Sistema de tratamento de esgoto doméstico em condomínio horizontal e reúso de águas cinzas

Household sewage treatment system in horizontal condominium and reuse greywater

Artigo

Submetido em 02.05.16 | Aceito em 19.01.17 | Disponível on-line em 25.04.18

Camila Guedes Alcoforado* **e Ronaldo Faustino da Silva**
Instituto Federal de Pernambuco | *milaalcoforados@gmail.com

RESUMO

Tecnologias sustentáveis que amenizam a falta de recursos hídricos devem ser desenvolvidas conforme as necessidades da sociedade atual. Como os modelos habitacionais horizontais estão em tendência no estado de Pernambuco, propôs o reúso de águas cinzas objetivando a redução do volume de esgoto tratado e consequentemente, dos equipamentos da estação de tratamento proposta por um condomínio desta categoria, situado na região metropolitana de Recife. Para concepção, foram realizadas visitas à obra e coleta de informações necessárias para descrição e redimensionamento da ETE. O tratamento das águas cinzas sugerido foi baseado no projeto desenvolvido pelo SARAR, organização não governamental do México, que utiliza plantas aquáticas conhecidas como macrófitas. Para redimensionar a ETE foram utilizadas a norma da ABNT e a bibliografia específica para projetos de tratamento de águas residuárias. Desse modo, com a introdução desse sistema, foi obtido a redução de efluente total de 41,43% a 45,3%, já, nos equipamentos da estação houve, em geral, a redução em um módulo para cada equipamento. Analisando então tecnicamente e ambientalmente, foi verificado grandes economias para a construtora, para os usuários, que economizam individualmente de 60% a 70% de água potável, e principalmente para a sociedade, que carece da preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chaves: *sustentabilidade, saneamento, água cinza.*

ABSTRACT

Sustainable technologies that reduces the lack of water resources should be developed according to the needs of today's society. As the skyscrapers are the most popular constructions in the state of Pernambuco, it was proposed the greywater reuse in order to reduce the amount of sewage treated and consequently the equipment of the treatment plant proposed for a condominium of this category in the Região Metropolitana do Recife . For this study, some of the workplaces were visited and collected some information necessary to describe and resize the sewage treatmentt, suggested to the greywater was introduced based on the project developed by SARAR, non-governmental organization in Mexico. Resize the sewage treatment plant were used the rules of the Brazilian National Standards Organization and a specific bibliography for wastewater treatment projects. However, with the introduction of reuse system. It was obtained the total effluent reduction of 41.43% to 45.3%, since in the station equipment in general there was a reduction in module for each device. In conclusion, technically and environmentally will obtain big savings for construction company, for each user that save 60% to 70% of potable water, especially for the society that needs more the preservation of water resources.

Keywords: *sustainability, sanitation, gray water*

1.Introdução

Os problemas causados pelo crescimento desordenado nas cidades brasileiras, como a violência urbana e a falta de infraestrutura nas cidades, provocaram o crescimento da demanda por condomínios horizontais fechados. Esse modelo imobiliário vem tomando, há anos, grandes proporções em Pernambuco.

Buscando evidenciar a sua responsabilidade ambiental, esses empreendimentos apresentam condições de lazer

em contato com áreas verdes. Contudo, tais propostas visam somente à publicidade, não apresentando reais medidas de preservação ambiental.

Desse modo, faz-se necessário direcionar um olhar crítico, no que tange ao aspecto socioambiental, para esses empreendimentos. Afinal, o meio ambiente ecologicamente equilibrado é direito fundamental de todos os cidadãos, o que consta no art. 225 da Constituição Federal. Assim, deve ser constante a busca por alternativas sustentáveis, isto é, que conjuguem o desenvolvimento econômico com a necessidade de preservação do meio ambiente.

Dentre os vários aspectos que interessam ao alcance do chamado ñdesenvolvimento sustentávelò, a utilização responsável dos recursos hídricos é de fundamental importância. Como se sabe, a água é um recurso natural limitado e, por isso, deve ser utilizada com racionalidade.

Reconhecendo a relevância da questão, o Congresso Nacional instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, através da Lei 9.433/1997, cujos objetivos são os seguintes:

> Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:
> I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
> II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
> III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Essencial, portanto, o uso racional dos recursos hídricos, a fim de que se assegure às presentes e futuras gerações a necessária presença da água em suas vidas.

Para a consecução de tais objetivos, não há dúvidas de que o tratamento de esgoto se apresenta como relevante alternativa a ser considerada por todos, visando ao reúso da água.

Entretanto, as tecnologias desenvolvidas em cada sistema de tratamento de esgoto ainda não integram todos os requisitos técnicos e econômicos necessários à sua viabilidade (Faedo, 2010), como baixo custo de operação e implantação, simplicidade, eficiência, vida útil elevada etc. Aliás, é diante dessa constatação que se conclui que a combinação de processos dos diversos sistemas pode levar à mitigação dos aspectos negativos de cada um deles.

Tendo essa afirmação em conta, o presente artigo apresenta o estudo de caso em uma estação de tratamento de esgoto para dois condomínios horizontais situados na Região Metropolitana do Recife e inseridos na bacia hidrográfica do Rio Jaboatão ï uma das bacias mais importantes do Grande Recife. O Rio Jaboatão desemboca no Oceano Atlântico, com sua foz em Barra de Jangada, a nascente em Vitória de Santo Antão. Um dos seus principais afluentes é o Rio Duas Unas.

A Construtora que implementou a estação, apresentou como solução para o tratamento de esgoto o reator anaeróbio e, como pós-tratamento, o filtro percolador.

A partir do estudo, propõe-se a implantação do reúso de águas cinzas em esgotos domésticos, o que representa uma alternativa efetivamente sustentável para esses empreendimentos horizontais. Entre as vantagens imediatas do reúso dessas águas, podem ser citados o aumento da disponibilidade de água potável, a utilização de menos energia e produtos químicos para o tratamento de esgoto e a economia com relação ao volume dos efluentes de esgoto doméstico a ser tratado. A tecnologia em apreço traz, portanto, consideráveis benefícios para a sociedade e para o meio ambiente.

Exemplificando, o reaproveitamento de água para fins domésticos não potáveis requer o tratamento das águas provenientes de pias, banheiras, chuveiros e máquinas de lavar para serem reutilizadas em vasos sanitários, lavagens de carros e irrigação de jardins. Trata-se, como se

vê, de um processo necessário para conservar a água por mais tempo.

Porém, de acordo com May (2009), o tratamento e a disposição inadequados dessas águas podem levar riscos à saúde humana. Por isso, faz-se necessário utilizar um tratamento adequado, que atenda aos requisitos para o reúso de águas cinzas, evitando o acumulo de água, o entupimento, o mau cheiro e a liberação descontrolada de elementos químicos e microrganismos para o meio ambiente. Além de cumprir as exigências químicas e físicas para o reúso de água, convém adotar um tratamento simples e eficiente, que demande pouca manutenção, para que, assim, a sua utilização possa ser incentivada.

O tratamento por meio de wetland, ou ñtanque de *macrófitas*ò, é uma opção que preenche os requisitos apontados acima. O processo, que consiste na alteração das qualidades das águas, atua através diversos mecanismos físicos, químicos e biológicos, com o uso de plantas aquáticas flutuantes e solos filtrantes. Essas ações dependem do tipo da planta aplicado, do fluxo do efluente e do meio filtrante. De acordo com Saccon *apud* Lemos e Salati (2006), esse sistema apresenta uma eficiência de 76% na remoção de DBO, 78% na remoção de nitrogênio amoniacal e 33% na remoção de fósforo.

Como os condomínios horizontais, normalmente, apresentam vasta área verde, pode-se inferir que a estrutura dos mesmos é propícia à implantação do sistema de reúso de águas cinzas.

Portanto, o objetivo deste trabalho é o de fomentar a utilização dessa tecnologia, que se coloca como de interesse coletivo, analisando tecnicamente os seus benefícios, como a redução doôvolume de efluentes e, consequentemente, dos equipamentos necessários para o tratamento do esgoto remanescente.

2. Materiais e métodos

Inicialmente, foram realizadas visitas à Estação de Tratamento de Esgoto, ainda em construção, e coletadas informações com a administração da obra, como: projetos, parâmetros para cálculo e medidas finais de projeto. Com os parâmetros de cálculo, foi calculada a vazão de esgoto, para isso, foi utilizado o coeficiente de retorno a partir do consumo de água *per capta*.

O detalhamento da Estação de Tratamento foi realizado em seguida para que o redimensionamento da ETE fosse similar àquela proposta pela Construtora, de modo que as comparações entre o tratamento escolhido pela mesma e o tratamento ora sugerido fossem pertinentes.

Com as informações necessárias, possibilitou-se o exame da viabilidade do reúso de águas cinzas com tratamento a partir do leito de *macrófitas*, com a realização dos devidos cálculos. Esse tratamento teve base no projeto desenvolvido pelo SARAR, organização não-governamental do México, apresentado por Jacinto Buenfil em curso internacional de alternativas ecológicas em saneamento, ocorrido em março de 2009. A *macrofita* escolhida para o tratamento teve como base os estudos de Buller et. al. (2014) **ñ**Wetlands naturais e construídas para tratamento de resíduos da suinoculturaò.

O tratamento, também chamado de wetland para reúso de águas cinzas, foi projetado individualmente por residências, considerando famílias de cinco pessoas para cada lote. Além do dimensionamento do sistema foi proposto o orçamento, conforme a tabela SINAPI de insumos de Recife ï PE e a manutenção do sistema por Toniato (2005).

Após a escolha do tratamento de reúso mais adequado, os parâmetros do projeto foram recalculados, primeiramente foram determinados novos valores de vazão, substituindo de 60 a 70% de água potável com o reúso de água cinza e os valores de DBO e DQO de acordo com a NBR 12209/1992.

A estação de tratamento foi então recalculada, primeiramente com tratamento preliminar, seguindo do reator UASB, filtro biológico percolador e decantador secundário, com os seus componentes, esses cálculos foram baseados no o livro Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias de Edson José de Arruda Leme, 2010, 1° edição, nas normas da ABNT, utilizadas pela Companhia Pernambucana de

Saneamento ï COMPESA: NBR 12209 ï Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário e na bibliografia de Eduardo Fazza Dielle, a qual apresenta com didática a nova norma brasileira de NBR 12209/2011.

Os valores encontrados foram, então, comparados com os recomendados pela Construtora e analisados técnica e ambientalmente com vistas à verificação da viabilidade de implantação do sistema proposto.

3. Resultados e discussão

3.1 Dados do empreendimento:

Os condomínios abrangem uma área total de 1.775.812,66 m², composta por áreas residenciais, áreas comerciais, clubes, portarias, sistema viário, área verde, áreas de lazer e equipamentos urbanos, como estações elevatórias e Estação de Tratamento de Esgoto. Ademais, a população é disposta de acordo com Tabela 1.

Para o cálculo da demanda de água total, a Construtora utilizou o consumo *per capita* estabelecido na literatura, conforme as informações constantes da Tabela 2.

As vazões de esgoto foram calculadas através do coeficiente de retorno esgoto/água de 80%. A Tabela 3 apresenta a geração de esgoto dos empreendimentos utilizados pela construtora

.

Tabela 1: População do empreendimento

Usos	**Usuários**
Residencial	5505
Comercial	279
Clube	64
Portaria	10
Equipamentos comunitários	785
Multiuso	10067
Equipamento Urbano	57
ETE	2
Total	**16.769**

Tabela 2: Consumo de água total para o empreendimento

Usos	DEMANDA DE ABASTECIMENTO (L/DIA)	DEMANDA DE ABASTECIMENTO (L/S)
Residencial	1.483.782,00	8,12
Comercial	27.900,00	0,32
Clube	6.400,00	0,07
Portaria	700,00	0,01
Equipamentos comunitários	39.250,00	0,45
Multiuso	704.690,00	8,16
Equipamento Urbano	2.850,00	0,03
ETE	100,00	0,00
Total	2.265.672,00	17,16

Tabela 3: Produção de efluentes gerados no empreendimento

Usos	Q média (L/s)	Q máxima horária (L/s)	Q mínima (L/s)
Residencial	18,29	29,29	11,42
Comercial	0,36	0,57	0,23
Clube	0,06	0,11	0,03
Portaria	0,01	0,01	0
Equipamentos comunitários	0,36	0,65	0,18
Multiuso	6,52	11,75	3,26
Equipamento Urbano	0,02	0,04	0,01
ETE	0	0	0
Total	**25,62**	**42,42**	**15,13**

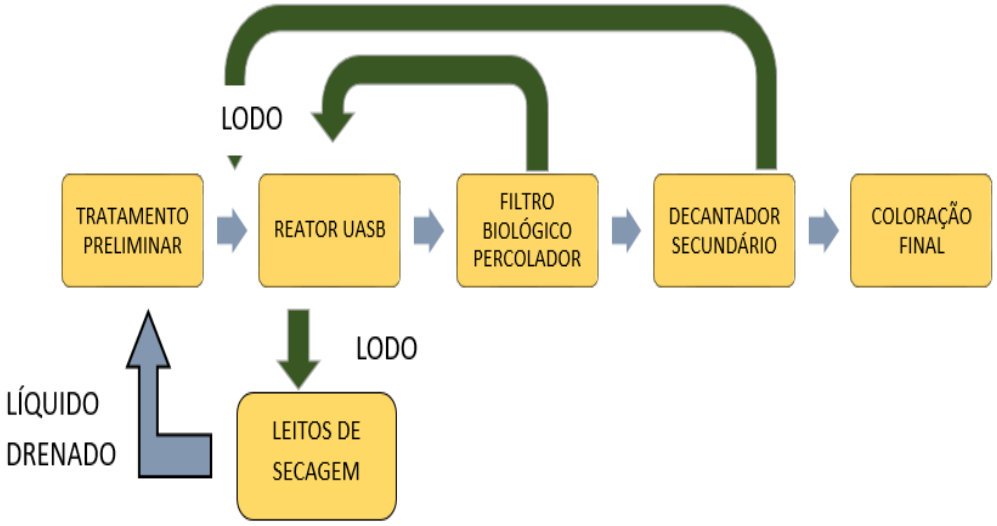
3.2 Sistema de esgotamento sanitário do empreendimento:

A sequência das etapas da estação de tratamento sugerida pela construtora está discriminada pelo fluxograma representado na Figura 1. Considerando que as caixas de gordura estão previstas para cada saída de efluente da cozinha, de modo a não obstruir a rede coletora, não é necessária a implantação desta fase na ETE.

3.3 Dimensionamento do projeto de águas cinzas para a cada lote:

O sistema de *wetland* para tratamento de águas cinzas, que consiste na alteração das qualidades das águas, atua através diversos mecanismos físicos, químicos e biológicos, com o uso de plantas aquáticas flutuantes e solos filtrantes.

Figura 1. Fluxograma da ETE



> ñOs sistemas de tratamento de efluentes do tipo *wetland* são de baixo custo de implantação e manutenção, esse sistema não libera odores desagradáveis, e o emprego de *macrófitas* nos tanques lhe confere valor paisagístico, facilitando a aceitação da sociedade para o emprego do sistema em comunidades. Os *wetlands* artificiais, ou *wetlands* construídos, são divididos de acordo com tipo de escoamento, sendo: *wetlands* de escoamento superficial e *wetlands* de fluxo sub-superficial, estes, por sua vez, são divididos em função do tipo de fluxo em: horizontal, vertical ou híbrido...ò (FERREIRA; SARON, 2013, p. 131).

Buller et. al. (2014) apresentou um resumo das características de sistemas *wetlands* em diversas regiões e climas para diferentes tipos de efluentes e espécies de *macrófitas*. Neste trabalho, o sistema utilizado em clima tropical em efluentes domésticos que teve uma melhor eficácia foi o sistema *wetland* em fluxo superficial com a macrófita Thalia (*thalia geniculata*). É necessário que o efluente não esteja exposto, ou seja, que o sistema seja sub-superficial para evitar mau cheiro e contato direto com os usuários. Nessa condição, portanto, o sistema com Brachiaria (*brachiaria subquadripara*) apresentou maior remoção de nitrogênio em fluxo sub-superficial, 52% em estação seca; e 39% em estação úmida. Devido à eficácia e a semelhança do clima tropical em que o estudo de caso está localizado, o sistema com Brachiaria foi o escolhido para a simulação do tratamento de águas cinzas do empreendimento.

Buenfil (2005) descreveu um projeto para reutilização de águas residuais composto inicialmente por uma caixa de gordura com aproximadamente 60cm x 60cm x 60cm, para uma família de 4 a 5 pessoas, a fim de evitar o entupimento do encanamento e maus odores. A tubulação na entrada de 2 polegadas ficará na parte superior da caixa e a água residual terá

acesso a tubulação de saída com 10 cm da base da caixa, a fim de que a água suba à uma altura de 15 a 20 cm abaixo da entrada do efluente, para permitir que os sólidos suspensos tenham tempo suficiente de sedimentar. A ligação entre a caixa de gordura e o tanque de *macrófitas*, deverá ter inclinação de no mínimo 4%.

O dimensionamento do leito de *macrófitas* para 5 pessoas, conforme Buenfil (2009), é calculado em função do consumo de água. Assume-se que a produção de águas cinzas é de 60 a 70% do consumo de água, que o tempo de retenção do efluente no sistema é de 1 dia, que a porosidade do substrato ideal para utilização é de 45% e que o volume total do leito será 20% maior que o volume efetivo. Esse dimensionamento está disposto na Tabela 4.

Com o dimensionamento do leito de *macrófitas*, o volume total terá aproximadamente 1.500 L, ou seja 1,5 m³. Buenfil (2005) determina que a profundidade não seja maior que 60 cm, que a entrada do efluente na jardineira seja preferencialmente 5 cm abaixo da borda e que seja depositado diretamente no material filtrante por um tubo de distribuição de 2 polegadas, perfurado a cada 4 a 5 cm, para garantir a distribuição do efluente. O material filtrante, composto por 0,5 britas n° 5, areia e terra (com proporção de 4 partes de areia para 1 de terra) deve ser posto em declividade ao longo do tanque. O tubo de saída deve estar rente à base do tanque para efetivar o reúso da água cinza tratada.

Contudo, para a introdução desta tecnologia é necessário que os usuários entendam os benefícios e custeiem a implantação e manutenção do sistema. Com uma breve estimativa dos materiais e custos tem-se: 5 joelhos de 50 mm, 2,33 m³ de brita n°, 0,2 m³ de terra vegetal, 2,52 m³ de areia, 1 L de impermeabilizante, 6 m de tubo de 50 mm, 12 sacos de cimento, 143 kg de cal hidratada, 8 horas de Encanador e 16 horas de Pedreiro. Conforme a tabela SINAPI de insumos de Recife - PE, obtém-se, aproximadamente, um custo total de R$ 1.035,00. Em relação à manutenção do sistema, Toniato (2005) concluiu, em seu estudo de caso, que uma poda simples a cada 6 meses é suficiente.

3.4 Redimensionamento da ETE após o reúso de águas cinzas.

Para recalcular a estação de tratamento de esgoto, foram determinados novos valores de vazão. Substituindo de 60 a 70% de água potável com o reúso de água cinza e recalculando as vazões relativas às residências, tem-se que a vazão final de esgoto será de 30 a 40% daquela prevista inicialmente. Dessa forma, a vazão de esgoto final, com o reúso de águas cinzas, varia entre 54,7% e 58,57% da vazão inicial proposta pela Construtora, conforme se apresenta na Tabela 5.

Tabela 4: Dimensionamento de leitos de *macrófitas* para tratamento de águas residuais.

Consumo de água por semana por pessoa	Buenfil (2009)	1.100 L
Consumo de água por semana para família de 5 pessoas	1.100 x 5	5500 L
Consumo por dia	5.500 ÷ 7	785,71L
Produção de águas cinzas é de 60 à 70%	70% x 785,71	550 L
Volume efetivo com porosidade do substrato de 45%	145% x 500	1.222,2 L
Total volume (20% a mais que o volume efetivo)	120% x 1.222,2	1.466,7 L

Tabela 5: Vazão de esgoto após o reúso de água da chuva

Usos	Q média (L/s)	Q máxima (L/s)	Q mínima (L/s)
Residencial (40% da vazão inicial)	7,316	11,716	4,568
Comercial	0,36	0,57	0,23
Clube	0,06	0,11	0,03
Portaria	0,01	0,01	0
Equipamentos comunitários	0,36	0,65	0,18
Multiuso	6,52	11,75	3,26
Equipamento Urbano	0,02	0,04	0,01
ETE	0	0	0
Total	**14,646**	**24,846**	**8,278**

De acordo com a NBR 12209/1992, podem ser adotados valores de 54g de DBO.hab^{-1}.d^{-1} e o dobro deste valor para DQO. Considerando os valores com a população inicial de 16.769 habitantes, a taxa de DBO é de 905,526 Kg DBO_5.d^{-1}. e a de DQO será de 1811,052 Kg DQO_5.d^{-1}.

De acordo com Rebelo (2011), as características químicas de águas cinzas de origem residencial contém em média 19 mg.L^{-1} DBO; 131,2 mg.L^{-1} DQO. Assim, reduzindo-se 60% da vazão inicial residencial, a taxa de DBO passará a ser de 2,09 x 10 ɔ^{4} kg.d^{-1}. e DQO de 14,44 x 10 ɔ^{4} kg.d^{-1}. da vazão final. Portanto, pode-se concluir que a diferença entre as cargas iniciais e finais será insignificante, razão pela qual devem ser considerados os valores iniciais.

3.5 Dimensionamento do tratamento preliminar:

a. Grade:

Segundo Leme (2010) *apud* Jordão e Pessoa (1995), a área do canal na entrada da grade é expressa pelas Equações 1 e 2.

$$\square = \square\square\square \frac{\square\square\square}{\square} \quad (1)$$

$$\square\square = \frac{\square}{\square} \quad (2)$$

Onde:

- ✓ **S** - área de canal até o nível da água (m²);
- ✓ **Au** - área útil para o volume do projeto;
- ✓ **a** - espaçamento entre as barras em m (25 cm recomendado);
- ✓ **t** - espessura entre as barras em m (0,95 cm recomendado)
- ✓ **V** - velocidade do fluxo entre as barras (0,6 m.s^{-1} adotado)

Substituindo os valores, a área do canal resulta em 0,57 m².

b. Dimensionamento da calha parshall:

Segundo Leme (2010) *apud* Azevedo Neto & Alvarez (1995), os níveis de montante da calha que correspondem às vazões máximas e mínimas são obtidos pela Equação 3.

$$\square = \square\square^{\square} \quad (3)$$

Adotando a calha de 6ò e consultando a tabela de Azevedo Neto & Alvarez (1995), o coeficiente k é 0,381 e o expoente n é 1,58. Utilizando ainda as vazões máximas de 24,846

L.s^{-1} e mínimas de 8,278 L.s^{-1}obtém o Hmáx de 0,17795 m e o Hmín de 0,08875 m.

Leme (2010) *apud* Pessoa e Jordão (1982) afirmam que o rebaixamento na cota da calha (S), para que as variações de vazões sejam proporcionais à altura de água na caixa de areia, é dado pela Equação 4, substituindo os valores, S=0,044 m².

$$\frac{\text{□□ í□}}{\text{□□ á□}} = \frac{(\text{□□ í□□□})}{(\text{□ □ á□□□})} \quad (4)$$

c. Dimensionamento da caixa de areia:

Leme (2010) alega que altura útil (Dmáx) da caixa de areia é definida pela subtração do rebaixamento ñSò da H máx obtida na calha Parshall. O valor encontrado pela Equação 5 para o estudo é, portanto, de 0,134 m².

$D_{máx}=H_{máx}$ï S (5)

Considerando a norma NBR 12209, devem ser previstas, no mínimo, 2 caixas de areia, sendo uma reserva. Adotando a velocidade de sedimentação (Vs) igual à 0,017 m.s^{-1} e a velocidade horizontal (Ve) igual à 0,33 m.s^{-1}, como orienta Leme (2010), citando a norma técnica PNB-570/75, tem-se que a largura de cada caixa de areia, pela Equação 6, será de 54cm.

$$□ = \frac{□}{\text{□□ á□} \times \text{□□}} \quad (6)$$

Em Leme (2010), o comprimento da caixa de areia é dado pela Equação 7, arredondando o valor final para 3 metros.

$$□ = \frac{□}{\text{□□}\times □} \times 1{,}50 \quad (7)$$

3.6 Dimensionamento do reator UASB:

Leme (2010) *apud* Campos (1985) recomenda alguns parâmetros para o dimensionamento do reator UASB para tratamento de esgoto domésticos como:

- ✓ Velocidade superficial máxima do decantador (Vs)= 0,7 m³.m^{-2}.h^{-1};
- ✓ Velocidade ascensional máxima do líquido (Va) = 5m³.m^{-2}.h^{-1};
- ✓ Velocidade mínima de escape de gás (Vg) = 1,0 m³.m^{-2}.h^{-1};
- ✓ Inclinação de paredes do decantador com 50°;
- ✓ Altura do reator (Hr)= 4,5m;
- ✓ Altura do decantador (Hd) = 1,5m.

Considerando dois módulos para a vazão total média (Qm) de 0,014m³.s^{-1}, para cada módulo se tem 26,36 m³.h^{-1} e o tempo de detenção hidráulica (tdh) de 10 h.

a. Cálculo do decantador interno ao reator:

Leme (2010) determina os parâmetros do decantador interno ao reator pelas fórmulas dispostas na Tabela 6.

Tabela 6: Cálculo do decantador interno ao reator.

Item	Fórmula	Resultados
Área mínima do decantador (Ad)	$□□ = \frac{□□}{□\|□}$	37,66 m²
Largura do decantador (Bd)	$□□ = \frac{□□}{□□(50°)} x\,2$	2,52 m
Comprimento do decantador (Ld)	$Ld = \frac{□□}{□□}$	14,96 m

b. Cálculo do reator ou digestor:

Leme (2010) determina os parâmetros do reator pelas expressões dispostas na Tabela 7.

3.7 Dimensionamento do Filtro Biológico Percolador:

A norma NBR 12209: 2011 indica que a vazão para dimensionamento deve ser a vazão média. Considera-se a vazão média do efluente de 52,72m ³.h-1. Assim, chega-se a 1.265,41 m³.d-1 para o cálculo da carga orgânica volumétrica do afluente do reator (COV). Segundo Dielle (2014), essa carga orgânica é dada pela Equação 8.

$$\text{COV} = \frac{\text{CVO}}{\text{Q}} \quad (8)$$

Em que:

- ✓ CVO carga volumétrica do reator (kgDQO.m³.d^{-1})
- ✓ Q é a vazão média (m³.d^{-1});
- ✓ C é a concentração de substrato do afluente (Kg DQO.m^{-1}.d^{-1}.)
- ✓ Volume total do reator (m³).

Para a concentração de 1.811,05 Kg DQO.dia^{-1} com a vazão de 1.265,41 m³.d^{-1}. chega-se a concentração de DQO por m³, ou seja, 1,43 Kg DQO.m-³.d^{-1}. Considerando o volume dos dois módulos do reator, a carga volumétrica do reator será de 3,43 □□□□□.□ □□. Como, pela norma NBR 12209/1992, a carga é de DQO = 2x DBO, então a demanda bioquímica do efluente será de 1,71KgDBO.m-³d^{-1}.

Segundo Gonçalves *et al.* (2001) os reatores UASB removem 70% da DBO presente no esgoto. Logo, o afluente do filtro biológico (As) terá 0,513 Kg DBO.m-³.d^{-1}. A a carga orgânica volumétrica aplicada diariamente ao material suporte é obtida pela Equação 9

$$\text{□□} = \frac{\text{□□ □□ □ □□□□}}{\text{□□}} \quad (9)$$

Em que:

- ✓ Cv: carga orgânica volumétrica (kgDBO.m^{-3}.d^{-1})
- ✓ Qméd: vazão média afluente ao FBP (m³.d^{-1})
- ✓ Sa: concentração de DBO do esgoto afluente ao FBP (kgDBO.m^{-3})
- ✓ Vf: volume ocupado pelo meio suporte (m³)

Pela norma NBR 12209: 2011, os filtros biológicos percoladores que utilizam o material de enchimento plástico não devem exceder a carga orgânica volumétrica de 3 kg DBO.m-³. Adotando-se 1 Kg DBO.m-³., o volume ocupado pelo material de suporte resulta em 649,15 □ ^{3}

A NBR 12209/1992 indica que os filtros biológicos percoladores que utilizam enchimento plástico devem ter altura inferior a 12 m. Adotando a altura de 10 m, a área do filtro biológico resulta em 64,915 m², com diâmetro de 9,09 m.

Pela norma NBR 12209/1992, a taxa de aplicação hidráulica deve estar entre 10 m³.m-².d^{-1} e 75 m³.m-².d^{-1} da superfície livre do leito. Testando, dessa forma, as vazões máximas de 2.146,69 m³.d^{-1} e mínima de 715,22 m³.d^{-1}, a taxa de aplicação hidráulica variará entre 11,01 m³.m-².d^{-1} e 33,06 m³.m-².d^{-1}.

Tabela 7: Cálculo do reator.

Item	Fórmula	Resultados
Volume do reator - m³ - (Vr)	Vr= tdh x Qm	263,60 m³
Área do reator - m²- (Ar)	$Ar = \frac{\text{□□}}{\text{□□}}$	58,58 m²
Comprimento do reator - m ï (Lr)	*Lr* = Ld	14,96 m

3.8 Dimensionamento do Decantador Secundário:

Leme (2010) calcula a área do decantador secundário pela razão entre a vazão média e a taxa de aplicação superficial. Como a norma NBR 12209: 2011 adverte que a taxa de escoamento superficial não deve ser superior a 24 $m^3.m^{-2}.d^{-1}$., e considerando 1 módulo, a vazão resulta em1.265,41,7 m^3/d. para cada. Assim, a área de cada decantador resultará em 52,72 m^2.

Como o tempo de detenção hidráulica deve ser Ó1,5 pela norma NBR 12209: 1992, foi considerado de 2,5 h. Conforme Leme (2010), a profundidade útil do decantador é o produto entre a taxa de aplicação e o tempo de detenção hidráulica, o que resulta na profundidade útil de 2,5 m.

Também segundo Leme (2010), citando a NBR 7229/82, recomenda-se que para decantadores a largura interna (L) varie entre 2 ≥ Profundidade útil do decatador ≥ 0,70m. Foi, assim, considerado o valor L= 4 m. Já para o comprimento do decantador (C), o mesmo autor indica 4 ≥ C/L ≥ 2. Se o a área do decantador é 52,72m^2 e a largura é 4 m, tem-se que C = 13,18 m, C/L= 3,29. Tal valor se enquadra nas recomendações da norma. Logo, o volume do decantador final será de 4m x 13,18 m x 2,5 m = 131,8 m^3.

Pela norma NBR 12209: 2011, a velocidade de escoamento horizontal deve ser de no máximo 50 $mm.s^{-1}$. Se resulta na vazão de 0,01465 $m^3.s^{-1}$ e a seção vertical é de 2,5 m x 4,0 m, obtém-se a velocidade de escoamento horizontal de 1,465 $mm.s^{-1}$, obedecendo-se aos valores da norma. Já a taxa de escoamento através do vertedor de saída deve ser igual ou inferior a 380 $m^3.m^{-1}.d^{-1}$. No projeto, esse valor é igual à razão entre a vazão pela largura do decantador, qual seja, 1.265,41 $m^3.d^{-1}$, dividido por 4,0 m, o que resulta em 316,35 $m^3.m^{-1}.d^{-1}$, valor também aceito por norma.

3.9 Comparação entre os sistemas de tratamento:

Os valores encontrados com relação aos parâmetros e equipamentos hidráulicos após o reúso de águas cinzas foram comparados com os valores propostos pela Construtora, sem o reúso de águas cinzas, e estão descritos na Tabela 8.

Com a introdução do sistema de reúso para cada lote, obtém-se uma redução de vazão de esgoto total entre 41,43% e 45,3%. As cargas de DBO e DQO variaram na ordem de $10^{}$kg. d-1, sendo a diferença insignificante. Nos equipamentos da estação de tratamento de esgoto houve variações devido às possíveis diferenças entre os modelos de cálculo, por isso, os valores devem ser analisados mais detalhadamente. A caixa de areia, o reator e o filtro biológico percolador obteve uma redução de 3 módulo para 2 módulos e o decantador secundário de 2 módulos para 1, com alteração nas dimensões dos equipamentos.

Como o consumo *per capita* indicado pela na norma técnica N 181 da SABESP para residência de luxo é 300 L/d, o projeto *wetland* para reúso de águas cinzas atende 5 moradores, totalizando 1.500 L/d e 45.000L/mês. A economia é de 60 a 70% de água potável, o que equivale a 31.500 L/mês, ou seja, 378.000 L/ano em uma residência. Considerando todos os 1.101 lotes residenciais, obtém-se uma economia de 416.178.000 L/ano. Com a verificação dos valores tarifários atuais da companhia de água da região (COMPESA, 2015), dispostos na Tabela 9, esse expressivo volume de água potável representa uma economia financeira de aproximadamente R$ 228,69/mês e R$ 2.744,28/ano para cada residência.

Contudo, o benefício maior que pode ser vislumbrado com a presente proposta é o desenvolvimento de projetos que desacelerem a degradação do meio ambiente, conjugando os aspectos econômico e ambiental e, assim, privilegiando o desenvolvimento sustentável. A água é um bem finito e, por isso, o seu uso deve ser racional. Já se nota uma carência, causada, principalmente, pelo uso indiscriminado dos recursos hídricos, cuja preservação é relegada a um segundo plano em virtude dos interesses imediatamente econômicos das grandes empresas.

Tabela 8: Comparação de parâmetros e equipamentos da ETE.

Itens comparados	Sistema sem reúso	Sistema com reúso
Parâmetros de cálculo		
Vazão máxima (L/s)	42,41	24, 84
Vazão média (L/s)	25,63	14,65
Vazão mínima (L/s)	15,14	8,27
DBO (Kg DBO_5/d.)	905,53	905,53
DQO (Kg DQO_5 /d.)	1.811,05	1.811,05
Caixa de areia		
Módulos (und)	3,00	2,00
Largura (m)	0,36	0,54
Área (m²)	1,80	0,13
Comprimento (m)	4,86	3,00
Reator UASB		
Módulos (und)	3,00	2,00
Largura (m)	6,00	2,52
Área de decantação (m²)	43,20	37,66
Comprimento (m)	9,00	14,96
Área do reator (m²)	54,00	58,00
Volume útil do reator (m³)	259,20	263,00
Filtro biológico percolador		
Módulos (und)	3,00	2,00
Altura(m)	4,15	10,00
Área (m²)	55,42	64,91
Diâmetro (m)	8,40	9,09
Decantador Secundário		
Módulos (und)	2,00	1,00
Largura (m)	4,00	4,00
Área (m²)	48,00	52,72
Comprimento (m)	12,00	13,18
Volume útil (m³)	155,70	131,80
Altura útil (m)	2,00	2,50

Tabela 9: Valores tarifários; Fonte: (COMPESA, 2015).

Consumo até 10 m³	R$ 47,84 (fixo)
Consumo entre 10 m³ e 999999 m³	R$ 7,26 (por m³)

Nesse sentido, busca-se a definição de valor econômico ao bem natural, com o objetivo de racionalizar o seu uso e evitar desperdício. Os recursos naturais, dentre os quais a água, é de titularidade da coletividade. O seu uso deve, por isso, assegurar uma compensação financeira revertida em benefício da própria sociedade

> A contribuição da análise econômica à conceituação do desenvolvimento sustentável é considerar os recursos ambientais que sustentam o crescimento econômico e viabilizam a busca da equidade social tal como um estoque global de capital ambiental. (LANNA, 2001, p. 12).

A Lei 9.433/97 (Política Nacional dos Recursos Hídricos) prevê que ña água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômicoò. Segundo a mesma lei:

> Art. 19. A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva:
> I - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
> II - incentivar a racionalização do uso da água;

Portanto, não há dúvidas de que o uso racional dos recursos hídricos é fundamental para o alcance do desenvolvimento sustentável e para a preservação do meio ambiente. Além disso, projetos como o de reúso de águas cinzas dão ênfase à concepção de Saneamento Ecológico, definido como a reciclagem de excretas humanas para fins sustentáveis.

> ñO saneamento ecológico é uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencionais, visando a sustentabilidade ambiental, pois considera as excretas humanas como um recurso a ser reciclado ao invés de ser desperdiçado nas redes coletoras de esgoto, sendo utilizado como fertilizante para o cultivo de plantasò (MENEZES et al., 2011, p. 3 apud JOHANSSON, 2000).

4. Conclusões:

Com a proposta de introduzir o sistema de reúso para cada lote, a redução de vazão total será de 41,43% a 45,3%, o que representa uma economia de aproximadamente 416.178.000 L/ano. Já nos equipamentos da estação de tratamento houve, a redução de 01 (um) módulo para cada equipamento calculado com dimensões diferentes, é importante então observar detalhadamente cada diferença.

É relevante considerar também que este trabalho recalculou os equipamentos da ETE com a intenção de comparar os valores a partir do mesmo tipo de sistema, mas outro tratamento mais simples e econômico poderia ser proposto com os novos valores de vazão.

Além da redução de custo para os empreendimentos, com a construção do sistema de tratamento para o esgoto remanescente, os usuários também economizam financeiramente com a redução de 60 a 70% de utilização de água potável, o que representa aproximadamente R$ 2.744,28 por ano com as contas de água para cada residência. Com a implantação do sistema *wetland* para cada residência custando aproximadamente R$ 1.035,00 e a manutenção sendo de aproximadamente uma poda a cada 6 meses (TONIATO, 2005), o sistema ficará viável para o usuário, que arcará com os custos da implementação e auferirá os lucros relativos à economia da água potável.

Ainda que não houvesse sido comprovada a viabilidade financeira do reúso de águas cinzas, a proposta já deveria ser admitida tão somente em razão de economizar um expressivo volume de água potável. Os empreendedores devem reconhecer a importância desses recursos e eleger metas que visem ao alcance do desenvolvimento sustentável.

5. Referências.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:Projeto de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL. Lei 9.433/97. Vade Mecum. 14ª ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

BUENFIL, J. **GREYWATER MANAGEMENT**. 03. Mar. 2009. 34 transparências. Transparência apresentada no International course on ecological alternatives in sanitation.

BUENFIL, J. **LA JARDINEIRA QUE FILTRA LAS AGUAS GRISES PARA RECICLARLAS**. Instrumientos educativos para el saneamiento ecológico. Morelos, 2005. Disponível em: http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BUENFIL%20La%20Jardinera%20que%20Filtra%20las%20Aguas-SPANISH.pdf. Acesso em 03 jun. 2015.

BULLER, L. S.; TEXEIRA, M. B.; ORTEGA, E., **Wetlands naturais e construídas para tratamento de resíduos da suinocultura.** In. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2. 2014, Campinas, São Paulo, 2014.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. SINAPI, 2015. Disponível em:< http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014-pe/SINAPI_Preco_Ref_Insumos_PE_092015_NaoDesonerado.pdf> . Acesso em: 30 out 2015

DIELLE. E. F., **Estudo da nova norma brasileira de projeto de estação de tratamento de esgoto ï NBR 12.209/2011.** Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental) ï Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Juiz de Fora, 2014.

ESTRUTURA TARIFÁRIA COMPESA. Mai, 2015 disponível em <https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do. > Acesso em: 22/08/2015

FAEDO, A. M. **Tecnologias convencionais e novas alternativas para o tratamento de efluentes domésticos.** 2010. 38 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Engenharia do controle da poluição ambiental) - Universidade do Sul de Santa Catarina, UNISUL, Florianópolis, 2010.

FERREIRA, M. M.; SARON, A. **Estudo da eficiência do tratamento de esgoto doméstico por sistema de wetland de fluxo vertical descendente para ser aplicado em comunidades isoladas estação de tratamento em escala de laboratório**. **InterfacEHS.** São Paulo, v. 8, n. 1, p. 127-149. 2013.

GONÇALVES, R. F. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme**. In: Pós - Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. Cap 4, p.171-271.

LANNA, A.E. **Economia dos recursos hídricos**. Texto de referência da disciplina de Economia dos Recursos Hídricos no programa de pós-graduação em Recursos hídricos e saneamento ambiental- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, 2001.

LEME, E. J. A. **Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias**, 1. Ed. São Paulo: Edufscar, 2010. 595 p.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de aguas pluviais em edificações,** 2009, 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia) ï Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2009.

MENEZES, S. C.; FILHO, F.J.C.M; PAULO, P.L**., Quantificação de águas residuárias para reúso na perspectiva do saneamento**. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. 2011, Maceió, Alagoas, 2011

MOTTA, R. S., **Manual para valorização econômica dos recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1992. 242 p.

REBELO. M. M. P. S., **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas.** Dissertação (Pós-Graduação em recursos hídricos e saneamento) ï Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Maceió, 2011.

SABESPï Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **NTS 181 Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro ï Primeira ligação. 2012.**

SACCON, S., **Uso de leitos cultivados com macrófitas no estudo da eficiência do tratamento de águas cinzas.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) ï Faculdade Dinâmica de Cataratas, UCD. Foz do Iguaçu, PR, 2009.

SARAR. **Manejo de Agua Jabonesa.** Disponível em: < Jacinto http://www.sarar-t.org/index.php/sistemas/manejo-de-agua-jabonosa >. Acesso em: 09 de set. 2015.

TONIATO, J.V. **Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos ï estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil,** 2005, 95 f. Dissertação (Mestre em Ciência) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Jeneiro,2005.