cru.
- ✓ Evitar a interconexão das redes de água potável e de água de reuso.
- ✓ Evitar a estocagem de água cinza bruta (sem tratamento prévio com desinfecção).
- ✓ Identificar criteriosamente as redes de água potável e de água de reuso.

Metcalf e Eddy (2003, *apud* Fonseca, 2007) sugerem alguns padrões de qualidade para as águas de reuso, conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características de qualidade de água para reuso (Metcalf e Eddy, 2003)

Características	Resultado desejado para águas de reuso
Turbidez (UNT)	0,1 – 30,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	10,0 – 45,0
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	20,0 – 90,0
Coliformes Termotolerantes (NMP (100 mL) ⁻¹)	1 – 103,0
Fósforo total (mg L ⁻¹)	1,0 – 20,0
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	1,0 – 30,0
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	5,0 – 30,0

Fonte: adaptado Metcalf e Eddy (2003, *apud* Fonseca, 2007)

A Usepa (United States Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) relata que não existem regulamentações federais nos Estados Unidos relacionadas diretamente à prática do reuso. A entidade recomenda critérios gerais a serem observados

em todo o território norte americano. Entretanto, diversos estados americanos, de maneira isolada, desenvolveram regulamentações ou guias para esse fim. O estado da Califórnia, considerado como pioneiro em termos de legislação para fins de reuso da água, desenvolveu regulamentos e guias especificando requisitos de qualidade e/ou processos de tratamento, para as várias aplicações da água de reuso. A Usepa (2004) em *Guidelines for Water Reuse*, descreve diretrizes básicas para o reuso agrícola de águas residuárias, destacando os estágios de tratamento, exigências de qualidade da água e as ferramentas de monitoramento para sistemas de reuso não potáveis. Ressalta-se que nesse guia, as características microbiológicas são aquelas que receberam a maior atenção nas diversas regulamentações de reuso de água. As diretrizes básicas recomendadas pela Usepa (2004) para o reuso agrícola de águas residuárias são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Diretrizes para reuso agrícola de águas residuárias (Usepa, 2004)

Tipo de irrigação e cultura	Processo de tratamento de águas residuárias	Qualidade das águas residuárias
Culturas alimentícias não processadas comercialmente Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas	Secundário + filtração + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 10,0 \text{ mg L}^{-1}$ Turbidez $\leq 2,0 \text{ UNT}$ Cl _{residual} $\geq 1,0 \text{ mg L}^{-1}$ <i>E.coli</i> = ND Organismos patogênicos = ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente Irrigação superficial de pomares e vinhedos Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 30,0 \text{ mg L}^{-1}$ SST $\leq 30,0 \text{ mg L}^{-1}$ Cl _{Residual} $\geq 1,0 \text{ mg L}^{-1}$ <i>E.coli</i> $\leq 200 \text{ NMP (100mL)}^{-1}$
Culturas não alimentícias Pastagens para gados de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos	Secundário + desinfecção	pH 6 a 9 DBO $\leq 30,0 \text{ mg L}^{-1}$ SST $\leq 30,0 \text{ mg L}^{-1}$ Cl _{Residual} $\geq 1,0 \text{ mg L}^{-1}$ <i>E.coli</i> $\leq 200 \text{ NMP (100mL)}^{-1}$

Nota: *E.coli*: *Escherichia coli*; pH: potencial hidrogeniônico; Cl_{residual}:cloro residual; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; ND:não detectáveis

Fonte:Adaptado de Usepa, 2004.

A escolha de fontes alternativas de abastecimento de água deve considerar não somente custos envolvidos na aquisição, mas também custos relativos à descontinuidade do fornecimento e à necessidade de se ter garantida a qualidade necessária a cada uso específico, resguardando a saúde pública dos usuários internos e externos (Ana, Fiesp, Sinduscon-SP, 2005).

O reuso de água requer medidas efetivas de proteção à saúde pública e ao meio ambiente, e ambas devem ser técnica e economicamente viáveis. Embora o reuso de águas residuárias em edificações seja objeto de interesse relativamente recente em países que não o Brasil, há uma quantidade relativamente grande de legislações específicas sobre o tema. Dentre essas legislações, destacam-se principalmente as legislações específicas que regulamentam a aplicação da prática de reuso e legislações que determinam limites de qualidade para a água a ser reutilizada (Gonçalves, 2006).

As exigências mínimas para o uso da água não-potável devem ser consideradas em função das diferentes atividades a serem realizadas nas edificações. Se o objetivo principal for o reuso de águas cinzas e negras em descargas sanitárias, as águas de reuso produzidas a partir dessas águas devem possuir baixa turbidez, cor reduzida, ausência de odor desagradável e ausência de coliformes termotolerantes (*E. coli*).

As diretrizes para o reuso de águas residuárias tratadas para a fertirrigação de culturas agrícolas citados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) são apresentadas na Tabela 7. Essas diretrizes sofreram um grande avanço quando comparadas às diretrizes formuladas em 1989 e utilizadas até o ano de 2005. As diretrizes da OMS utilizadas até o ano de 2005 apresentavam critérios rigorosos em relação à remoção de ovos de helmintos, porém, apresentavam padrões pouco restritivos, ou permissíveis quanto à qualidade bacteriológica. Destaca-se ainda que as diretrizes anteriores não mencionavam restrição quanto à presença de vírus e protozoários, sendo esse, o maior salto das novas diretrizes apresentadas no ano de 2006 (Bastos e Bevilacqua, 2006).

Tabela 7 - Diretrizes para reuso agrícola de águas residuárias (OMS, 2006)

Categoria da irrigação	Opção ⁽¹⁾	Descrição	Tratamento de águas residuárias e remoção de patógenos (log ₁₀)	Qualidade do efluente	
				E. coli (100 mL) ⁻¹	Ovos de helmintos (L ⁻¹)
Irrestrita	A	Cultivo de raízes e tubérculos	4	$\leq 1,0 \times 10^3$	
	B	Cultivo de folhosas	3	$\leq 1,0 \times 10^4$	
	C	Irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo	2	$\leq 1,0 \times 10^5$	$\leq 1,0$ (para exposição de crianças < de 15 anos recomenda-se padrões mais exigentes)
	D	Irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo	4	$\leq 1,0 \times 10^3$	
	E	Qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento ⁽²⁾	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou 10^0	
Restrita	F	Agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva	4	$\leq 1,0 \times 10^4$	
	G	Agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada	3	$\leq 1,0 \times 10^5$	$\leq 1,0$
	H	Técnicas de tratamento com capacidade reduzida de remoção de patógenos ⁽³⁾	<1	$\leq 1,0 \times 10^5$	

Nota: (1) Combinação de medidas de proteção à saúde;

(2) Qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário+coagulação+filtração+desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada com o emprego de indicadores complementares (turbidez, SST, cloro residual);

(3) Exemplos de sistemas de tratamento: tanques sépticos ou reatores UASB

Fonte: Adaptado de WHO (2006); Bastos e Bevilacqua (2006)

Os padrões de reuso de água variam bastante de um lugar para outro. Por exemplo, grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo. Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Por outro lado, existem países em desenvolvimento que adotam outra estratégia de controle dos riscos à saúde, por meio de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (Gonçalves, 2006).

No Brasil, até a presente data, existem poucas legislações que incentivam a prática do reuso de água e existem apenas alguns limites estabelecidos para reuso em descarga de vasos sanitários. Em sistemas prediais e residências, os parâmetros mais importantes quando se fala em reuso são aqueles ligados à estética da água e à segurança dos usuários. Entre as características diretamente ligadas à estética estão a cor, a turbidez e a concentração de sólidos suspensos totais (SST) e, principalmente devem ser consideradas as características ligadas à segurança e saúde dos usuários, das quais pode-se citar a população de *E. coli* e de coliformes totais encontradas nessas águas. Dessa forma, foram propostos alguns tipos de uso para essas águas, separando-os em classes diferenciadas, fixando padrões de exigências mínimas específicos para as mesmas, apresentadas no “Manual de conservação e reuso da água em edificações”, documento elaborado em uma parceria da Agência Nacional das Águas (ANA), Sindicato das Indústrias da Construção do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) e pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - FIESP. As características apresentadas basearam-se na Portaria n.º 518/2004 do Ministério da Saúde e Resolução CONAMA n.º 357/2005, uma vez que não existem diretrizes e padrões para água de reuso no Brasil, o que evidencia a necessidade de pesquisas relacionadas ao tema. Na Tabela 8s ão apresentados valores limites estabelecidos para algumas características das águas de reuso em edifícios do tipo Classe 1(reuso em descarga de vasos sanitários;lavagem de pisos e para fins ornamentais, tais como chafarizes, espelhos de água; lavagem de roupas e veículos), destacando que a concentração da população de coliformes termotolerantes

encontrada, é uma característica prioritária para os usos considerados dessas águas.

Tabela 8 - Padrões propostos no Manual de conservação e reuso de água em edificações - Classe 1

Características	Unidade	Padrões de reuso de água – Classe 1
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	6,0 - 9,0
Cor	UH	10,0
Turbidez	UNT	2,0
Óleos e Graxas	mg L ⁻¹	1,0
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg L ⁻¹	10,0
Coliformes Termotolerantes	NMP (100 mL) ⁻¹	Não detectáveis
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,1
Sólidos suspensos totais	mg L ⁻¹	5,0

Fonte: Adaptado de Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005)

Além do manual elaborado pela Ana, Fiesp e Sinduscon-SP (2005), a NBR nº 13969/97, sugere os seguintes padrões para as águas de reuso para a lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes (Classe 1), tais como: o pH deve-se encontrar na faixa de 6 a 8; a concentração máxima para a turbidez deve ser de 5,0 UNT e a densidade da população de coliformes fecais deve ser inferior 200 NMP (100 mL)⁻¹. Na mesma norma, destacam-se ainda o reuso das águas do tipo Classe 2 (águas de reuso para a lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes) e para águas do tipo Classe 3 (águas de reuso de descargas de vasos sanitários). Para as águas Classe 2, a concentração máxima para a turbidez deve ser de 5,0 UNT, a densidade de população de coliformes fecais deve ser menor que 500 NMP (100 mL)⁻¹. Já para as águas de reuso Classe 3, o limite máximo para a concentração de turbidez deverá ser de 10 UNT e que a população de coliformes fecais deve ser menor que 500 NMP (100 mL)⁻¹ (ABNT, 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Contextualização da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, das quais, na primeira foi realizado o dimensionamento dos sistemas, e na segunda, a avaliação de desempenho dos sistemas de tratamento de águas cinzas e de águas negras, que foram montados em duas localidades da região de Viçosa, Minas Gerais.

A estação para tratamento de águas cinzas (ETAC) foi instalada em uma residência localizada na comunidade rural Macena, no município de Viçosa – MG. Já a estação para de tratamento de águas negras (ETAN), foi instalada em uma residência da comunidade rural da Água Limpa, no município de Cajuri- MG. As residências possuíam espaço físico no quintal suficiente para a implantação dos sistemas de tratamentos e instalações hidráulicas necessária para a segregação das águas cinzas e as águas negras do esgoto doméstico, geradas nas mesmas.

No período compreendido entre 02 de abril de 2009 a 02 de maio de 2009, foram realizados ensaios preliminares com os protótipos de tratamento de águas negras, com intuito de promover uma melhor compreensão por parte dos proprietários da residência sobre questões de utilização e saúde pública relacionadas à estação de tratamento, medição da vazão e do volume de águas negras produzidas na residência. Além dos fatores relacionados anteriormente, ressalta-se que a serragem de madeira (utilizada como material orgânico filtrante) foi colocada anteriormente em tanques que recebiam doses diárias de esgotos domésticos brutos, por um período de 15 (quinze) dias, procedimento este utilizado para a lavagem de produtos químicos existentes na serragem, para criar um habitat inicial para desenvolvimento das minhocas que iriam ser utilizadas nos filtros, para promover a formação de um biofilme, e para favorecer o processo de biodegradação da matéria orgânica presente nas águas negras. Após esse período de inoculação inicial, a serragem era retirada desses tanques e eram transportados para a estação de tratamento de águas negras. No

período compreendido entre 19 de junho de 2009 a 19 de julho de 2009, foram realizados ensaios preliminares na estação de tratamento de águas cinzas com os mesmos intuitos dos ensaios realizados na estação de tratamento de águas negras.

No estudo, as águas cinzas eram compostas por água do chuveiro, água da pia do banheiro e água dos tanques de lavagem de roupas, ressaltando que os moradores da residência utilizavam o tanque de lavar roupas para limpeza de louças e panelas. As águas negras utilizadas no experimento eram compostas pela mistura da água de descarga do vaso sanitário e da pia da cozinha.

Os memoriais de cálculo efetuados para o dimensionamento das estações de tratamento de águas cinzas e negras, bem como desenhos com detalhes técnicos sobre essas estações, são apresentados no Apêndice.

3.2. Eficiência da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) e da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

A estimativa da eficiência de remoção dos constituintes das águas cinzas e águas negras, tais como, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), óleos e graxas (OG), turbidez (TB), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (N_{total}), e fósforo total (P_{total}), foi calculada pela Equação 1:

$$Ef = 100 \left(1 - \frac{C_J}{C_M} \right) \quad (\text{Eq.1})$$

em que:

Ef - eficiência de remoção das características analisadas (CE, OG, TB, SST, ST, DQO, DBO, N_{total} , P_{total}) das águas residuárias (%);

C_J - concentração da característica coletada à jusante da unidade de tratamento (mg L^{-1});

C_M - concentração da característica coletada à montante da unidade de tratamento (mg L^{-1}).

Conforme recomendado por von Sperling (2005), a eficiência de remoção em termo de coliformes totais e termotolerantes (fecais) foi

calculada segundo a Equação 2, sendo representada usualmente pela quantidade de unidades log ($u_{\log}$) removidas, conforme apresentado pela Equação 3:

$$E_{Colif} = 100 \left(\frac{N_o - N}{N_o} \right) \quad (\text{Eq.2})$$

$$u_{\log} = -\log \left(1 - \frac{E_{colif}}{100} \right) \quad (\text{Eq.3})$$

em que:

E_{Colif} - eficiência de remoção de coliformes totais e termotolerantes (%);

N_o - concentração de coliformes no afluente (NMP (100 mL)⁻¹);

N - concentração de coliformes no efluente (NMP (100 mL)⁻¹);

$u_{\log}$ - quantidade de unidades log removidas (unidades).

3.3. Funcionamento e aspectos construtivos da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

A estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) foi composta por um filtro biológico dotado de materiais orgânicos e inorgânicos e dois reatores solares, interligados por tubulações de PVC. Os componentes da ETAC foram construídos em fibra de vidro, com espessura de 3 mm. A água residuária proveniente do tanque de lavagem de roupas e da pia do banheiro passava pelo filtro e em seguida passava para o reator solar I onde permanecia por 24 horas com uma lâmina máxima de 20 cm. No dia seguinte, o efluente do reator I era encaminhado para o reator II, onde permanecia por mais 24 horas, para que ocorresse a desinfecção por meio da radiação ultravioleta (UV) presentes na luz solar.

Ao término desse percurso o efluente do reator II era disposto em um sumidouro, constituído de uma tubulação de drenagem de PVC de 100 mm enterrada, para que a água residuária infiltrasse no solo.

3.3.1. Filtro Biológico

O dispositivo foi construído em fibra de vidro com espessura 3 mm, nas dimensões de 0,80 m de diâmetro por 1,0 m de altura, tendo internamente uma área efetiva de filtração de 0,50 m². O dispositivo foi dotado de camadas de serragem de madeira, brita, areia e carvão ativado. A primeira camada foi constituída de serragem de madeira com granulometria de 2 a 3 mm (Lo Monaco *et. al.*, 2002), destinada a melhoria da turbidez do efluente. A segunda camada foi composta por brita (0,10 m) e a terceira camada foi constituída de areia grossa (0,30 m) com a finalidade de remover os sólidos presentes no efluente. A quarta camada foi constituída de carvão ativado (0,10 m), tendo por função reduzir possíveis odores e remover corantes. Por fim a quinta camada foi composta de brita (0,10 m).

3.3.2. Reatores Solares

Os reatores solares foram construídos em fibra de vidro, com espessura de 3 mm, nas dimensões de 1,3 m de diâmetro por 0,4 m de altura, com uma área efetiva de exposição à radiação solar de 1,33 m². Utilizou-se a radiação solar local para a desinfecção do efluente do filtro, objetivando os níveis recomendados pela Organização Mundial de Saúde para águas de fertirrigação de uso irrestrito ($<10^3 E. coli$ por 100 mL) (OMS, 2006). Os reatores foram instalados em gradiente de altitude, uma vez que o primeiro reator recebia o efluente do filtro por gravidade e o segundo reator recebia o efluente do primeiro.

O efluente do filtro passava ao primeiro reator solar por meio da abertura de um registro, até alcançar a lâmina desejada, permanecendo nele a metade do tempo de exposição à radiação solar eficaz para o tratamento dependendo da região onde for implantado o sistema, e em seguida, passava ao segundo reator, onde permanecia a outra metade do tempo de exposição à radiação solar.

Considerando que a radiação solar varia ao longo do ano e regionalmente, o tempo de exposição necessário para garantir a desinfecção desejada também varia. Para diminuir a população de *E. coli* de $3,5 \times 10^6$

NMP (100 mL)⁻¹ para $1,0 \times 10^3$ NMP (100 mL)⁻¹, quando a profundidade da lâmina é de 0,20 m, são necessários 32,59 MJ m⁻², o que corresponde a menos de dois dias, em média, considerando todo o território nacional (Sanches-Roman *et al.*, 2007).

3.3.3. Sumidouro

Para a disposição final do efluente, conforme recomenda a NBR 13969 (ABNT, 1997), utilizou-se o dispositivo denominado sumidouro. O sumidouro foi instalado logo após o reator solar II, e era constituído de uma tubulação de drenagem de PVC de 100 mm (tubo corrugado) que foi enterrada a uma profundidade de aproximadamente 0,40 m, abaixo do nível do segundo reator, para que a água residuária fosse disposta uniformemente no solo. Ao longo de 6 m de comprimento, a tubulação foi envelopada por uma camada de 0,15 m de brita # 1.

Na Figura 1 está apresentada a residência contemplada com a estação de tratamento de águas cinzas na comunidade rural Macena em Viçosa-MG, bem como as fases de implantação dos componentes do sistema.

No Apêndice A é apresentado o Memorial de Cálculos utilizado para dimensionamento da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) e os desenhos técnicos com detalhes da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) utilizada no experimento.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1 - Ilustração dos componentes implantados para tratamento de água cinza:
(a) residência escolhida; (b) área destinada a implantação dos protótipos;
(c) filtro e reatores solares; e (d) sumidouro do sistema.

3.4. Funcionamento e aspectos construtivos da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

A estação de tratamento de águas negras (ETAN) foi composta por um conjunto constituído de uma caixa de gordura, um tanque séptico em que a água negra “bruta” chegava via rede de esgoto com tubulação de PVC de 100 mm. Após o tempo de detenção de 24 horas, o efluente era conduzido a

um biofiltro por uma tubulação perfurada de 50 mm no formato de espinha de peixe para melhorar a distribuição do esgoto em toda a superfície do biofiltro. Em seguida o efluente passava para o reator solar I onde permanecia por 24 horas com uma lâmina máxima de 20 cm, sendo encaminhado posteriormente para o reator II, permanecendo por mais 24 horas, onde era realizada a desinfecção final do efluente de água negra por meio dos raios UV presentes na luz solar. Foram usadas válvulas e tubulações de PVC de 50 mm para fazer a condução do efluente.

Na Figura 2 são apresentadas fotografias ilustrativas da estação de tratamento de águas negras (ETAN), implantada na residência da comunidade rural Água Limpa, em Cajuri-MG.



Figura 2 - Ilustração dos componentes da estação para tratamento de águas negras: (a) caixa de gordura; (b) tanque séptico; (c) filtro biológico e reatores solares; e (d) vista geral do sistema.

A seguir serão apresentados detalhamentos sobre cada componente da estação de tratamento de águas negras (ETAC).

3.4.1. Caixa de Gordura

A caixa de gordura foi construída em fibra de vidro, espessura de 3 mm, nas dimensões de 0,40 m de diâmetro por 0,60 m de profundidade.

3.4.2. Tanque Séptico

O tanque séptico foi construído em fibra de vidro (3 mm) nas dimensões de 1,10 m de largura média por 2,0 m de comprimento por 1,7 m de profundidade. Foi construído com duas câmaras, sendo a primeira nas dimensões de 1,30 m de diâmetro por 1,7 m de profundidade para remoção de sólidos, e para a remoção de óleos e graxas que não foram retidos pela caixa de gordura. A segunda câmara do tanque séptico possuía dimensões de 0,90 m de diâmetro por 1,7 m de profundidade para sedimentação de sólidos suspensos e armazenamento de efluente para abastecimento do filtro biológico. O dimensionamento do tanque séptico foi realizado conforme as recomendações estabelecidas na NBR 7229 (ABNT, 1993), com tempo de detenção hidráulica de 12 horas.

3.4.3. Filtro Biológico

O filtro biológico foi construído em fibra de vidro, espessura de 3 mm, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,5 m de comprimento por 0,9 m de altura. Internamente o filtro biológico foi constituído de três camadas utilizando os seguintes materiais: serragem de madeira e brita. A primeira camada possuía 0,30 m de espessura, sendo constituída de serragem de madeira com granulometria de 3 a 8 mm, minhocas da espécie *Eisenia foetida* (com população inicial de 2.000 minhocas por metro quadrado) e bactérias com a finalidade de propiciar a retenção e a degradação de poluentes químicos e orgânicos. A segunda camada foi composta apenas por serragem de madeira com granulometria de 2,5 a 3,0 mm, visando

principalmente a adsorção de poluentes químicos, tendo a espessura de 0,20 m. A terceira camada foi constituída por brita na espessura de 0,10 m. O protótipo foi abastecido com efluente do tanque séptico por meio de tubos de PVC de 50 mm com perfurações a cada 0,05 m.

O efluente do tanque séptico era conduzido para o biofiltro por meio de uma tubulação de 50 mm e regulado por uma válvula que permitia a sua passagem para uma estrutura de distribuição do efluente em forma de espinha de peixe constituída por tubos perfurados de 50 mm de diâmetro com a função de melhorar a distribuição do esgoto em toda a superfície do biofiltro.

No fundo do biofiltro foi instalada uma tubulação de 50 mm de PVC para escoamento do efluente até a próxima etapa de tratamento. O biofiltro era coberto por sombrite, para evitar a ação de predadores naturais das minhocas. O módulo era abastecido apenas uma vez por dia durante as primeiras horas do dia, juntamente com a troca dos efluentes dos reatores solares.

3.4.4. Reatores Solares

Os reatores solares foram construídos em fibra de vidro, espessura de 3 mm, nas dimensões de 1,3 m de diâmetro por 0,4 m de altura. Estes utilizaram a radiação solar local para a redução do nível populacional de bactérias do efluente do biofiltro. Deve-se ressaltar que o tempo de exposição à radiação solar utilizado nestes protótipos foi de dois dias consecutivos.

3.4.5. Sumidouro e Fertirrigação

O sumidouro foi constituído de uma tubulação de drenagem de PVC de 100 mm enterrada a uma profundidade de aproximadamente 0,40 m, abaixo do nível do segundo reator, para que a água residuária seja distribuída uniformemente no solo, sendo tomados os devidos cuidados com a profundidade do lençol freático. O sumidouro possuía o comprimento de 6

m e foi envelopado por uma camada de 0,15 m de brita # 1. O efluente saía do reator II por uma válvula e uma tubulação de 50 mm de PVC com comprimento de 0,50 m e por meio de conexões de adaptações de diâmetros, fazia-se a interligação do tubo de drenagem com um tampão na extremidade. Este dispositivo foi construído para permitir a disposição do efluente tratado no solo de forma sustentável, quando não fosse utilizada a prática da fertirrigação em um lote com cultivo de cana-de-açúcar.

O sistema de fertirrigação foi implantado no período de 20 de maio a 20 de junho de 2009, em uma área agricultável da residência situada na comunidade rural Água Limpa, em Cajuri-MG, um mini-sistema de fertirrigação para cana-de-açúcar. Tal mini-sistema era composto de: motobomba de 1 cv, filtro de discos de 120 mesh, linhas principal e de derivação com diâmetro nominal de 25 mm, linhas laterais de 16 mm e válvula reguladora de pressão de 10,5 mca. As linhas laterais adotadas foram do tipo gotejamento em área cultivada com cana-de-açúcar, com espaçamento de plantio de 1,4 m x 0,4 m, e sulcos nas dimensões de 0,2 m x 0,2 m. Todas as tubulações do sistema foram enterradas a uma profundidade de 0,40 m, inclusive as linhas laterais.

O mini-sistema ocupou uma área retangular com 6 m de largura por 10 m de comprimento, totalizando 60 m². A motobomba foi acoplada a um dos reatores solares (Figura 3b, c) e operava no período seco (outono e inverno) a cada dois dias durante 55 minutos.

O gotejador utilizado foi do tipo auto compensante cilíndrico, interno, com labirinto tortuoso e amplo filtro secundário dotado das seguintes características (Figura 3d): vazão nominal 3,6 L h⁻¹; espaçamento entre gotejadores de 0,75 m; área do orifício 2,54 mm²; comprimento do labirinto de 44 mm; coeficiente de variação de fabricação (CV_f) menor e igual a 4; e faixa de pressão recomendada de 80 a 350 kPa. A avaliação de entupimento dos gotejadores, e o efeito causado pela disposição do efluente das águas negras no solo e na cultura da cana-de-açúcar não foram objetos desse estudo.

Para evitar que minhocas do filtro biológico sofressem predação por pássaros, instalou-se uma estrutura metálica envolta por tela sombrite 60%

nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,50 m de comprimento neste componente, conforme observado na Figura 3a.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 - Ilustração dos protótipos e do mini-sistema de fertirrigação implantados para tratamento de água negra: (a) filtro biológico com cobertura anti-pássaros; (b) reator solar com motobomba acoplada; (c) linhas de derivação e laterais antes de serem enterradas; e (d) detalhe do gotejador utilizado no sistema.

No Apêndice B é apresentado o Memorial de Cálculos utilizado para dimensionamento da estação de tratamento de águas negras (ETAN) e os desenhos técnicos com detalhes dos componentes da ETAN.

3.5. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

O desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) foi realizado levando-se em consideração os parâmetros físicos e químicos recomendados pelas resoluções CONAMA n.º 357/2005 (CONAMA, 2005) e CONAMA n.º 430/2011 (CONAMA, 2011), e resolução do COPAM/CERH-MG n.º 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008), que especificam padrões de tratamento e lançamento de efluentes em corpos d'água. Também foram utilizados como critérios de comparação, os padrões de qualidade de água para reuso citados por Metcalf e Eddy (2003).

Para o monitoramento dos parâmetros microbiológicos (coliformes totais e termotolerantes-fecais), adotou-se como critério de comparação a Portaria nº 2918/2004 do Ministério da Saúde, que define padrões de potabilidade das águas, e recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), já que as normas do CONAMA e COPAM-MG, não especificam padrões de lançamento em corpos d'água para esses parâmetros.

Durante o período de 23 de julho a 1 de outubro de 2009 foi realizado o monitoramento do desempenho dos protótipos para tratamento de água cinza. Para tal, foram coletadas amostras do efluente a montante e a jusante de cada protótipo (filtro e reator solar). Os pontos para amostragem foram os seguintes:

- Ponto 1 (P1): efluente coletado a montante do biofiltro;
- Ponto 2 (P2): efluente coletado a jusante do biofiltro; e
- Ponto 3 (P3): efluente coletado no reator II.

A amostragem foi realizada, em média, a cada 14 dias, durante um período de 70 dias. A figura 4 apresenta um croqui ilustrativo do sistema de tratamento de águas cinzas utilizado, incluindo os pontos de monitoramento (P1, P2, P3).

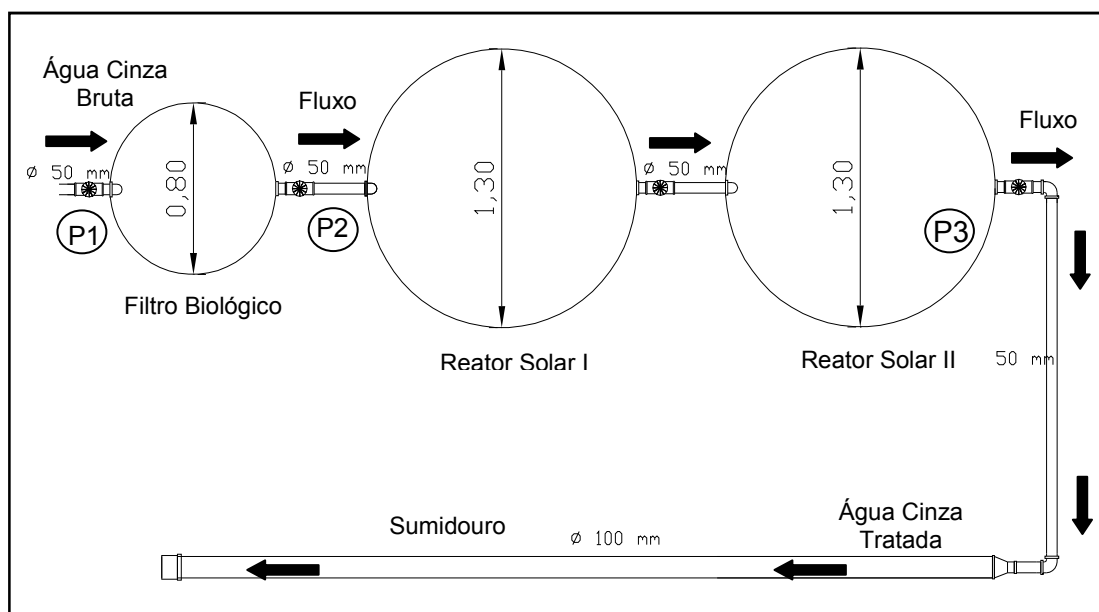


Figura 4 - Ilustração da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) incluindo os pontos de monitoramento.

Para a caracterização química e física dos efluentes foram coletadas amostras semi compostas em três horários (9:00, 12:00 e 15:00 horas) nos pontos P1, P2 e P3 (Figura 4). Após a coleta dessas amostras semi compostas, as mesmas foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo, e em seguida, foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA /UFV) para quantificação do potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), óleos e graxas (OG), turbidez (TB), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (N_{total}), fósforo total (P_{total}), seguindo as recomendações do *Standard Methods of Water and Wastewater Examination* (APHA et al., 2005).

Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) foram medidos com peagâmetro de bancada e os valores de condutividade elétrica (CE) foram medidos com condutivímetro de bancada. Os valores das concentrações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foram determinados pelo método iodométrico (incubação de Winkler); os valores das concentrações da demanda química de oxigênio (DQO), foram determinados pelo método oxidimétrico com refluxo; dos óleos e graxas (OG) pelo método da extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet); as concentrações de sólidos totais

(ST) pelo método gravimétrico; sólidos suspensos totais (SST) pelo método gravimétrico utilizando membranas de fibra de vidro (0,45 μm de diâmetro de poro); as concentrações de fósforo total (P_{total}) foram determinadas por espectrofotometria e as concentrações de nitrogênio total (N_{total}) foram determinadas utilizando o processo Kjeldhal.

Para caracterização microbiológica dos efluentes foram coletadas amostras semi compostas às 15:00 horas nos pontos 1 e 3 (Figura 4). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV) para a quantificação de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (*E. coli*).

Para a determinação de coliformes totais e coliformes fecais, foi adotado o método que utiliza os procedimentos enzimáticos (APHA *et al*, 2005). Nos procedimentos enzimáticos, as bactérias do grupo coliforme total “quebram” a cadeia cromogênica, restando um radical que altera a coloração da solução. No caso da análise de coliformes termotolerantes, as bactérias *Escherichia coli* quebram a cadeia de outra enzima, também presente no substrato adicionado à amostra, proporcionando fluorescência a esta. Os procedimentos enzimáticos são métodos específicos, sensíveis, rápidos e precisos, com sensibilidade para se detectarem contagens de 01 NMP (100 mL^{-1}), com um nível de confiança de 95%, apresentando grande confiabilidade de determinação, quando comparados a outros métodos de determinação, tais como, o método da fermentação em tubos múltiplos e de filtração em membrana (Matos, 2012).

O experimento para tratamento de águas cinzas foi montado no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com três tratamentos (pontos de amostragem) e cinco repetições no tempo. Como os pontos de amostragem são variáveis qualitativas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F à 1, 5 e 10% de probabilidade. Nas análises estatísticas foi utilizado o programa computacional SAEG 9.1 (UFV, 2007).

Os dados meteorológicos de radiação solar global necessários foram extraídos a cada 15 dias da Estação Meteorológica de Superfície Automática A-510, de propriedade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, durante o período experimental que decorreu de 23 de julho de 2009 a 01 de outubro de 2009.

3.6. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

Para a avaliação de desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN), foram consideradas as mesmas características físicas, químicas e microbiológicas analisadas para avaliação de desempenho da STAC.

Durante o período de 5 de maio a 25 de junho de 2009 foi realizado o monitoramento do desempenho dos protótipos para tratamento de água negra. Para tal, foram coletadas amostras do efluente a montante e a jusante de cada componente (tanque séptico, biofiltro e reator solar). Os pontos para amostragem foram os seguintes:

- Ponto 1 (P1): efluente coletado a montante do tanque séptico;
- Ponto 2 (P2): efluente coletado a montante do biofiltro;
- Ponto 3 (P3): efluente coletado a jusante do biofiltro; e
- Ponto 4 (P4): efluente coletado no reator II.

A amostragem foi realizada, em média, a cada 12 dias, durante um período de 50 dias. A figura 5 apresenta um croqui ilustrativo do sistema de tratamento de águas negras utilizado, incluindo os pontos de monitoramento (P1, P2, P3, P4).

Para obter a caracterização química e física dos efluentes foram coletadas amostras semi compostas em três horários (9:00, 12:00 e 15:00 horas) nos pontos P1, P2, P3 e P4 (Figura 5). Com as amostras simples foram obtidas amostras compostas, que posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA /UFV) para quantificação do potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), óleos e graxas (OG), turbidez (TB), sólidos suspensos (SS), sólidos totais

(ST), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (N_{total}), e fósforo total (P_{total}) .

Para caracterização microbiológica dos efluentes foram coletadas amostras semi compostas às 15:00 horas nos pontos 1 e 4 (Figura 5). Depois de coletadas, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo, e posteriormente, encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV) para a quantificação de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (*E. coli*).

O experimento para tratamento de águas negras foi montado no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com quatro tratamentos (pontos de amostragem) e cinco repetições no tempo. Como os pontos de amostragem são variáveis qualitativas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F à 1, 5 e 10% de probabilidade. Nas análises estatísticas foi utilizado o programa computacional SAEG 9.1(UFV, 2007).

Os dados meteorológicos de radiação solar global foram extraídos a cada 15 dias da Estação Meteorológica de Superfície Automática A-510, de propriedade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, durante o período experimental que decorreu de 07 de maio de 2009 a 25 de junho de 2009.

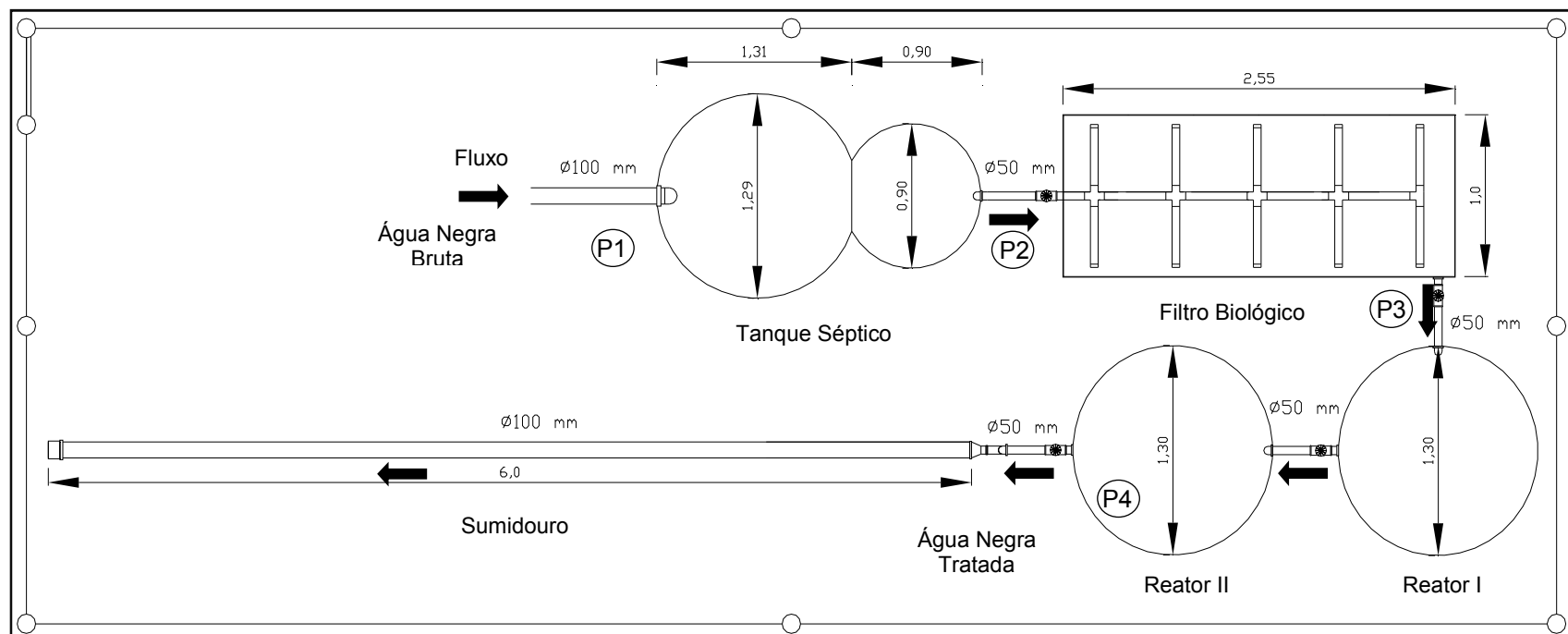


Figura 5 - Ilustração do sistema de tratamento de águas negras incluindo os pontos de monitoramento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

Nas Tabelas 9 e 10 estão apresentados os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados na estação destinada ao tratamento de águas cinzas no período de 23 de julho a 1 de outubro de 2009.

Observando os dados das Tabelas 9 e 10, com relação às características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados e analisados, verifica-se que de uma maneira geral houve redução na concentração das características turbidez (TB), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos suspensos totais (SST), quando se estabelece comparação entre o Ponto 1 e Ponto 3, durante o período de amostragem.

No dia 16 de setembro de 2009 verificou-se que as características condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST) e nitrogênio total (N_{total}) apresentaram concentrações mais elevadas no Ponto 1 do que no Ponto 3 (Tabelas 9 e 10), devido ao efeito acumulativo de material orgânico particulado nas camadas do elemento filtrante, indicando assim a necessidade de limpeza.

Na Tabela 9, são apresentados os valores de Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (*E.coli*) presentes nas águas cinzas coletados a montante e jusante dos componentes da ETAC ao longo do período experimental.

Analisando os dados contidos na Tabela 9, pode-se dizer que o valor médio encontrado para o pH do efluente do reator solar II (ponto 3) no período de amostragem foi igual a 6,00. Esse valor encontra-se na faixa admissível para o pH (5 a 9), segundo a Resolução N° 430 do CONAMA (CONAMA, 2011), e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG N° 01/2009 (COPAM, 2009), se por acaso esse efluente fosse lançado em corpos hídricos receptores. O valor obtido para o pH dessas águas encontra-se na amplitude normal (de 6,5 a 8,4) para a utilização das mesmas em

irrigação(Ayres e Westcost,1991; Usepa, 2004). Ainda considerando o valor obtido para o pH do efluente do reator solar II, pode-se dizer que esse valor encontra-sena faixa de 5 a 9, recomendada pela Usepa (2004) para águas de reuso não-potável.

Tabela 9 - Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TU), Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (*E.coli*) presentes nas águas cinzas coletados a montante e jusante dos componentes da ETAC ao longo do período experimental

Pontos	pH	CE	TB	CT	<i>E. coli</i>
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	UNT	NMP (100 mL) ⁻¹	
Amostragem de 23 de julho de 2009					
Ponto 1	7,71	559,3	175,0	$6,30 \times 10^5$	$1,00 \times 10^5$
Ponto 2	5,09	410,7	124,0		
Ponto 3	5,02	438,9	29,0	$2,42 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
Amostragem de 12 de agosto de 2009					
Ponto 1	6,06	718,4	103,1	$2,40 \times 10^8$	$1,00 \times 10^5$
Ponto 2	6,96	588,8	78,3	-	-
Ponto 3	6,88	442,4	73,3	$7,2 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$
Amostragem de 19 de agosto de 2009					
Ponto 1	5,62	421,2	48,9	$1,56 \times 10^7$	$2,00 \times 10^6$
Ponto 2	5,76	354,1	22,3	-	-
Ponto 3	6,27	314,7	18,5	$1,30 \times 10^7$	$1,0 \times 10^4$
Amostragem de 16 de setembro de 2009					
Ponto 1	5,64	435,5	131,3	$1,99 \times 10^8$	$8,6 \times 10^5$
Ponto 2	6,56	870,0	73,2	-	-
Ponto 3	7,14	714,2	102,0	$1,2 \times 10^7$	<1
Amostragem de 1 de outubro de 2009					
Ponto 1	4,79	395,6	97,1	$2,42 \times 10^8$	$2,00 \times 10^5$
Ponto 2	6,65	238,9	27,5	-	-
Ponto 3	5,65	190,1	21,0	$9,8 \times 10^3$	<1

Nota: Ponto 1: efluente coletado a montante do filtro; Ponto 2: efluente coletado a jusantedo biofiltro; Ponto 3: efluente coletado no reator II.

Analisando os dados contidos na Tabela 9 e a Figura 6, pode-se dizer que os valores médios obtidos para a condutividade elétrica (CE) dos efluentes coletados no Ponto 1e Ponto 3 da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem, foram de $506 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $420 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente, destacando uma eficiência média de remoção de 28%, para a característica CE avaliada.

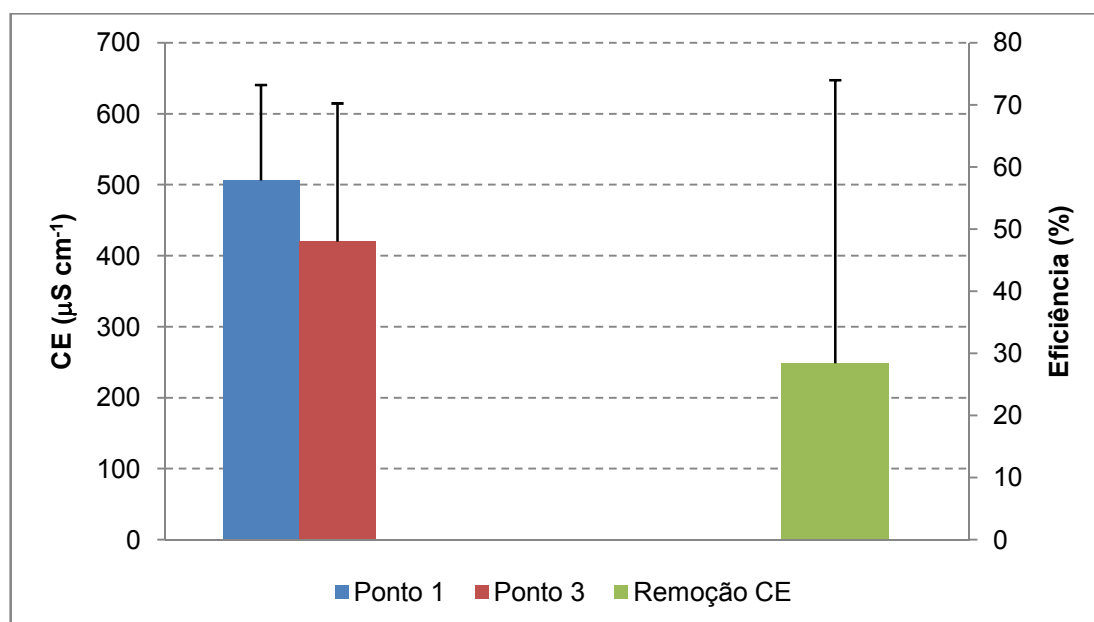


Figura 6 –Concentrações médias de Condutividade elétrica (CE) nos Pontos 1 e 3, e eficiência de remoção média de CE na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Diversos são os critérios utilizados para estabelecer os limites de qualidade da água para irrigação. Ayres& Westcot (1991) definem os principais problemas potenciais da água de irrigação como, por exemplo: a salinização, a toxicidade de íons específicos, a alteração da velocidade de infiltração de água no solo, os agentes patogênicos, os riscos ao entupimento de emissores e outros. Segundo a Usepa (2004), o risco de salinização é uns dos parâmetros mais importantes a ser determinado com vistas à garantia de sustentabilidade do sistema (água, solo e planta).

A condutividade elétrica (CE) em uma solução é proporcional à concentração iônica presente no meio (passagem de corrente elétrica num meio ionizado, com isso, torna-se possível a estimativa da salinidade e da concentração de sólidos dissolvidos na água a partir de dados da sua condutividade elétrica (Matos, 2012).

A água utilizada na irrigação tem grande influência no risco de salinização do solo. O Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (U.S. Salinity Laboratory Staff) sugere que a classificação quanto ao perigo de salinização dos solos, deve ser avaliada conforme a condutividade elétrica (CE) presente nas águas de irrigação (Bernardo *et al.*, 2005) (Tabela 10).

Tabela 10 – Classificação da água para irrigação de acordo com a condutividade elétrica (CE).

CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Classe	Salinidade
$0 < \text{CE} < 250,0$	C1	Baixa
$250,0 < \text{CE} < 750,0$	C2	Média
$750,0 < \text{CE} < 2250,0$	C3	Alta
$2250,0 < \text{CE} < 5000,0$	C4	Muito alta

Nota:

C1 – água pode ser utilizada na maioria das culturas e solos, com pouca probabilidade de causar salinização.

C2 – água pode ser utilizada em plantas com moderada tolerância aos sais.

C3 – água não pode ser utilizada em solos com deficiência de drenagem.

C3 – água não apropriada para a irrigação.

Fonte: Adaptado de Bernardo *et al.* (2005).

Segundo Ayres e Westcost (1991) e Usepa (2004), com relação à concentração de CE das águas de irrigação, o grau de restrição ao uso das águas de irrigação é considerado inexistente (nenhuma restrição), caso a concentração de CE nas águas residuárias utilizadas para a irrigação de culturas seja inferior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ (ou $700,0 \mu\text{S cm}^{-1}$); restrição moderada se a concentração de CE se encontrasse na faixa de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ ($700 \mu\text{S cm}^{-1}$) a $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ($3000,0 \mu\text{S cm}^{-1}$), e restrição severa, se a concentração de CE fosse maior que $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ($3000,0 \mu\text{S cm}^{-1}$).

De acordo com os resultados obtidos para os efluentes de águas cinzas no Ponto 3 ($\text{CE} = 420 \mu\text{S cm}^{-1}$), pode-se dizer que esses efluentes não possuem nenhuma restrição (Ayres e Westcost, 1991; Usepa, 2004), ou poderiam ser classificadas como C2, apresentando médio risco de salinização dos solos (Bernardo *et al.* 2005), caso essas águas fossem utilizadas para irrigação de culturas, quando avaliada a característica CE.

A turbidez das águas pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através de um meio líquido e é provocada pela presença de materiais sólidos em suspensão (Matos, 2012; von Sperling, 2005). Analisando os dados da Tabela 9, pode-se dizer que valores médios encontrados para a concentração de turbidez (TB) dos efluentes coletados no Ponto 1 e Ponto 3 foram de 111 UNT e 49

UNT, respectivamente. A eficiência de remoção média de turbidez apresentada pela ETAC foi de aproximadamente 55% (Figura 7).

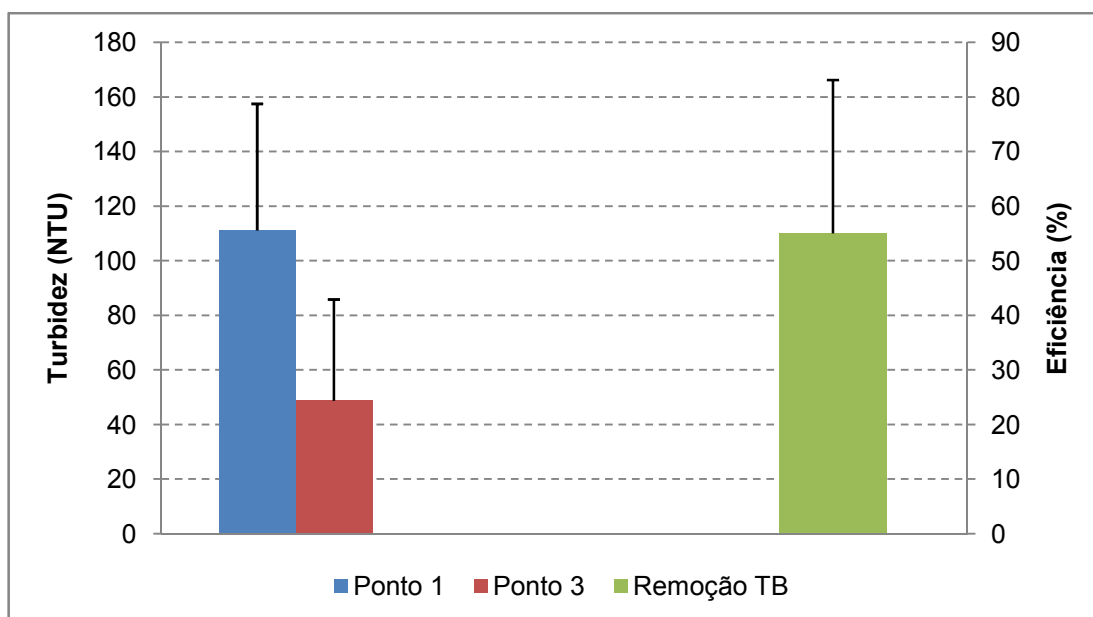


Figura 7—Concentrações média de Turbidez (TB) para os Pontos 1 e 3, e eficiência de remoção média de TB na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Metcalf e Eddy (2003) recomendam que para o reuso de águas residuárias no solo, a concentração de turbidez deve ser menor que 30 UNT. O valor médio de TB obtido para o efluente do Ponto 3 é superior ao valor recomendado por Metcalf e Eddy (2003), para a utilização dessas águas residuárias no solo. Ainda considerando os valores médios obtidos para TB no Ponto 3, pode-se dizer que esse efluente não poderia ser reutilizado em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor máximo permitido para TB é de 2,0 UNT, conforme recomendado pela Usepa (2004) e pela Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005).

As bactérias do grupo coliforme têm sido utilizadas há vários anos na avaliação da qualidade microbiológica de amostras ambientais (Rompré *et al.* 2002, Tallon *et al.* 2005 *apud* Cetesb, 2008), e atendem vários dos requisitos de um bom indicador de contaminação fecal.

Em relação às características microbiológicas dos efluentes coletados e analisados, verifica-se que o nível médio da população de coliformes totais (CT) no Ponto 1 e no Ponto 3, durante o período de amostragem, foram de $1,39 \times 10^8$ NMP (100 mL)⁻¹ e de $1,94 \times 10^7$ NMP (100 mL)⁻¹, respectivamente, com uma redução média de aproximadamente 2 (duas) unidades logarítmicas (Figura 8).

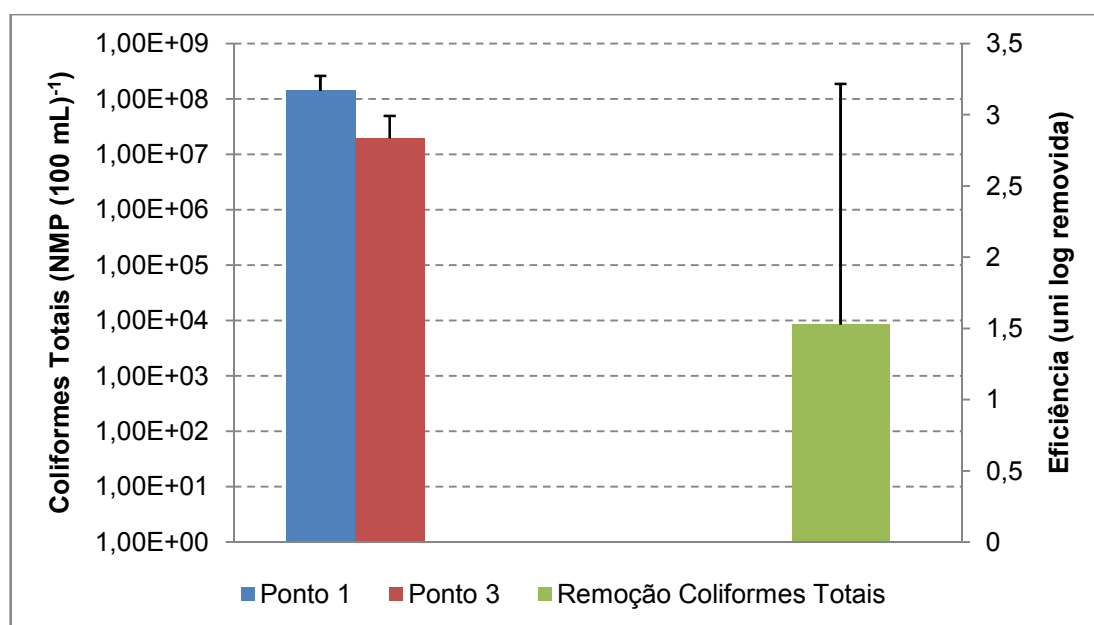


Figura 8 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Totais (CT) nos Pontos 1 e 3, e eficiência de remoção média de CT na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Para os coliformes termotolerantes (*E. coli*) foram encontrados níveis médios de população de $6,2 \times 10^5$ NMP (100 mL)⁻¹ no Ponto 1 e $8,0 \times 10^3$ NMP (100 mL)⁻¹ no Ponto 3, destacando uma redução média de 3 (três) unidades logarítmicas (Figura 8). De acordo com os valores médios obtidos para a população de *E. coli* no Ponto 3 ($8,0 \times 10^3$ NMP (100 mL)⁻¹), pode-se dizer que os efluentes das águas cinzas poderiam ser utilizados para a irrigação irrestrita (opções B,C) e restrita (opção F) de culturas agrícolas, recomendado pela OMS (2006).

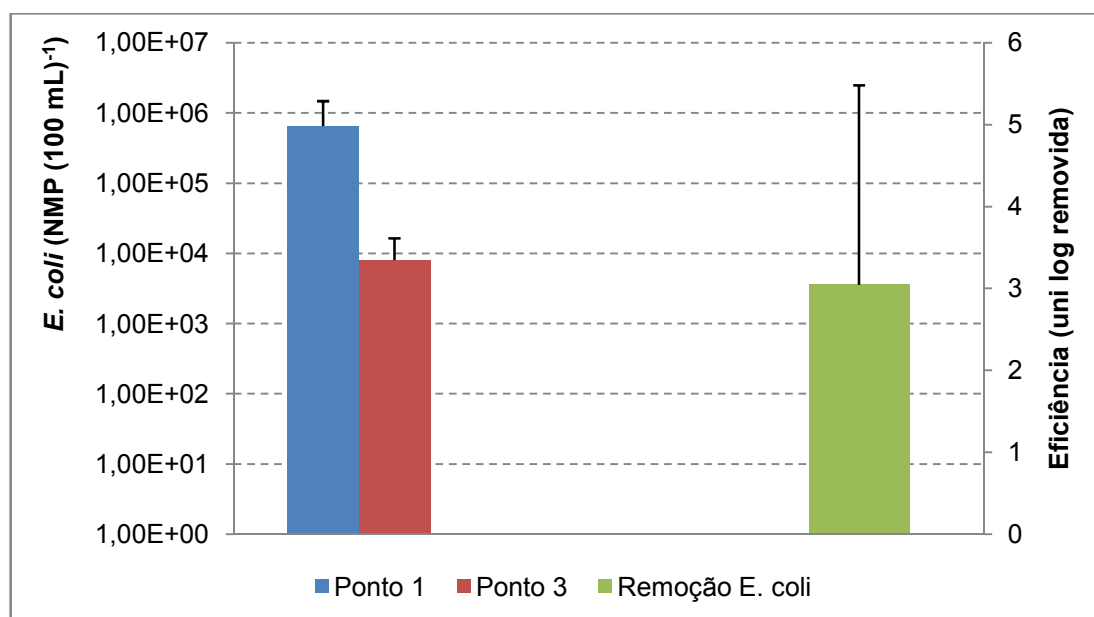


Figura 9 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) nos Pontos 1 e 3, e eficiência de remoção média de *E. coli* na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

De acordo com os dados apresentados na Tabela 11, observa-se que a média da radiação solar global do período de amostragem foi de 30,96 MJ m⁻², inferior ao valor médio (32,56 MJ m⁻²) observado por Sanches-Roman *et al.*, (2007), necessário para a remoção de 4 unidades log da população de *E. coli* presente no esgoto doméstico. Principalmente no dia 16 de setembro de 2009, em que, a média da radiação solar global foi de 35,30 MJ m⁻², a estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) promoveu uma remoção de 5 unidades log da população de *E. coli* do efluente, superior ao valor encontrado por Sanches-Roman *et al.*, (2007).

Tabela 11 – Dados de radiação solar global para o município de Viçosa-MG, durante o período de amostragem de 21/07/2009 a 01/10/2009

Período	Radiação solar (MJ/m ²)
21/07 a 23/07/2009	29,52
10/08 a 12/08/2009	28,63
17/08 a 19/08/2009	36,27
14/09 a 16/09/2009	35,30
29/09 a 01/10/2009	25,09
Média	30,96

Fonte: INMET (2009)

Ainda em relação à população média de *E. coli* encontrada, pode-se dizer que os efluentes de águas cinzas não poderiam ser reutilizados para a irrigação de culturas (Usepa, 2004), e também, não poderiam ser utilizados em descargas de vasos sanitários, lavagem de roupas, lavagem de pisos, lavagem de veículos, para utilização em chafarizes como fins ornamentais, já que para esses usos, os coliformes termotolerantes (*E. coli*), devem estar ausentes (não detectáveis) nas amostras analisadas (Ana, Fiesp, Sinduscon-SP, 2005).

Na Tabela 12 são apresentados os valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Óleos e Graxas (OG) presentes nas amostras de águas cinzas coletadas a montante e jusante dos componentes da ETAC ao longo do período experimental.

Como pode ser observado na Tabela 12, nos dias 23 de julho de 2009 e 12 de agosto de 2009 verificou-se valores muito elevados das concentrações das características ST, SST, DBO, DQO e OG, quando comparados aos valores obtidos em estudos realizados por Siegrist *et al.*, (1976) *apud* Eriksson, (2002); Christova-Boal *et al.*, (1998). No período compreendido entre 23 de julho e 12 de agosto de 2009, constatou-se por meio das análises laboratoriais e por entrevista aos moradores, que o tanque destinado para lavar roupas, também estava sendo utilizado para a limpeza de utensílios domésticos e, para a limpeza de aves e suínos, animais que foram utilizados para a alimentação dos moradores da residência. Durante a limpeza dessas aves e suínos, era gerada uma alta carga orgânica principalmente pela presença de sangue e materiais gordurosos, provenientes de tecidos e órgãos desses animais, fatores esses que explicam os altos valores das características ST, SST, DBO, DQO e OG, supracitadas. Após a detecção dessa situação, os moradores foram orientados a não utilizar o tanque para a limpeza de animais e utensílios domésticos, durante o período experimental. Essa orientação foi refletida diretamente nas análises posteriores, já que a partir das amostragens realizadas no período entre 19 de agosto de 2009 e 01 de outubro de 2009,

os valores encontrados para as características ST, SST, DBO, DQO e OG, ficaram próximos aos valores encontrados em estudos realizados por Siegrist *et al.*, (1976), *apud* Eriksson, (2002). Outro fator que deve ser considerado para os altos valores das características ST, SST, DBO, DQO e OG, é que a serragem de madeira utilizada no biofiltro foi exposta à efluente de esgoto doméstico bruto por um período de 15 dias antes do início do experimento, para a formação de biofilme, conforme mencionado no Capítulo 3 (Material e Métodos), acarretando no aumento de matéria orgânica do biofiltro, durante o período inicial de amostragem.

Tabela 12 – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Óleos e Graxas (OG) presentes nas amostras de águas cinzas coletadas a montante e jusante dos componentes da ETAC ao longo do período experimental

Pontos	DQO	DBO	ST	SST	P _{total}	N _{total}	OG
----- mg L ⁻¹ -----							
Amostragem de 23 de julho de 2009							
Ponto 1	3.820,0	1.809,2	2.789,0	1.090,0	2,73	13,67	2.200,0
Ponto 2	950,6	446,2	533,0	78,0	2,69	12,95	154,0
Ponto 3	349,2	73,6	400,0	56,0	2,12	9,35	67,0
Amostragem de 12 de agosto de 2009							
Ponto 1	2.663,0	934,2	2.872,0	1.086,0	8,25	36,77	1.393,0
Ponto 2	653,4	146,9	714,0	86,0	2,05	24,71	42,0
Ponto 3	415,8	93,1	567,0	70,0	1,59	3,59	13,0
Amostragem de 19 de agosto de 2009							
Ponto 1	752,4	487,2	518,0	134,0	8,45	56,24	45,00
Ponto 2	613,8	303,1	51,0	76,0	4,14	31,72	8,00
Ponto 3	336,6	180,1	48,0	56,0	0,65	18,75	4,00
Amostragem de 16 de setembro de 2009							
Ponto 1	840,0	458,7	487,0	102,0	0,35	31,72	87,33
Ponto 2	653,3	387,7	793,0	152,0	0,71	64,89	54,00
Ponto 3	550,0	271,4	756,0	68,0	0,28	82,19	34,00
Amostragem de 1 de outubro de 2009							
Ponto 1	901,6	621,0	365,0	160,0	2,18	15,05	91,33
Ponto 2	215,6	70,6	193,0	66,0	0,44	14,11	29,33
Ponto 3	78,4	43,5	142,0	36,0	0,20	15,99	11,33

Nota: Ponto 1: efluente coletado a montante do filtro; Ponto 2: efluente coletado a jusante do biofiltro; Ponto 3: efluente coletado no reator II.

Na figura 10, pode-se observar os valores médios obtidos para a DQO do efluente no Ponto 1 (1.795,0 mg L⁻¹) e Ponto 3 (346,0 mg L⁻¹), durante o período de amostragem. Realizando comparações entre os valores de DQO para o Ponto 1 e Ponto 3 observa-se uma remoção média de 71,3% durante o período de amostragem. Nesse caso, pode-se dizer que os resultados obtidos para os efluentes de águas cinzas atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, pois o sistema de tratamento apresentou uma eficiência média de remoção de DQO maior que a exigência mínima de 55% de remoção para essa característica, exigida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG nº 01/2008 (COPAM, 2008). Porém, os valores médios de DQO encontrados são superiores à faixa 20 a 90 mg L⁻¹ recomendada por Metcalf e Eddy (2003), para o reuso desses efluentes na irrigação de culturas agrícolas.

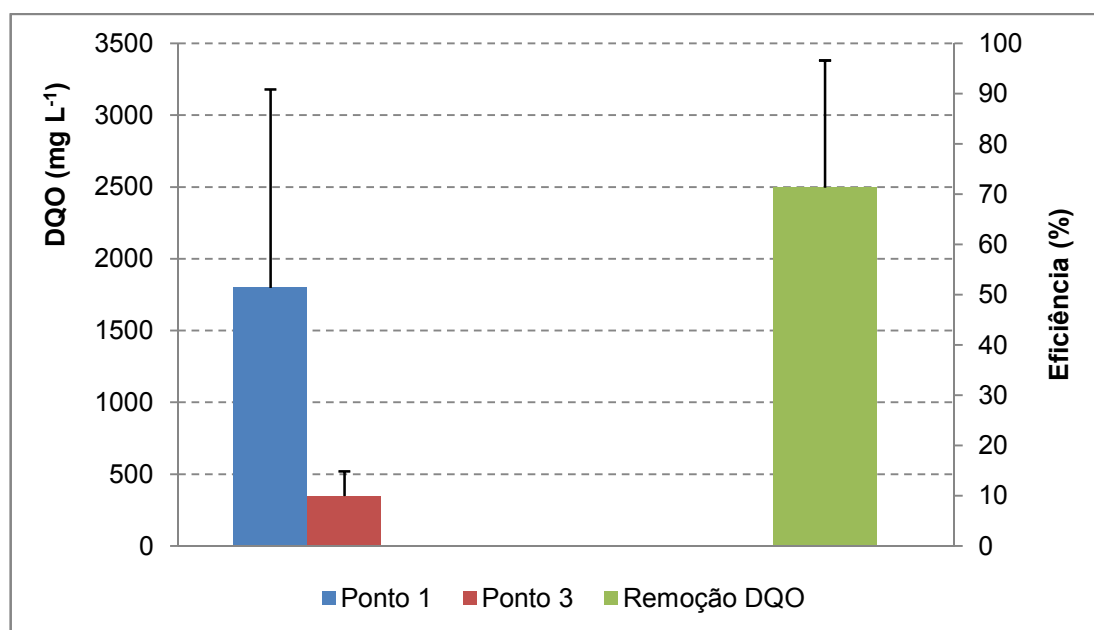


Figura 10 – Concentração média da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de DQO na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Comparando os valores médios de DBO do efluente coletado no Ponto 1 (862,0 mg L⁻¹) e Ponto 3 (132,0 mg L⁻¹) (Figura 11), durante o período de amostragem, verifica-se que houve uma remoção média de DBO

de 76,5%. Nesse caso, pode-se dizer que os resultados obtidos para os efluentes de águas cinzas atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, pois o sistema de tratamento apresentou uma eficiência média de remoção de DBO maior que a exigência mínima de 60% de remoção para essa característica, exigida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG n.º 01/2008 (COPAM, 2008). Porém, os valores médios de DBO encontrados para os efluentes de águas cinzas, indicam que esses efluentes não poderiam ser utilizados para a irrigação de culturas agrícolas, pois são superiores à faixa 10 a 45 mg L⁻¹ recomendada para o reuso desses efluentes na irrigação de culturas agrícolas (Metcalf e Eddy, 2003), e superior ao valor de 30 mg L⁻¹ recomendado pela Usepa (2004). Considerando os valores médios obtidos para a DBO no Ponto 3 (132,0 mg L⁻¹), pode-se dizer que esse efluente não poderia ser reutilizado em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor médio obtido, foi superior valor máximo permitido para DBO de 10,0 mg L⁻¹, conforme recomendado pela Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005).

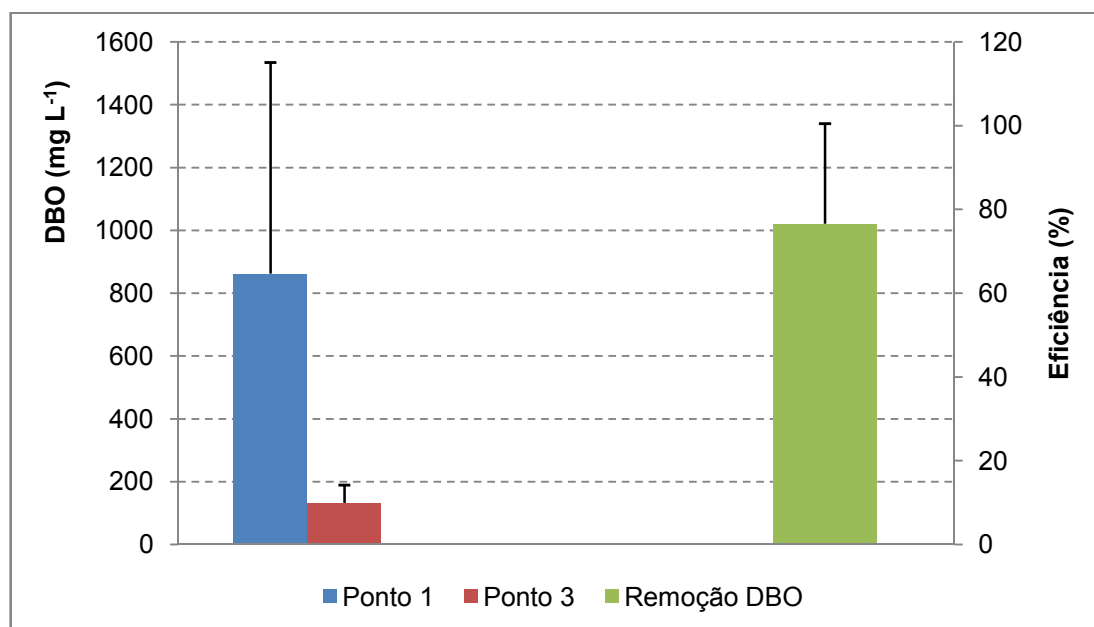


Figura 11 – Concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de DBO na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Os valores médios de sólidos totais (ST) encontrados no Ponto 1 e Ponto 3, foram de 1406,2 mg L⁻¹ e 382,6 mg L⁻¹, respectivamente. Comparando os valores médios de ST para o Ponto 1 e Ponto 3 contata-se uma eficiência de remoção média de 52,5% (Figura 12).

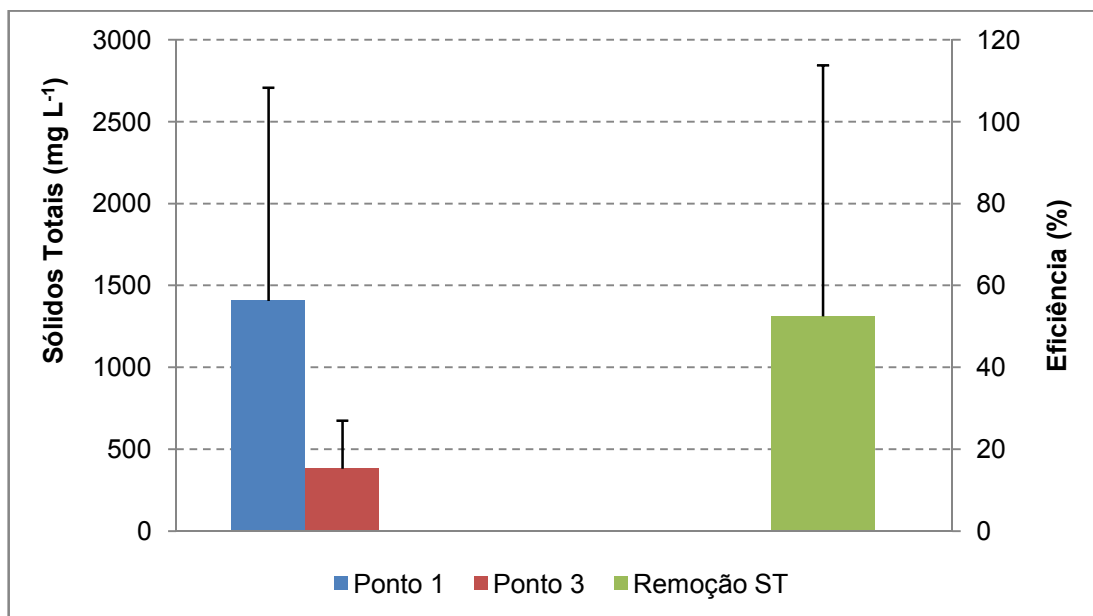


Figura 12 – Concentrações médias de Sólidos Totais (ST) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de ST da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Com relação aos sólidos suspensos totais (SST), constatou-se que os valores médios da concentração de SST dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, durante o período de amostragem, foram de 514,4 e 57,2 mg L⁻¹, respectivamente. Nesse caso, os resultados atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 100 mg L⁻¹. Realizando comparações entre os valores de SST para o Ponto 1 e Ponto 3 contata-se uma eficiência de remoção média de 71% (Figura 13).

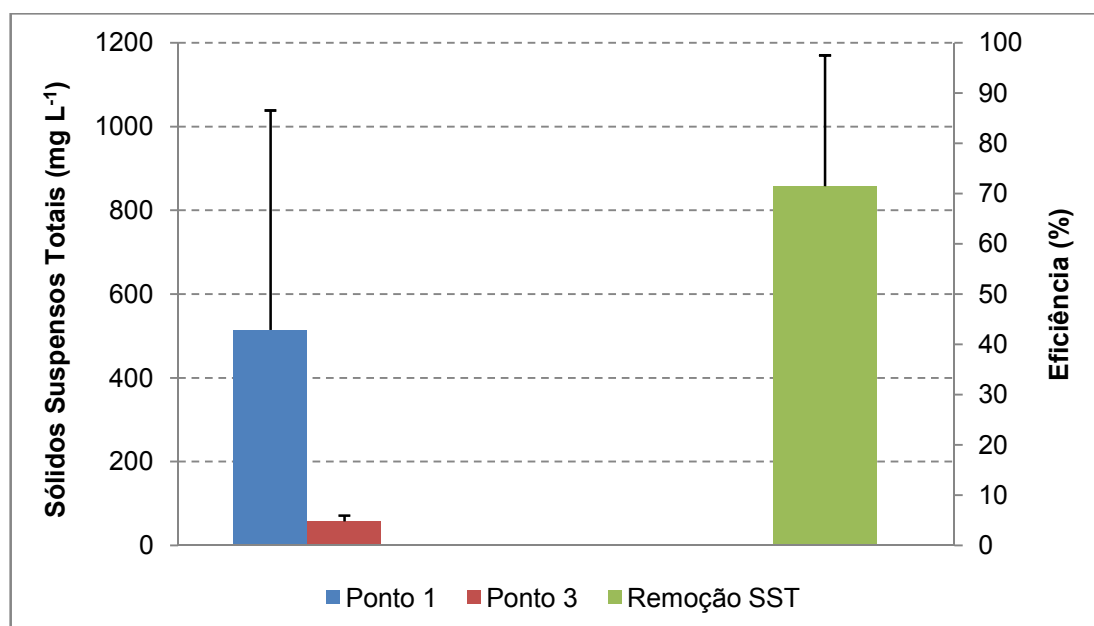


Figura 13 – Concentrações médias de Sólidos Suspensos Totais (SST) no Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de SST na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC) durante o período de amostragem

Os sólidos suspensos que podem provocar entupimento às pequenas passagens dos gotejadores, na maioria das vezes, possuem componentes orgânicos (plânctons, caracóis e insetos) e inorgânicos (areia, silte, argila e resíduo plástico). Para o reuso de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, a concentração de sólidos suspensos totais deve ser inferior a 30 mg L⁻¹ (Metcalf e Eddy, 2003; Usepa, 2004). De acordo com Leon e Cavallini (1999), em sistemas de irrigação por gotejamento, a concentração de sólidos em suspensão deve ser menor que 50 mg L⁻¹ para que se minimize os riscos de obstrução dos emissores.

Segundo Capra e Scicolone (2006), partículas menores que 1/4 e 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de efluente no gotejador representam risco potencial de entupimento quando se utiliza esgoto doméstico tratado contendo até 50 mg L⁻¹ e de 100 a 150 mg L⁻¹ de sólidos suspensos, respectivamente. Estudos realizados com esgoto doméstico tratado apontam os sólidos suspensos como um dos principais agentes de entupimento (Adin; Sacks, 1991; Capra; Scicolone, 2004; Capra; Scicolone, 2006). Adin e Sacks (1991) afirmaram que a severidade do entupimento, muitas vezes, depende mais do tamanho do que da quantidade de partículas na água de fertirrigação. No entanto, Capra e Scicolone (2004) notaram que

o esgoto doméstico secundário com concentrações de sólidos suspensos superiores a $78,0 \text{ mg L}^{-1}$ não possibilitou ótima uniformidade de aplicação de efluente nas unidades de fertirrigação. Porém, esses efluentes podem causar entupimentos em sistemas de irrigação, principalmente em sistemas por gotejamento, já que, para o reuso de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, a concentração de sólidos suspensos totais deve ser inferior a 30 mg L^{-1} (Metcalf e Eddy, 2003; Usepa, 2004). Logo, de acordo com a concentração de SST encontrada para esses efluentes, recomenda-se que os mesmos devam passar por um processo posterior de filtragem, a fim de se encontrar valores de concentrações que minimizem riscos de entupimentos, para que possam ser utilizados em fertirrigação de culturas agrícolas.

Constatou-se que os valores médios da concentração de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, durante o período de amostragem, foram de $4,4$ e $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Comparando-se as concentrações obtidas nos Ponto 1 e 3, constata-se uma eficiência média de remoção de 61% (Figura 14). Para o nitrogênio (N_{total}), constatou-se valores médios dos efluentes nos Pontos 1 e 3, de $30,7 \text{ mg L}^{-1}$ e $26,0 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, constatando-se uma remoção média de 4,63% (Figura 15).

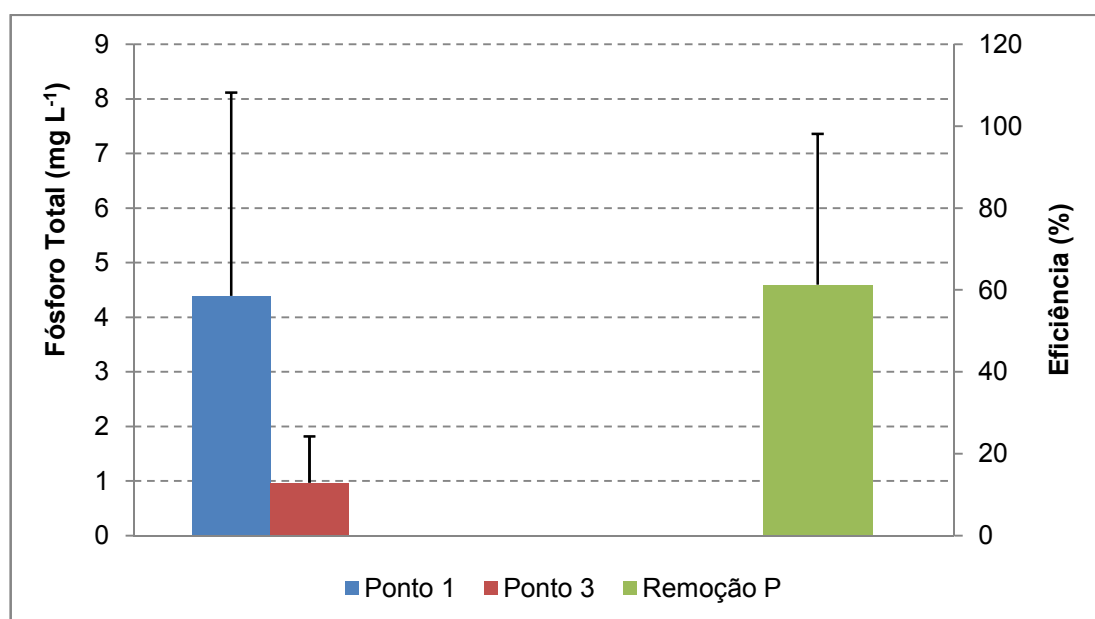


Figura 14 – Concentrações médias de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de P_{total} na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

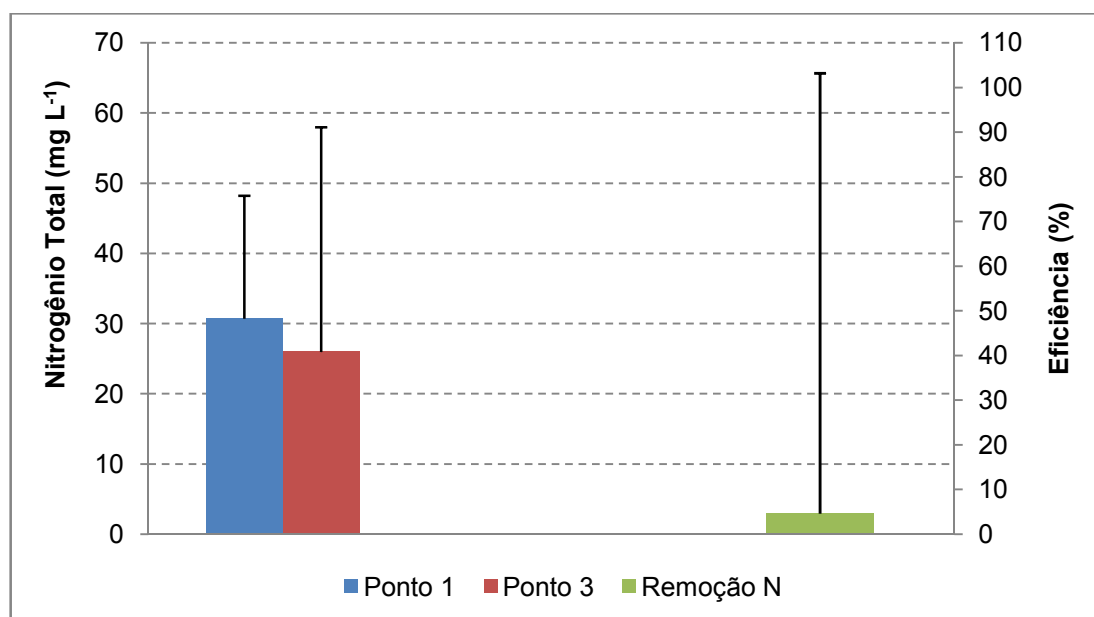


Figura 15 – Concentrações médias de nitrogênio total (N_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 3, e eficiência de remoção média de N_{total} na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

Para o reuso de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, a concentração de P_{total} em efluentes dessas águas residuárias deve-se encontrar na faixa 1 a 20 mg L⁻¹, enquanto o valor de N_{total} deve-se encontrar na faixa 1 a 30 mg L⁻¹ (Metcalf e Eddy, 2003). De acordo com os valores médios obtidos nos efluentes do Ponto 3 para o P_{total} (1,0 mg L⁻¹) e N_{total} (26,0 mg L⁻¹), pode-se dizer que esses efluentes poderiam ser utilizados em sistemas de fertirrigação de culturas agrícolas.

Os valores médios para as concentrações de óleos e graxas (OG) do Ponto 1 (entrada da ETAC) e Ponto 3 (saída da ETAC) durante o período de amostragem, foram de 763,3 mg L⁻¹ e 25,9 mg L⁻¹ (Figura 16), respectivamente, indicando que nesse caso, os resultados atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, e também atendem ao padrão de lançamento para o Brasil, que é de 50 mg L⁻¹ (COPAM, 2008; CONAMA, 2011). Comparando os valores médios de OG para o Ponto 1 e Ponto 3, constata-se uma eficiência de remoção média de 87% (Figura 15). Porém, pode-se dizer que esses efluentes de águas cinzas não poderiam ser reutilizados em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor máximo permitido para OG é

de 1,0 mg L⁻¹, conforme recomendado pela Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005).

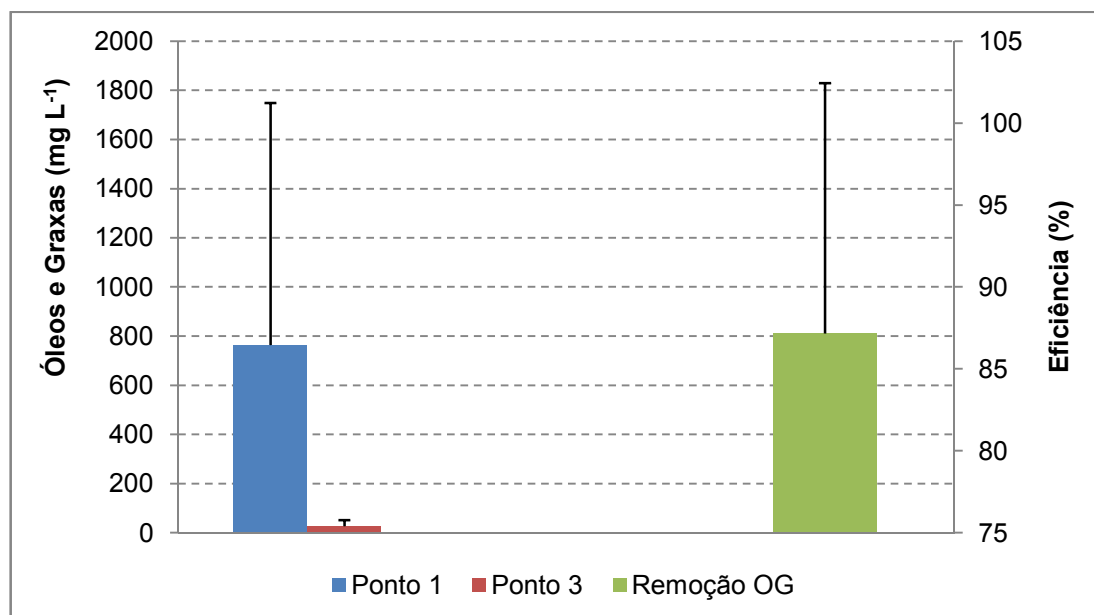


Figura 16 – Concentração média de Óleos e Graxas (OG) no Ponto 1(entrada) e Ponto 3 (saída), e eficiência de remoção média de OG na estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

Estão apresentados na Tabela 13, os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas das águas cinzas referentes aos pontos 1(entrada) e 3 (saída) da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC).

Pela análise de variância, verificou-se que as características pH, CE, CT, P_{total} e N_{total} não foram significativas a 10% de probabilidade pelo teste F. As características TB, *E. coli*, DQO e DBO foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 13 – Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P3) da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

Características	F	Amostragem	
		Ponto 1	Ponto 3
Potencial Hidrogeniônico	0,14 ^{ns}	6,20	6,00
Condutividade Elétrica (μS cm ⁻¹)	0,7 ^{ns}	506	420
Turbidez (UNT)	5,5*	111	49

Coliformes Totais (NMP 100 mL) ⁻¹	0,8 ^{ns}	1,39x10 ⁸	1,94x10 ⁷
<i>Escherichia coli</i> (NMP (100 mL) ⁻¹)	8,60*	6,20x10 ⁵	8,30x10 ³
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	5,40*	1795	346
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	8,20*	862	132
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	2,94 ⁰	1406	383
Sólidos Suspensos Totais (mg L ⁻¹)	3,80 ⁰	515	57
Fósforo total (mg L ⁻¹)	2,60 ^{ns}	4,40	1,60
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	0,08 ^{ns}	30,70	25,90
Óleos e Graxas (mg L ⁻¹)	2,80 ⁰	763,00	26,00

Nota : * F significativo a 5% de probabilidade, ⁰ F significativo a 10% de probabilidade; e ^{ns} F não-significativo a 10% de probabilidade.

De maneira geral, a utilização de filtros e de reatores solares em série se destaca para o tratamento de águas cinzas. Os filtros utilizados no tratamento de águas residuárias, na maioria das vezes, são constituídos de areia grossa, brita e cascalho, tendo a finalidade de reduzir a carga orgânica do efluente; enquanto, os reatores solares são estruturas construídas em alvenaria ou de fibra de vidro que possibilitam a inativação de microrganismos patogênicos pela exposição direta à radiação solar. Geralmente, a lâmina de efluente mantida no interior do reator solar é de 0,20 m (Sanches-Romanet *et al.*, 2007).

No trabalho apresentado por Capra e Scicolone (2004), verificou-se que os filtros de areia apresentaram resultados efetivos na filtração de águas residuárias. Segundo Souza (2005), a remoção média de sólidos suspensos e demanda bioquímica de oxigênio em filtro de areia operando com esgoto doméstico foi de 89 e 60%, respectivamente.

Destaca-se também que a utilização da radiação solar na desinfecção de águas cinzas, surge como alternativa sustentável, simples e de baixo custo, possível de ser implementada em comunidades rurais de baixa renda. A literatura mostra que os microrganismos patogênicos geralmente presentes nas águas superficiais e residuárias são vulneráveis ao calor e à radiação ultra-violeta. Os mecanismos de ação da radiação ultra-violeta sobre os microrganismos são diferentes daqueles dos agentes desinfetantes químicos. O mecanismo predominante é, supostamente, o da alteração do DNA das células, tornando o organismo incapaz de reproduzir-

se. Desta forma, o organismo é inativado com relação a sua capacidade de proliferação e transmissão da doença (Kehoe *et al.*, 2001).

Segundo Sanches-Roman *et al.*,(2007), na Região Norte do Brasil, existe potencialidade de uso da radiação solar para desinfetar as águas residuárias domésticas tratadas durante o ano todo, assim como a Região Nordeste que se apresenta como a mais promissora para a aplicação desta tecnologia. Nos estados do Piauí e Maranhão, durante o ano todo, é preciso dois dias de exposição solar, independentemente da profundidade (até 0,20 m) da água residuária a ser tratada. Nas Regiões Sudeste e Centro Oeste, durante o inverno, são necessários menos de 2,5 dias, enquanto, no resto do ano serão necessários dois dias de exposição solar.

4.2. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

Na Tabela 14 são apresentados os valores de Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (*E.coli*) presentes nas águas cinzas coletados a montante e jusante dos componentes da ETAN ao longo do período experimental.

Analisando os dados contidos na Tabela 14, pode-se dizer que o valor médio encontrado para o pH do efluente do reator solar II (ponto 4) no período de amostragem foi de 6,94. Esse valor encontra-se na faixa admissível para o pH (5 a 9), segundo a Resolução n.º 430 do CONAMA (CONAMA, 2011), e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 01/2009 (COPAM, 2009), se por acaso esse efluente fosse lançado em corpos hídricos receptores. O valor obtido para o pH dessas águas encontra-se na amplitude normal (de 6,5 a 8,4) para a utilização das mesmas em irrigação (Ayres e Westcost, 1991; Usepa, 2004). Ainda considerando o valor obtido para o pH do efluente do reator solar II, pode-se dizer que esse valor encontra-se na faixa de 5 a 9, recomendada pela Usepa (2004) para águas de reuso não-potável.

Tabela 14 - Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TU), Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) presentes nas águas negras coletados a montante e jusante dos componentes da ETAN ao longo do período experimental

Pontos	pH -	CE $\mu\text{s cm}^{-1}$	TB UNT	CT NMP (100 mL) ⁻¹	<i>E. coli</i>
Amostragem de 7 de maio de 2009					
Ponto 1	8,32	1558,0	144,0	$5,3 \times 10^7$	$4,0 \times 10^6$
Ponto 2	6,31	808,3	82,7	-	-
Ponto 3	6,74	713,6	23,2	-	-
Ponto 4	7,12	658,0	13,9	$1,2 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$
Amostragem de 20 de maio de 2009					
Ponto 1	5,13	839,8	159,0	$1,00 \times 10^7$	$1,0 \times 10^6$
Ponto 2	6,28	839,2	45,0	-	-
Ponto 3	6,68	696,1	24,6	-	-
Ponto 4	7,18	706,1	15,0	$3,08 \times 10^6$	$1,44 \times 10^5$
Amostragem de 2 de junho de 2009					
Ponto 1	8,89	1385,0	130,0	$7,1 \times 10^7$	$5,4 \times 10^6$
Ponto 2	5,97	843,7	83,6	-	-
Ponto 3	6,39	632,0	18,3	-	-
Ponto 4	6,49	631,0	13,0	$3,08 \times 10^6$	$3,1 \times 10^4$
Amostragem de 16 de junho de 2009					
Ponto 1	8,79	1468,0	122,0	$2,9 \times 10^7$	$1,4 \times 10^7$
Ponto 2	6,40	1061,0	78,2	-	-
Ponto 3	6,64	738,1	37,9	-	-
Ponto 4	6,95	670,2	19,0	$6,9 \times 10^5$	$3,4 \times 10^4$
Amostragem de 25 de junho de 2009					
Ponto 1	7,12	991,9	125,0	$1,9 \times 10^8$	$6,1 \times 10^7$
Ponto 2	6,28	714,4	81,8	-	-
Ponto 3	7,17	564,1	33,2	-	-
Ponto 4	6,93	511,6	17,8	$4,1 \times 10^5$	$4,6 \times 10^4$

Nota: Ponto 1: efluente coletado a montante do tanque séptico; Ponto 2: efluente coletado a montante do biofiltro; Ponto 3: efluente coletado a jusante do biofiltro; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar II

Analisando os dados contidos na Tabela 14 e a Figura 17, pode-se dizer que os valores médios obtidos para a condutividade elétrica (CE) dos efluentes coletados no Ponto 1e Ponto 4 da estação de tratamento de águas

negras (ETAN) durante o período de amostragem, foram de $1248,5 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $635,4 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente, destacando uma eficiência média de remoção de 46%, para a característica CE avaliada.

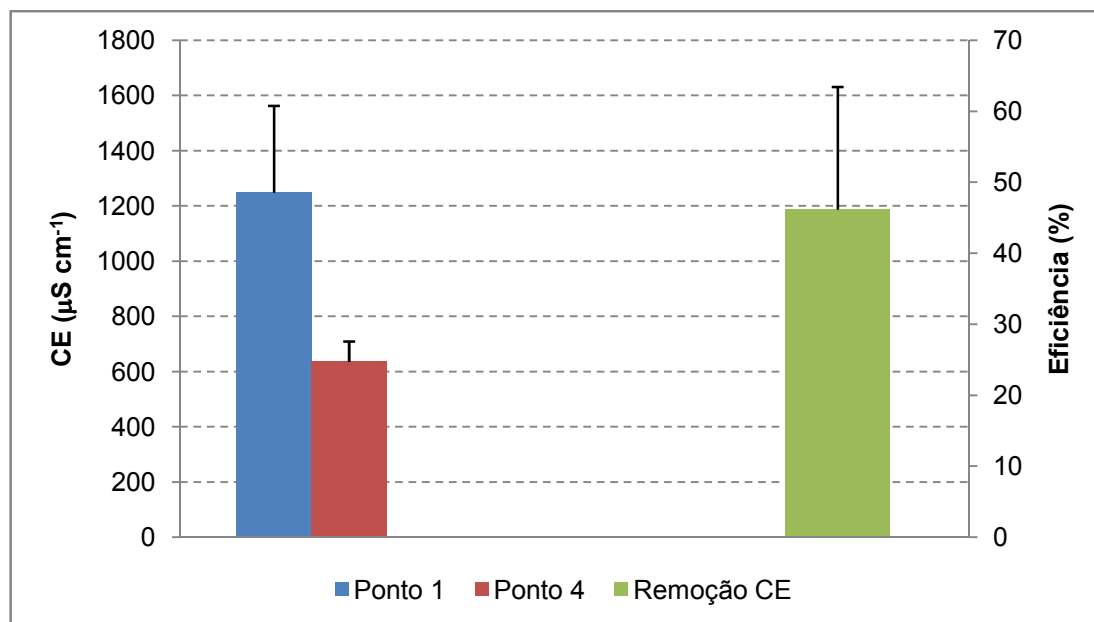


Figura 17 – Concentrações médias de Condutividade elétrica (CE) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de CE na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

De acordo com os resultados obtidos para os efluentes de águas cinzas no Ponto 4 ($\text{CE} = 635,4 \mu\text{S cm}^{-1}$), pode-se dizer que esses efluentes não possuem nenhuma restrição (Ayres e Westcost, 1991; Usepa, 2004), ou poderiam ser classificadas como C2, apresentando médio risco de salinização dos solos (Bernardo *et al.* 2005), caso essas águas fossem utilizadas para irrigação de culturas, quando avaliada a característica CE.

Analisando os dados da Tabela 14, pode-se dizer que valores médios encontrados para a concentração de turbidez (TB) dos efluentes coletados no Ponto 1 e Ponto 4 foram de 136 UNT e 15,7 UNT, respectivamente. A eficiência de remoção média de turbidez apresentada pela ETAN foi de aproximadamente 88% (Figura 18).

Metcalf e Eddy (2003) recomendam que para o reuso de águas residuárias no solo, a concentração de turbidez deve ser menor que 30 UNT. Considerando que o valor médio de TB obtido para o efluente do Ponto 4 é inferior ao valor recomendado por Metcalf e Eddy (2003), pode-se dizer que o efluente apresenta potencial de reuso no solo. Porém, de acordo com os

valores médios obtidos para TB no Ponto 4, pode-se dizer que esse efluente de águas negras não poderia ser reutilizado em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor máximo permitido para TB é de 2,0 UNT, conforme recomendado pela Usepa (2004) e pela Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005).

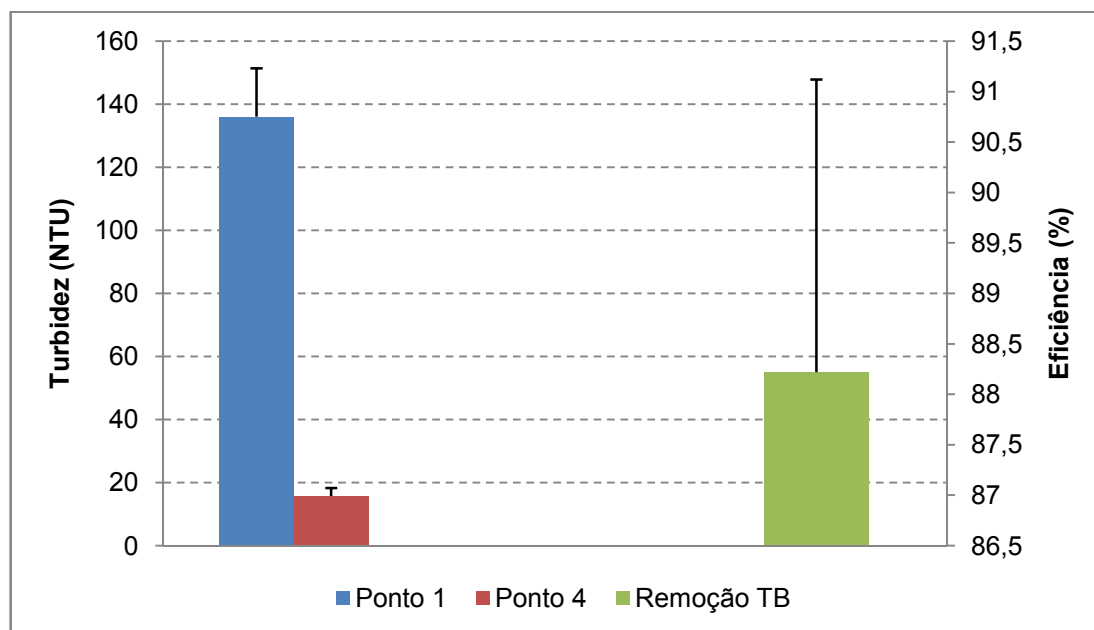


Figura 18 – Concentrações médias de Turbidez (TB) para o Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de TB na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

Em relação às características microbiológicas dos efluentes coletados e analisados, verifica-se que o nível médio da população de coliformes totais (CT) no Ponto 1 e no Ponto 4, durante o período de amostragem, foram de $5,95 \times 10^7$ NMP (100 mL)⁻¹ e de $1,48 \times 10^6$ NMP (100 mL)⁻¹, respectivamente, com uma redução média aproximada de 2 (duas) unidades logarítmicas (Figura 19).

Para os coliformes termotolerantes (*E. coli*) foram encontrados níveis médios de população de $1,71 \times 10^7$ NMP (100 mL)⁻¹ no Ponto 1 e $5,9 \times 10^4$ NMP (100 mL)⁻¹ no Ponto 4, destacando uma redução média de 2 (duas) unidades logarítmicas (Figura 20).

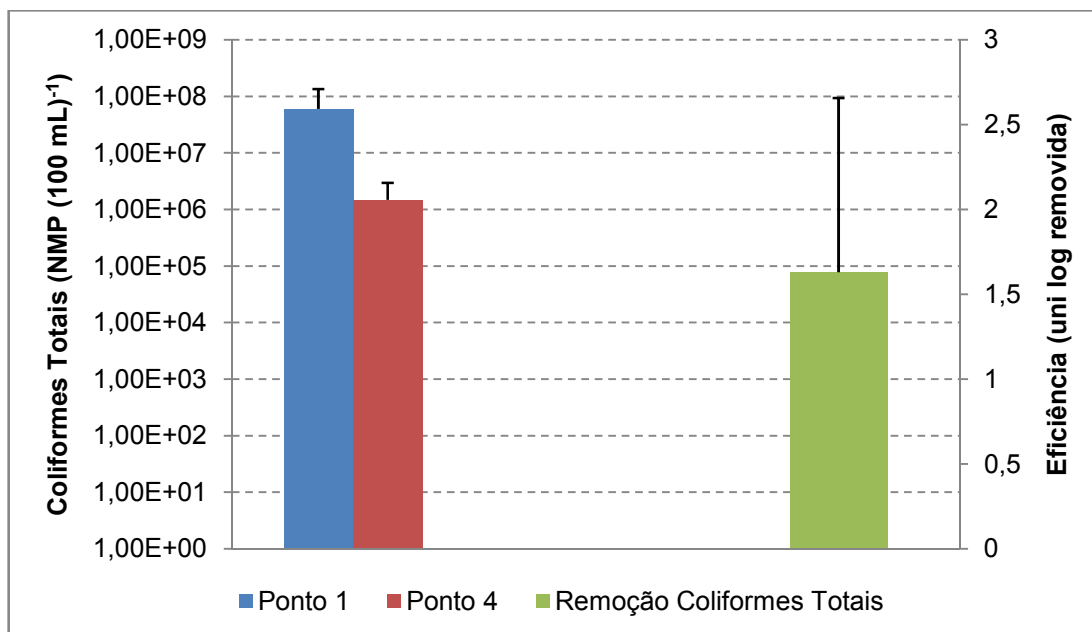


Figura 19 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Totais (CT) nos Pontos 1 e 4, e eficiência de remoção média de CT na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

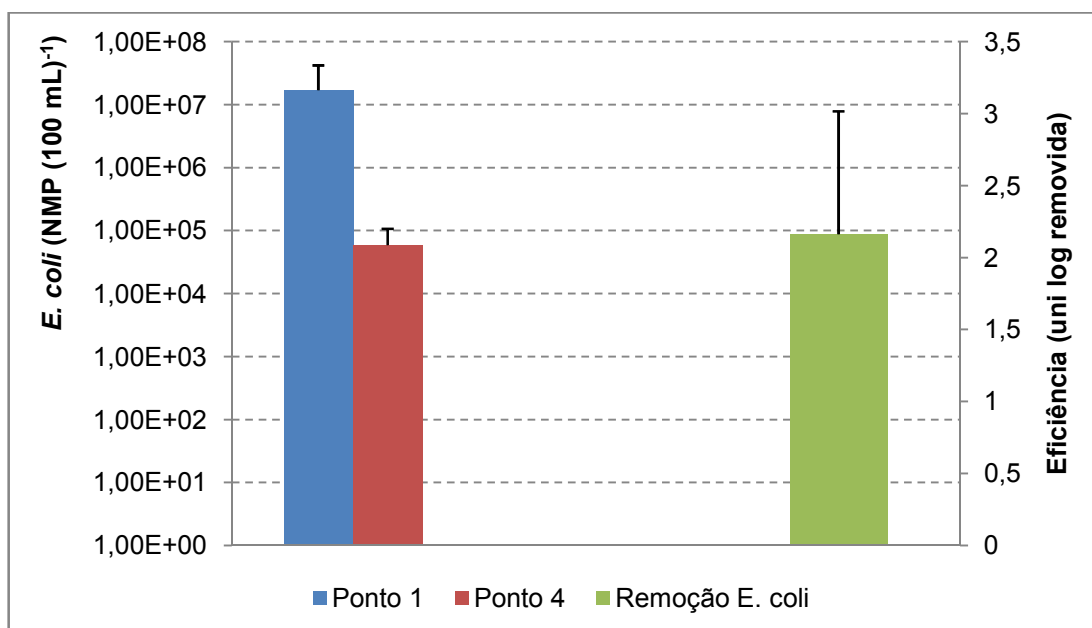


Figura 20 – População média (em escala logarítmica) de Coliformes Termotolerantes (*E. coli*) nos Pontos 1 e 4, e eficiência de remoção média de *E. coli* na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

De acordo com os valores médios obtidos para a população de *E. coli* no Ponto 4 ($5,9 \times 10^4 \text{ NMP (100 mL)}^{-1}$), pode-se dizer que os efluentes das águas negras poderiam ser utilizados para a irrigação irrestrita (opção C -

irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo) e restrita (opções G, H) de culturas agrícolas, recomendado pela OMS (2006). Pode-se recomendar que a fertirrigação seja realizada com as linhas laterais enterradas, para que microrganismos predadores do solo ataquem os agentes patogênicos presentes no efluente. Em geral, a sobrevivência de bactérias patogênicas no solo depende de alguns fatores tais como: umidade, pH, radiação solar, temperatura, concentração de matéria orgânica e predação por outros microrganismos (Chernicharo, 1997). Butler *et al.* (1954) aplicaram esgoto sanitário tratado na superfície de um solo argilo-arenoso, e verificaram que, na camada de 1,2 a 2,1 m de profundidade, os níveis de contaminação por coliformes fecais foram inferiores a 1 microrganismo por 100 mL. Bitton (1994) afirmaram que a partir de 3 m no perfil do solo, os coliformes fecais não conseguem sobreviver, provavelmente em razão da ausência de material orgânico, fundamental à sua sobrevivência.

Pelos dados apresentados na Tabela 15, observa-se que a média da radiação solar global do período de amostragem foi de 19,26 MJ m⁻², muito inferior ao valor médio (32,56 MJ m⁻²) observado por Sanches-Roman *et al.*, (2007), necessário para a remoção de 4 unidades log da população de *E. coli* presente no esgoto doméstico. Essa diferença média de aproximadamente 13,30 MJ m⁻² pode explicar a baixa eficiência de remoção de *E. coli* obtida pela ETAN.

Tabela 15 – Dados de radiação solar global para o município de Viçosa-MG, durante o período de amostragem de 05/05/2009 a 05/06/2009

Período	Radiação solar (MJ/m ²)
05/05 a 07/05/2009	21,19
18/05 a 20/05/2009	20,34
31/05 a 02/06/2009	18,96
14/06 a 16/06/2009	18,12
23/06 a 25/06/2009	17,72
Média	19,26

Fonte: INMET (2009)

Ainda em relação à população média de *E. coli* encontrada, pode-se dizer que os efluentes de águas negras não poderiam ser reutilizados para a

irrigação de culturas (Usepa, 2004), e também, não poderiam ser utilizados em descargas de vasos sanitários, lavagem de roupas, lavagem de pisos, lavagem de veículos, para utilização em chafarizes como fins ornamentais, já que para esses usos, os coliformes termotolerantes (*E. coli*), devem estar ausentes (não detectáveis) nas amostras analisadas (Ana, Fiesp, Sinduscon-SP, 2005).

Na Tabela 16 são apresentados os valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Óleos e Graxas (OG) presentes nas amostras de águas cinzas coletadas a montante e jusante dos componentes da ETAC ao longo do período experimental.

Tabela 16 – Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}), Óleos e Graxas (OG) presentes nas amostras de águas negras coletadas a montante e jusante dos componentes da ETAN ao longo do período experimental

Pontos	DQO	DBO	ST	SST	P_{total}	N_{total}	OG
----- mg L ⁻¹ -----							
Amostragem de 7 de maio de 2009							
Ponto 1	1273,0	656,7	1399,0	776,0	16,47	216,2	89
Ponto 2	788,5	360,5	482,5	28,0	12,38	152,23	-
Ponto 3	475,0	194,2	488,0	36,0	4,46	65,2	-
Ponto 4	399,0	105,9	493,0	34,0	4,02	56,79	40
Amostragem de 20 de maio de 2009							
Ponto 1	1999,2	1.110,5	1.051,0	394,0	11,99	125,87	49,0
Ponto 2	1571,8	785,9	544,0	37,0	10,45	95,10	-
Ponto 3	338,6	153,9	524,0	92,0	6,55	75,52	-
Ponto 4	305,5	122,2	548,0	60,0	1,22	73,92	7,0
Amostragem de 2 de junho de 2009							
Ponto 1	2156,0	1282,9	1.750,0	900,0	28,81	55,52	155,0
Ponto 2	940,8	454,8	599,0	88,0	9,72	47,9	-
Ponto 3	568,4	165,5	590,0	50,0	6,11	25,42	-
Ponto 4	499,8	103,1	598,0	60,0	5,78	22,9	66,0
Amostragem de 16 de junho de 2009							
Ponto 1	927,68	484,71	1540,0	904,0	10,41	244,21	60
Ponto 2	411,28	230,03	721,0	150,0	6,52	111,16	-

Ponto 3	256,08	114,72	712,0	116,0	4,41	66,81	-
Ponto 4	205,64	82,35	671,0	98,0	3,43	51,17	28,5
Amostragem de 25 de junho de 2009							
Ponto 1	1251,56	664,0	2184,0	1533,3	10,6	331,3	320
Ponto 2	472,00	294,68	637,0	212,0	6,7	316,5	-
Ponto 3	340,00	178,20	611,0	142,0	4,8	154,2	-
Ponto 4	208,00	125,16	588,0	72,0	3,6	129,0	37

Nota: Ponto 1: efluente coletado a montante do tanque séptico; Ponto 2: efluente coletado a montante do biofiltro; Ponto 3: efluente coletado a jusante do biofiltro; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar II

Na figura 21, pode-se observar os valores médios obtidos para a DQO do efluente no Ponto 1 ($1.521,5 \text{ mg L}^{-1}$) e Ponto 4 ($323,6 \text{ mg L}^{-1}$), durante o período de amostragem. Realizando comparações entre os valores de DQO para o Ponto 1 e Ponto 4 observa-se uma remoção média de 78,2% durante o período de amostragem. Nesse caso, pode-se dizer que os resultados obtidos para os efluentes de águas negras atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, pois o sistema de tratamento apresentou uma eficiência média de remoção de DQO maior que a exigência mínima de 55% de remoção para essa característica, exigida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG nº 01/2008 (COPAM, 2008). Porém, os valores médios de DQO encontrados são superiores à faixa 20 a 90 mg L^{-1} recomendada por Metcalf e Eddy (2003), para o reuso desses efluentes na irrigação de culturas agrícolas.

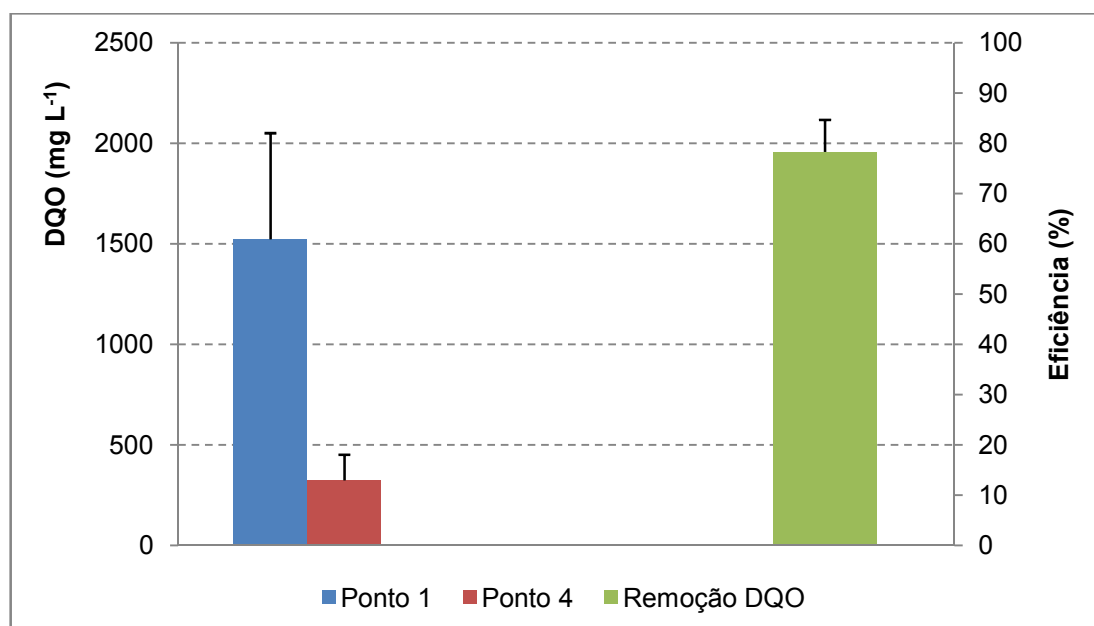


Figura 21 – Concentrações médias da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de DQO na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

Comparando os valores médios de DBO dos efluentes coletados no Ponto 1 (839,8 mg L⁻¹) e Ponto 4 (107,7 mg L⁻¹) (Figura 21), durante o período de amostragem, verifica-se que houve uma remoção média de DBO de 85,8%. Nesse caso, pode-se dizer que os resultados obtidos para os efluentes de águas negras atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, pois o sistema de tratamento apresentou uma eficiência média de remoção de DBO maior que a exigência mínima de 60% de remoção, exigida pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG n.º 01/2008 (COPAM, 2008). Porém, os valores médios de DBO encontrados para os efluentes de águas negras, indicam que esses efluentes não poderiam ser utilizados para a irrigação de culturas agrícolas, pois são superiores à faixa 10 a 45 mg L⁻¹ (Metcalf e Eddy, 2003) e superiores ao valor de 30 mg L⁻¹ recomendado pela Usepa (2004). Considerando os valores médios obtidos para a DBO no Ponto 3 (132,0 mg L⁻¹), pode-se dizer que esse efluente não poderia ser reutilizado em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor médio obtido, foi superior valor máximo permitido para DBO de 10,0 mg L⁻¹, conforme recomendado pela Ana, Fiesp, Sinduscon-SP (2005).

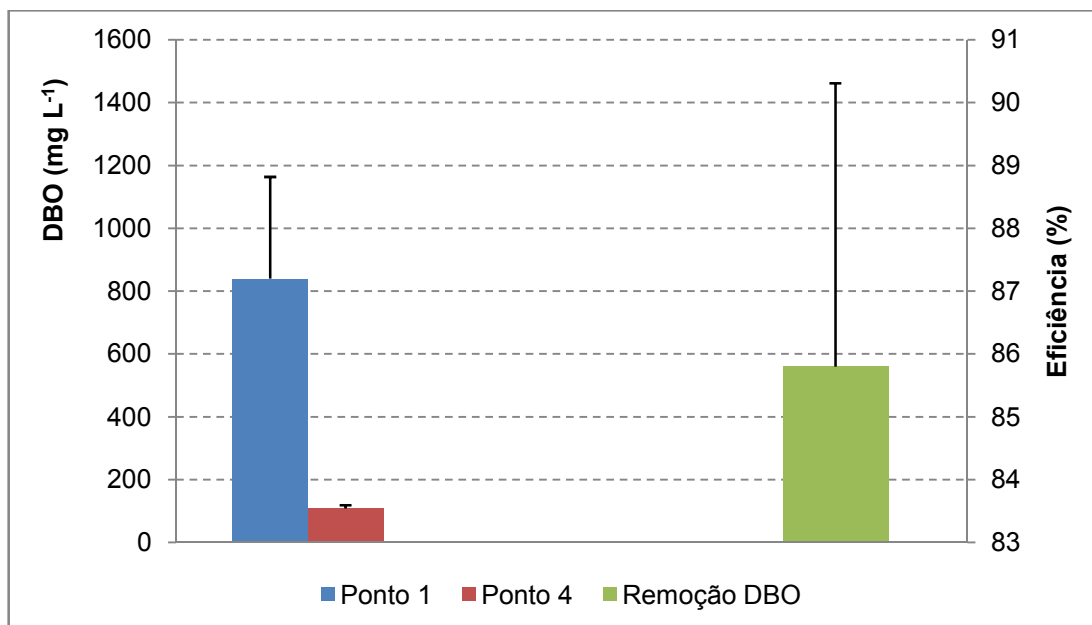


Figura 22 – Concentração média da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de DBO na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

Os valores médios de sólidos totais (ST) encontrados no Ponto 1 e Ponto 4, foram de 1584,8 mg L⁻¹ e 579,6 mg L⁻¹, respectivamente. Comparando os valores médios de ST para o Ponto 1 e Ponto 4 constatam-se uma eficiência de remoção média de 61,5% (Figura 23).

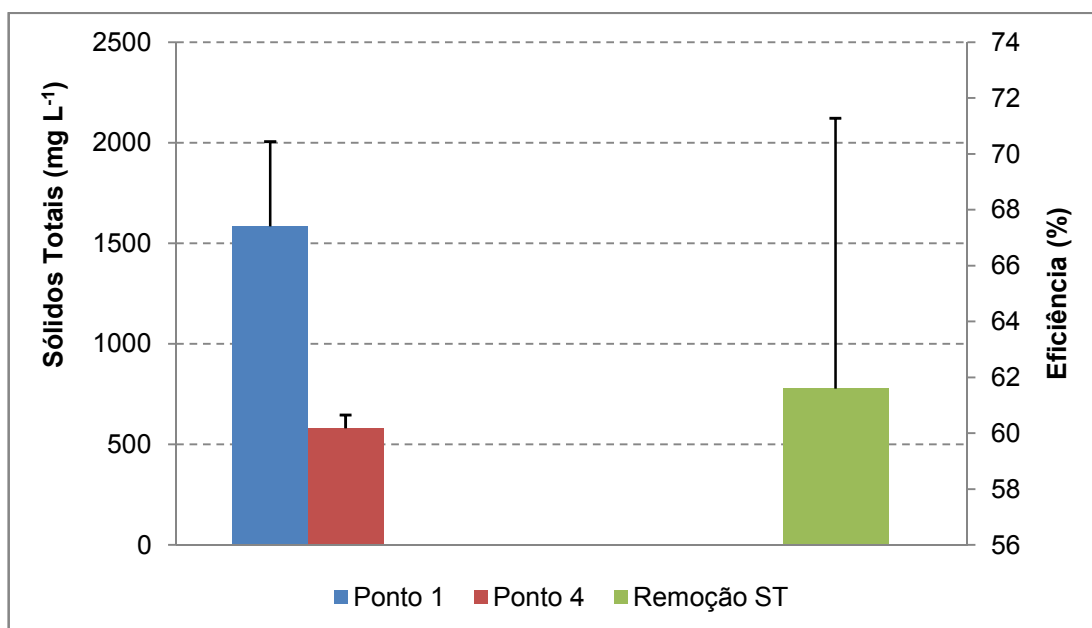


Figura 23–Concentrações médias de Sólidos Totais (ST) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de ST da estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

Com relação aos sólidos suspensos totais (SST), constatou-se que os valores médios da concentração de SST dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, durante o período de amostragem, foram de 901,5 e 64,8 mg L⁻¹, respectivamente. Nesse caso, os resultados atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 100 mg L⁻¹. Realizando comparações entre os valores de SST para o Ponto 1 e Ponto 4 constata-se uma eficiência de remoção média de 91% (Figura 24). Porém, esses efluentes podem causar entupimentos em sistemas de irrigação, principalmente em sistemas por gotejamento, já que, para o reuso de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, a concentração de sólidos suspensos totais deve ser inferior a 30 mg L⁻¹ (Metcalf e Eddy, 2003; Usepa, 2004). Logo, de acordo com a concentração de SST encontrada para esses efluentes, recomenda-se que os mesmos devam passar por um processo posterior de filtragem, a fim de se encontrar valores de concentrações que minimizem riscos de entupimentos, para que possam ser utilizados em fertirrigação de culturas agrícolas.

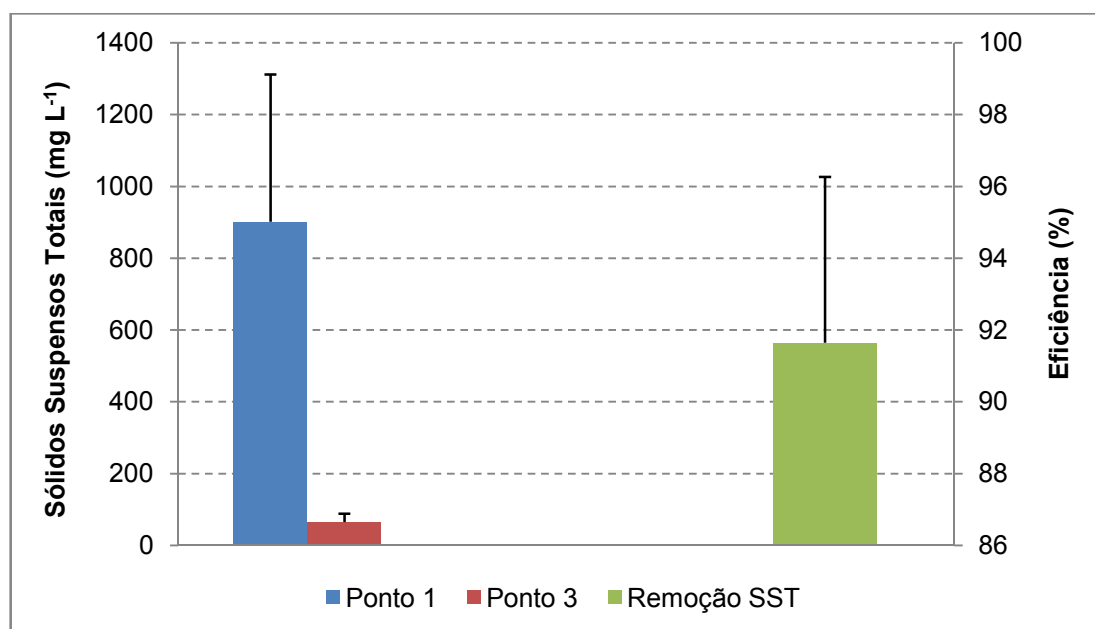


Figura 24 – Concentrações médias de Sólidos Suspensos Totais (SST) no Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de SST na estação de tratamento de águas negras (ETAN) durante o período de amostragem

Constatou-se que os valores médios da concentração de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, durante o período de amostragem, foram de 15,7 e 3,6 mg L^{-1} , respectivamente. Comparando-se as concentrações obtidas nos Ponto 1 e 4, constata-se uma eficiência média de remoção de 75% (Figura 25). Para o nitrogênio (N_{total}), constatou-se valores médios dos efluentes nos Pontos 1 e 4, de 89,0 mg L^{-1} e 35,5 mg L^{-1} , respectivamente, constatando-se uma remoção média de 14,4% (Figura 26).

Para o reuso de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, a concentração de P_{total} em efluentes dessas águas residuárias deve-se encontrar na faixa 1 a 20 mg L^{-1} , enquanto o valor de N_{total} deve-se encontrar na faixa 1 a 30 mg L^{-1} (Metcalf e Eddy, 2003). De acordo com os valores médios obtidos nos efluentes do Ponto 4 para o P_{total} (3,6 mg L^{-1}) e N_{total} (35,5 mg L^{-1}), pode-se dizer que esses efluentes não podem ser reutilizados em sistemas de fertirrigação de culturas agrícolas, já que os valores foram superiores aos valores recomendados por Metcalf e Eddy (2003).

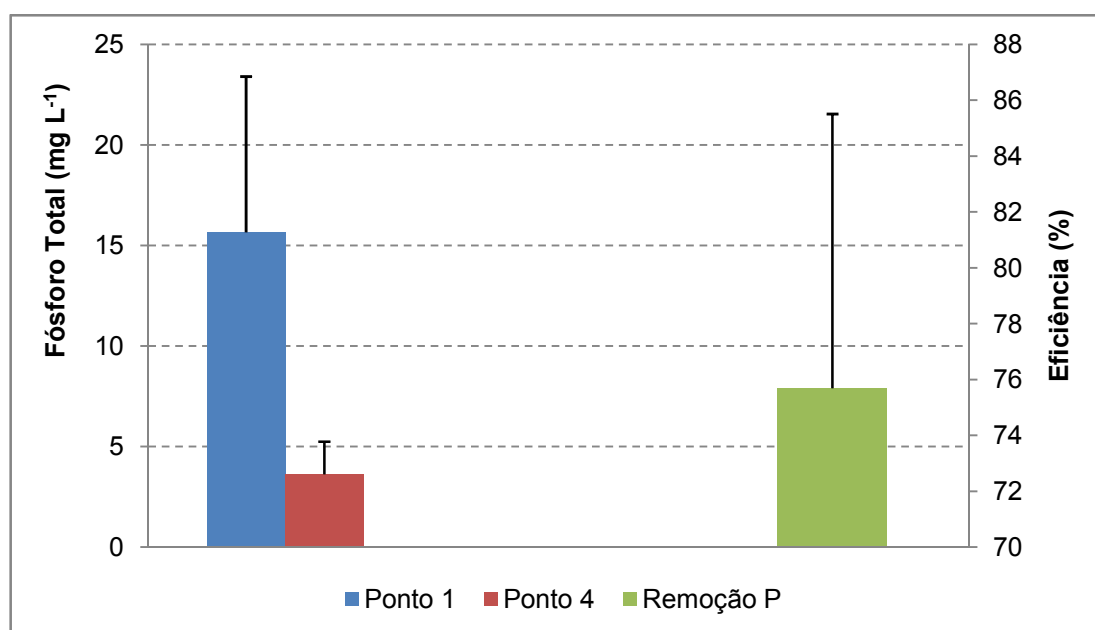


Figura 25 – Concentrações médias de fósforo total (P_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de P_{total} na estação de tratamento de águas negras (ETAN)

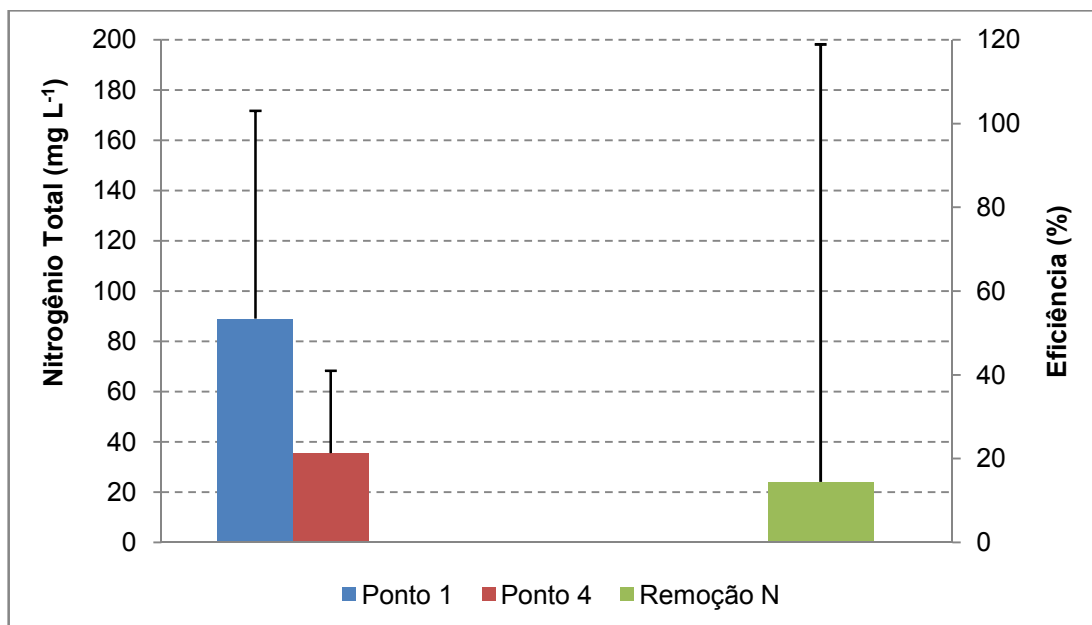


Figura 26 – Concentrações médias de nitrogênio total (N_{total}) dos efluentes do Ponto 1 e Ponto 4, e eficiência de remoção média de N_{total} na estação de tratamento de águas negras (ETAN)

Os valores médios para as concentrações de óleos e graxas (OG) do Ponto 1 (entrada da ETAN) e Ponto 4 (saída da ETAN) durante o período de amostragem, foram de $134,6 \text{ mg L}^{-1}$ e $35,7 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 27), respectivamente, indicando que nesse caso, como as gorduras presentes nesses efluentes são de origem animal e vegetal, os resultados atendem ao padrão para lançamento direto de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, e também atendem ao padrão de lançamento para o Brasil, que é de 50 mg L^{-1} (COPAM, 2008; CONAMA, 2011). Comparando os valores médios de OG para o Ponto 1 e Ponto 4, contata-se uma eficiência de remoção média de 67% (Figura 27). Apesar da eficiência obtida no sistema, pode-se dizer que esses efluentes de águas negras não poderiam ser reutilizados em descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos e para fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos, já que o valor máximo permitido para OG é de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Ana, Fiesp, Sinduscon-SP, 2005).

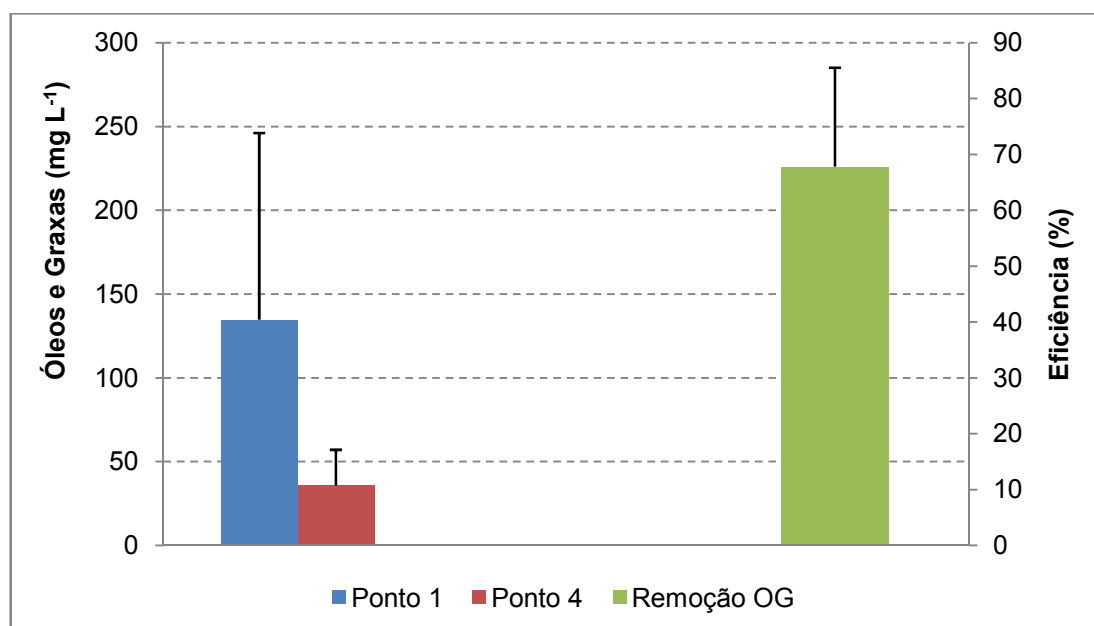


Figura 27 – Concentração média de Óleos e Graxas (OG) no Ponto 1(entrada) e Ponto 4 (saída), e eficiência de remoção média de OG na estação de tratamento de águas negras (ETAN)

Estão apresentados na Tabela 17, os valores médios, o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas e microbiológicas das águas residuárias nos componentes da estação de tratamento de águas negras (ETAN) referentes aos pontos 1 (entrada da ETAN) e 4 (saída da ETAN).

Tabela 17- Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físico-químicas da água residuária coletada na entrada (P1) e saída (P4) da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

Características	F	Amostragem	
		Ponto 1	Ponto 4
Potencial Hidrogeniônico	1,0 ^{ns}	7,6	6,9
Condutividade Elétrica (μS cm ⁻¹)	17,91 ^{**}	1248,5	635,4
Turbidez (UNT)	297,47 ^{**}	136,0	15,7
Coliformes Totais (NMP 100 mL) ⁻¹	4,51 ⁰	5,95 x 10 ⁷	1,48 x 10 ⁶
<i>Escherichia coli</i> (NMP (100 mL) ⁻¹)	0,33 ^{ns}	1,71 x 10 ⁷	5,90 x 10 ⁴
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	24,27 ^{**}	1521,5	323,6
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	23,23 ^{**}	839,7	107,7
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	27,87 ^{**}	1584,8	579,6
Sólidos Suspensos Totais (mg L ⁻¹)	20,75 ^{**}	901,5	64,8

Fósforo total (mg L ⁻¹)	11,57**	15,6	3,6
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	6,30*	89,0	35,5
Óleos e Graxas (mg L ⁻¹)	3,79 ⁰	134,6	35,7

Nota : ** F significativo a 1% de probabilidade, * F significativo a 5% de probabilidade, ⁰ F significativo a 10% de probabilidade; e ^{ns} F não-significativo a 10% de probabilidade.

Pela análise de variância, verificou-se que as características pH e *E. coli* não foram significativas a 10% de probabilidade pelo teste F. As características CE, TB, DQO, DBO, ST, SST e P_{total} foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F. A característica N_{total} foi significativa a 5% pelo teste F, e as características CT e OG foram significativas à 10% de probabilidade pelo teste F.

5. CONCLUSÕES

5.1. Desempenho da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

De acordo com os resultados obtidos durante a avaliação da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC), conclui-se que a (ETAC) proporcionou eficiências médias de remoções de 28%, 56%, 71,3%, 76,5%, 52,5%, 71%, 61%, 4,6% e 87% nas concentrações de Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}) e Óleos e Graxas (OG), respectivamente. Com relação às características microbiológicas, a ETAC obteve uma eficiência de remoção média de *E. coli* de 3 unidades logarítmicas.

Pela análise de variância, conclui-se que as características pH, CE, CT, P_{total} e N_{total} não foram significativas a 10% de probabilidade pelo teste F. As características TB, *E. coli*, DQO e DBO foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

5.2. Desempenho da estação de tratamento de águas negras (ETAN)

De acordo com os resultados obtidos durante a avaliação da estação de tratamento de águas negras (ETAN), conclui-se que a (ETAN) proporcionou eficiências médias de remoções de 46%, 88%, 78,2%, 85,8%, 61,5%, 91%, 75%, 14,4% e 67,8% nas concentrações de Condutividade Elétrica (CE), Turbidez (TB), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), Fósforo Total (P_{total}), Nitrogênio Total (N_{total}) e Óleos e Graxas (OG), respectivamente. Com relação às características microbiológicas, a ETAN proporcionou uma eficiência de remoção média de *E. coli* de 2 unidades logarítmicas.

Pela análise de variância, de acordo com os resultados obtidos, conclui-se que as características pH e *E. coli* não foram significativas a 10% de probabilidade pelo teste F. As características CE, TB, DQO, DBO, ST, SST e P_{total} foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F. A característica N_{total} foi significativa a 5% pelo teste F, e as características CT e OG foram significativas à 10% de probabilidade pelo teste F.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969 – Tanques Sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ADIN, A.; SACKS, M. **Dripper-clogging factors in wastewater irrigation**. Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, 117:813-826, 1991.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO- FIESP; SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SINDUSCON - SP. **Conservação e reuso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 151p.

Disponível em:

http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_agua_em_edificacoes.pdf Acesso em: 15 de fevereiro de 2013

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION); AWWA (AMERICAN WATERS WORKS ASSOCIATION); WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p

ARCEIVALA, S.J. Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control. New York, Marcel Dekker: 1981, 892p.

ANDERSON, J. Prospect for international guidelines for water recycling. **Water** 21. p. 16-21, ago. 2001

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, PB, 1991. 218 p.

AYRES, R.S.; WESTCOST, D.W. **Water quality for agricultur**(Revised). Rome. FAO: Irrigation and Drainage Paper n° 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 174p.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 165p. (Dissertação de Mestrado).

BATISTA, R. O.; SARTORI, M. A.; SOARES, A. A.; MOURA, F. N.; PAIVA, M. R. de F. C. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros

operando com esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n.3, p. 152-164, 2011.

BATISTA, R. O. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água de suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, 2008.147 f.Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D .Normas e critérios de qualidade para reuso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 2, p. 17 - 62. (Projeto PROSAB).

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**.8ª ed.Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. New York: Willey-liss, 1994. 478 p.

BRANDÃO, V. S. **Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando filtros orgânicos**. Viçosa: UFV, 1999. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; FONTES, M. P. P.Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-sefiltros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.327-333, 2000.

BREGA FILHO, Darcy; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Conceito de reuso de água**. In: MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos (Eds). reuso de águas. 1 ed. Barueri: Manole, 2003. cap. 2, p.21-36.

BUTLER, R. G.; ORLOB, G. T.; McGAUHEY, P. H. Underground movement of bacterial and chemical pollutants. **Journal of the American Water Works Association**. v. 46, p. 97-111, 1954.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p.135-149, 2004.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systens. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, 2006.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter test of wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.2, n.2,p. 149-162,1979.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEMANENTO AMBIENTAL – CETESB. **Monitoramento de *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas**

interiores do Estado de São Paulo. Diretoria de Tecnologia, Qualidade e Avaliação Ambiental. Departamento de Análises Ambientais. Relatório Técnico, São Paulo, 2008, 22p

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. O. **Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reuso da água.** In:

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABEAS, 2006, cap. 3, p. 63 - 110. (Projeto PROSAB).

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** reatores anaeróbios. Belo Horizonte: DESA/UFGM, v. 5, 1997. 246p.

CHERNICHARO, C. A. de L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção. In:CHERNICHARO, C. A. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte, 2001. p. 377-454.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination.** v.106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

CORAUCCI FILHO, B.; NATALIN, O.; STEFANUTTI, R.; BROLEZE, S.T.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, E. R. F. **Avaliação da fase inicial das valas de filtração como método de pós-tratamento de efluentes anaeróbios.** In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo (coord.). Projeto PROSAB. Belo Horizonte, 2001. vol 2.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CERH. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº 01/2008, 13 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM (1986). Deliberação Normativa nº 10 de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e para o lançamento de efluentes nas coleções de águas. Belo Horizonte, 1986. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=91>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2011). Resolução nº 430/2011, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005. Brasília, 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res430/res43011.html>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (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. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CMHC - CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. Water reuse standards and verification protocol. **Research Highlight**. Technical Series 04-131, 2004. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca>>. Acesso em: 11 ago. 2012.

ERCOLE, L. A. S. **Sistema modular de gestão das águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para gestão de resíduos líquidos**. 2003, 192f. Dissertação de mestrado (programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRG), Porto Alegre, 2003.

ERIKSSON E.; AUFFARTH K.; HENZE, M.; LEDIN, A. **Characteristics of grey wastewater**, Urban Water, v. 4, p. 85 -104, 2002.

FONSECA, S. P. P. **Avaliação de uma estação de tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial**. Viçosa, MG: UFV, 2007.125 f.Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M (coordenadores). **Tratamento e utilização de esgotos domésticos**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro : ABES, 2006. 427p

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Roma. Wastewater treatment and use in agricultura. **Estudio FAO: Riego y drenaje N° 47, 1992**.

GONÇALVES, RICARDO FRANCI (Coordenador). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Projeto PROSAB.Rio de Janeiro:ABES, 2009.352p

GONÇALVES, RICARDO FRANCI (Coordenador). **Uso racional da água em edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.352p

GREGORY, J. D., LUGG, R., SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. Desalination. v. 106, n. 1-3, p. 263-268, 1996.

HESPANHOL, I.; MINERZWA, J. C. **Programa para o gerenciamento de água e efluentes nas indústrias visando o uso racional e o reuso**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 4, p. 11-15, 2000.

HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2006 - HDR. **Power, poverty and the global water crisis**. United Nations Development Programme, New York, 2006. 440p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2000**. Disponível em:
<<http://www.ibge.br/ibge/estatistica/população/condiçãoadevida/indicadoresmínimos/tabela3.shtm>>. Acesso em: 05 dez. 2012

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.
Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. **Technologies for domestic wastewater recycling**. Urban Water. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JORDÃO, E. P. e PESSOA C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5.ed. Rio de Janeiro:2009. 940p.

KEHOE, S. C., JOYCE, T. M., IBRAHIM, P., GILLESPIE, J. B., SHAHAR, R. A., McGUIGAN, K. G. Effect of agitation, turbidity, aluminium foil reflectors and container volume on the inactivation efficiency of batch-process solar disinfectors. **Water Resources**, v. 35, n. 4, p. 1061-1065. 2001.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado das águas e algumas considerações sobre as suas possibilidades no Brasil**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo da USP, São Paulo, 1987.

LAWS, J. E. A. **Evaluación ambiental del sistema Tohá em la remoción de *Salmonella* em aguas servidas domésticas**. 2003. 92f. Tesis (Magister en Gestión y Planificación Ambiental) - Universidad de Chile, Santiago, 2003.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 472-478, 2006.

MARQUES, M. O. *et al.* Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R. K. X. (coord.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. **Rio de Janeiro: ABES, RIMA, 2003. p. 61-116 .**

MAY, S.; HESPANHOL, I. Tratamento de águas cinzas claras para reuso não potável em edificações. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, Vol. 5, n. 2, p. 15-24, jul./dez. 2008.

MATOS, A. T. **Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 150p.

MATOS, A. T.; BRANDÃO, V. S.; NEVES, J. C. L.; MARTINEZ, M. A. Removal of Cu and Zn from swine raising wastewater using organic filters. **Environmental Technology**, London, v. 24, n. 2, p. 171-178, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse.** Metcalf & Eddy, Inc., 4. ed.. 2003, 1818 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE – SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Portaria MS nº 2914/2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso: 20 dez. 2013

MINISTÉRIO DA SAÚDE – SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Portaria MS nº 518/2004.** Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28p (Série E. Legislação em Saúde).

NSW HEALTH. **Greywater reuse in Sewered single domestic premises.** Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2013.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. *Water* 21. p. 37-41, out. 2001.

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U.; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. In: Specialised Conference on Small Water and Wastewater Treatment Systems, 5, Estambul-Turquia, 2002. Disponível em: <<http://www2.gtz.de/ecosan/download/iwa2002-otterpohl.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: Caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial.** Rio de Janeiro,

RJ:Escola Nacional de Saúde/FIOCRUZ/Ministério da Saúde.2004. 71 f. Disponível em:<http://teses.icict.fiocruz.br/pdf/rapoportbm.pdf>. Acesso em: 02 agosto. 2012.

SAEG-Sistema para Análises Estatísticas, versão 9.1. Fundação Arthur Bernardes – UFV-Viçosa, 2007.

SANCHES-ROMAN, R.; SOARES, A. A.; MATOS, A.T; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H. A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 1, p. 65-71, 2007.

SARTORI, M. A. **Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades**. Viçosa: UFV, 2010. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, 2010.

SOUZA, J. A. A. **uso de água residuária de origem doméstica na fertirrigação do cafeeiro: efeitos no solo e na planta**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

SOTO, M. A.; TOHÁ, J. Ecological Wastewater Treatment. In: INTERNACIONAL CONGRESS: ADVANCED WASTEWATER TREATMENT, RECYCLING AND REUSE, 2., Milan, 1998. **Proceedings...** Milan: AWT98, 1998. p. 1091-1094.

THOMAN, R.V., MUELLER, J.A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper International Edition. 1987. 644p.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Human development report2006**: power, poverty and the global water crisis. New York, 2006. 440p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA, 2004. **Manual: Guidelines for water reuse**, Washington. DC:(EPA/625/R-04/108).

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 243p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO meeting of experts. Geneva: WHO, 1973 (Technical Report Series N° 517).

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume II: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO, 2006.196p

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume IV: Excreta and greywater use in agriculture. Geneva: WHO, 2006.182p

APÊNDICE

Apêndice A - Dimensionamento da Estação de Tratamento de Águas Cinzas (ETAC)

Como parâmetros de dimensionamento do projeto, para o tratamento de água cinza, considerou-se que o sistema atenderia uma residência rural típica, dotada por 5 (cinco) habitantes, com a geração per capita média de esgoto doméstico de $80,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Esse valor foi adaptado da norma NBR 7229 (ABNT, 1993), cujo orienta utilizar um valor de geração per capita de esgoto doméstico de $100 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ para ocupantes permanentes de residências com padrão baixo. Porém, segundo dados da literatura, as águas cinzas representam normalmente de 50% a 60% do volume de esgoto doméstico gerado em uma residência. Logo, para o sistema não ficar super dimensionado, optou-se pela geração per capita de $80,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$, resultando em uma vazão média de projeto (Q_p) de $0,40 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. O sistema para o tratamento de água cinza foi dimensionado de forma a suportar a aplicação da taxa desse efluente gerado diariamente, assegurando o atendimento de possíveis sobrecargas geradas no sistema.

O sistema para o tratamento da água cinza foi composto por 01 (um) filtro biológico, 02 (dois) reatores solares e 01 (um) sumidouro, para disposição final do efluente no solo. Essas unidades foram interligadas por tubos e registros de esfera de PVC de 50 mm. Os registros foram utilizados para facilitar a operação e monitoramento do sistema. As dimensões básicas de cada unidade do sistema são apresentadas nas Figuras 28 e 29.

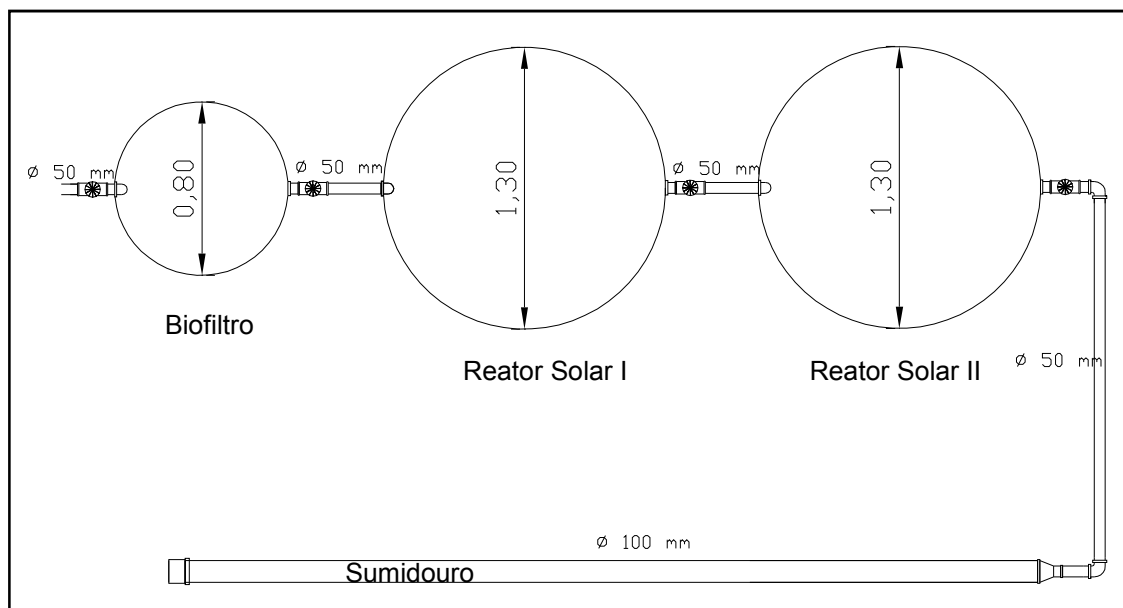
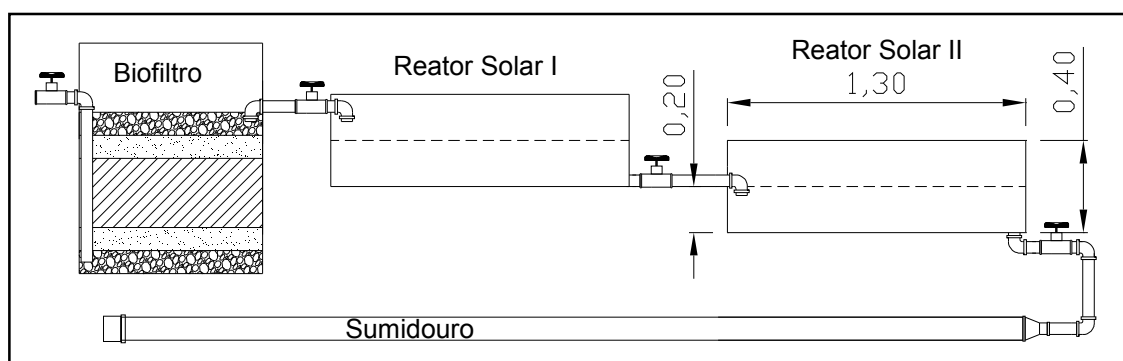


Figura 28 – Planta baixa (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC): Biofiltro, Reator Solar I, Reator Solar II e Sumidouro



(b)

Figura 29 – Corte (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC): Biofiltro, Reator Solar I, Reator Solar II e Sumidouro

Para o dimensionamento do filtro biológico (FB), foram seguidas as recomendações da NBR 13.969 (ABNT, 1997). Ressalta-se que a norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), sugere procedimentos básicos e equações específicas utilizados para o dimensionamento de filtros anaeróbios, que foram adaptados para o dimensionamento do filtro biológico. Dessa forma, para o cálculo do volume do filtro biológico (V_{FB}) utilizou-se a Equação 4.

$$V_{FB} = 1,6 N_{Th} C t_d \quad (\text{Eq.4})$$

em que:

V_{FB} - volume útil do filtro biológico, L;

N_{Th} - número total de pessoas ou unidades de contribuintes, habitantes;

C - contribuição de despejos, L hab⁻¹ d⁻¹;

t_d - tempo de detenção hidráulica, d.

Para a determinação da área superficial do filtro biológico são utilizadas as Equações 5 e 6:

$$A_{FB} = \frac{V_{FB}}{h_{FB}} \quad (\text{Eq.5})$$

$$A_{FB} = \frac{Q_p}{T_a} \quad (\text{Eq.6})$$

em que:

A_{FB} - área superficial do filtro biológico, m²;

h_{FB} - altura do leito filtrante do filtro biológico,m;

Q_p - vazão de projeto, m³ d⁻¹;

T_a - taxa de aplicação superficial da água residuária, m³ m⁻² d⁻¹.

Adotou-se para o dimensionamento do filtro biológico uma taxa de aplicação máxima de efluente de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹. Essa taxa foi utilizada baseada em estudos realizados por Soto e Tohá (1998), que obtiveram remoções de 70, 89, 95, 96 e 99% nas concentrações de fósforo, nitrogênio, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e demanda bioquímica de oxigênio, respectivamente, quando analisaram a qualidade de efluente de biofiltros operando com esgoto doméstico, na taxa de aplicação de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹.

O dimensionamento dos reatores solares foi realizado com base na incidência de radiação solar global local e volume de efluente de águas cinzas gerados na residência. Os reatores solares têm por objetivo a redução do nível populacional de bactérias patogênicas dos efluentes, por meio da exposição direta a radiação solar local. Cada reator foi construído com uma altura fixa de 0,40 m, mantendo uma folga de 0,20 m na altura dos

reatores, com o intuito de evitar extravasamento devido aos dias de chuva ou eventual descuido do operador do sistema. A profundidade máxima da lâmina de água residuária no reator solar foi mantida em 0,20 m, conforme sugerido por Sanches-Ramon et al., (2007).

Memorial de cálculos para o dimensionamento da estação de tratamento de águas cinzas (ETAC)

A. Dimensionamento do Filtro Biológico (FB)

A.1. Volume do Filtro Biológico (V_{FB})

Dados: $N_{Th} = 5,0$ habitantes;

$C = 80,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (retirado da Norma NBR 13969/1997);

$t_d = 1,0 \text{ d}$

$$V_{FB} = 1,6 N_{Th} C t_d \therefore$$

$$V_{FB} = 640,0 \text{ L} = 0,64 \text{ m}^3$$

A.2. Área Superficial do Filtro Biológico (A_{FB})

$$A_{FB} = \frac{V_{FB}}{h_{FB}} \therefore A_{FB} = \frac{0,64 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} \therefore A_{FB} = 0,64 \text{ m}^2$$

A.3. Taxa de Aplicação (T_a)

$$A_{FB} = \frac{Q_p}{T_a} \therefore T_a = \frac{Q_p}{A_{FB}} \therefore T_a = \frac{N_{Th} C}{A_{FB}} \therefore$$

$$T_a = 0,63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Considerando a taxa de aplicação máxima (T_{amax}) de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ tem-se $A_{FB} = 0,40 \text{ m}^2$.

A área superficial do filtro utilizado no experimento foi de $0,50 \text{ m}^2$, sendo que se adotou um filtro cilíndrico com diâmetro de 0,8 metros.

B. Dimensionamento dos Reatores Solares (RSolar)

B.1. Volume do Reator Solar (V_{RSolar})

Dados: Diâmetro: $d = 1,30 \text{ m}$; altura da lâmina: $h = 0,40 \text{ m}$

$$V_{\text{Reator}} = Ah \therefore V_{\text{Reator}} = \frac{\pi d^2}{4} * h \therefore V_{\text{Reator}} = 0,53 m^3$$

Apêndice B - Dimensionamento da Estação de Tratamento de Águas Negras (ETAN)

A estação de tratamento de águas negras (ETAN) utilizada no experimento foi composta por caixa de gordura, tanque séptico, filtro biológico e dois reatores solares. Os protótipos foram interligados por tubos de PVC de 50 e 100 mm e registros de esfera de 50 mm. Os desenhos técnicos da ETAN são apresentados na Figuras 30 e 31.

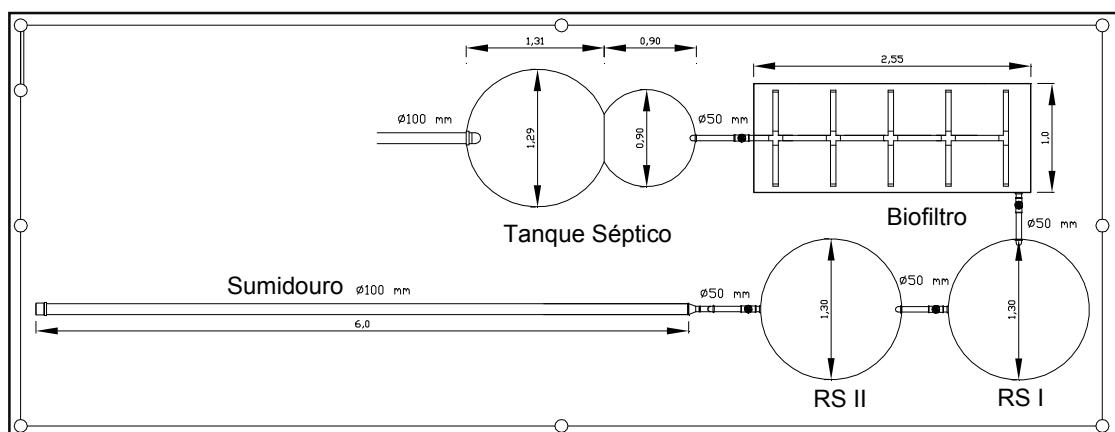


Figura 30 – Planta baixa (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas negras (ETAN): Tanque Séptico, Biofiltro, Reator Solar I (RS I) e Reator Solar II (RS II)

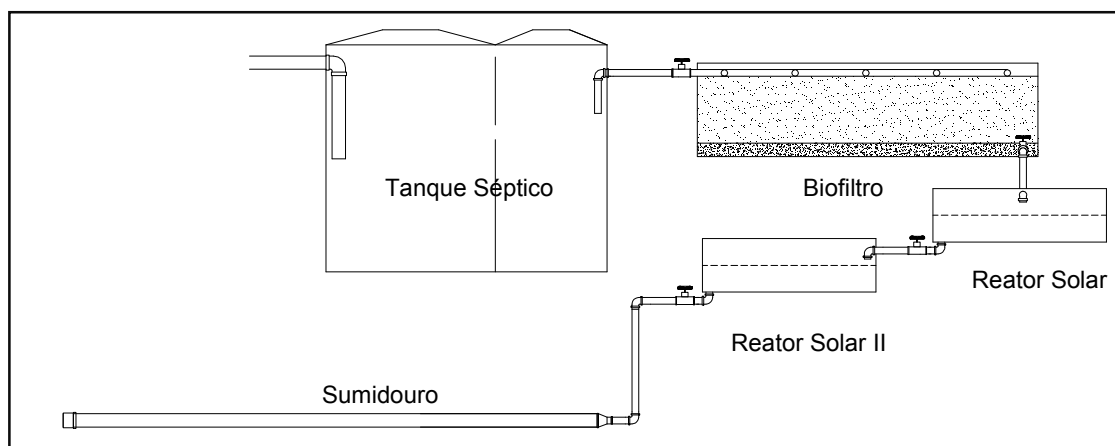


Figura 31 – Corte (sem escala) apresentando os componentes da estação de tratamento de águas negras (ETAN): Tanque Séptico, Biofiltro, Reator Solar I (RS I), Reator Solar II (RS II) e Sumidouro

Na estação de tratamento de águas negras (ETAN), previu-se uma caixa de gordura, operando por meio do princípio de separação sólido/líquido por flutuação.

O dimensionamento da caixa de gordura foi realizado utilizando as Equações 7 e 8.

$$V = Qt_d \quad (\text{Eq.7})$$

$$A_s = \frac{Q}{v_{as}} \quad (\text{Eq.8})$$

em que,

A_s - área superficial da caixa de gordura, m^2 ;

Q - vazão afluente, $m^3 h^{-1}$;

v_{as} - velocidade mínima de ascensão, $m h^{-1}$;

V - volume da caixa de gordura, m^3 ; e

t_d - tempo de detenção hidráulica, h.

O tanque séptico foi dimensionado de acordo como volume de esgoto gerado pelo número de moradores de cada unidade familiar, conforme recomendações da NBR 7.229 (ABNT, 1993), descritas segundo a Equação 9:

$$V_{TS} = 1000 + N_{Th} (Ct_d + kL_f) \quad (\text{Eq.9})$$

em que:

V_{TS} - volume útil do tanque séptico, L;

N - número de contribuições, habitantes;

C - contribuição de despejo, $L hab^{-1} d^{-1}$;

t_d - tempo de detenção hidráulica, d;

K - taxa de acúmulo de lodo digerido, d; e

L_f - contribuição de lodo fresco, $L habitante^{-1} d^{-1}$.

O dimensionamento dos reatores solares necessários para a desinfecção dos efluentes de águas negras, foi realizado seguindo-se a

mesma metodologia que foi utilizada para o dimensionamento dos reatores solares utilizados para a desinfecção das águas cinzas.

Memorial de Cálculos para o Dimensionamento da Estação de Tratamento de Águas Negras (ETAN)

A. Dimensionamento do Tanque Séptico (TS)

A.1. Volume do Tanque Séptico (V_{TS})

Dados: N_{Th} = 5,0 habitantes;

$C = 80,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Norma NBR 7229/1993);

$t_d = 1,0$ dia (Norma NBR 7229/1993);

$k = 65$ dias (Norma NBR 7229/1993, considerando intervalo de limpeza de 1 ano e temperatura ambiente variando entre 10°C e 20°C);

$L_f = 1,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Norma NBR 7229/1993).

$$V_{TS} = 1000 + N_{Th}(Ct_d + kL_f)$$

$$V_{TS} = 1000L + 725L \therefore V_{TS} = 1725L = 1,73m^3$$

O Tanque Séptico utilizado no experimento era composto por 02 câmaras, e possuía um volume aproximado de $3,30m^3$, conforme pode ser observado no Anexo IV.

B. Dimensionamento do Filtro Biológico (FB)

B.1. Volume do Filtro Biológico (V_{FB})

Dados: N_{Th} = 5,0 habitantes;

$C = 80,0 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Norma NBR 13969/1997);

$t_d = 1,0$ dia (Norma NBR 13969/1997).

$$V_{FB} = 1,6N_{Th}Ct_d \therefore$$

$$V_{FB} = 640,0L = 0,64m^3$$

B.2. Área Superficial do Filtro Biológico (A_{FB})

$$A_{FB} = \frac{V_{FB}}{h_{FB}} \therefore A_{FB} = \frac{0,64m^3}{1m} \therefore A_{FB} = 0,64m^2$$

B.3. Taxa de Aplicação (T_a)

$$A_{FB} = \frac{Q_p}{T_a} \therefore T_a = \frac{Q_p}{A_{FB}} \therefore T_a = \frac{N_{Th}C}{A_{FB}} \therefore$$

$$T_a = 0,63m^3m^{-2}dia^{-1}$$

Considerando a taxa de aplicação máxima (T_{amax}) de $1,0m^3m^{-2}d^{-1}$ tem-se $A_{FB} = 0,40m^2$.

A área superficial do filtro utilizado no experimento foi de $0,50m^2$.