

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL



TRABALHO FINAL DE CURSO

Dimensionamento de um sistema composto reator UASB e lagoa facultativa para o tratamento dos esgotos sanitários do condomínio Retiro do Chalé

Paulo Augusto Ruiz Guidi

*Belo Horizonte
2012*

Paulo Augusto Ruiz Guidi

TRABALHO FINAL DE CURSO

Dimensionamento de um sistema composto por reator UASB e lagoa facultativa para o tratamento dos esgotos sanitários do condomínio Retiro do Chalé

Trabalho apresentado à disciplina Trabalho Final de Curso (TFC), do curso de especialização em Saneamento e Meio Ambiente do Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para conclusão de curso.

*Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Lemos
Chernicharo*

*Belo Horizonte
2012*

RESUMO

O presente trabalho contém o projeto de uma estação de tratamento de esgotos sanitários para atender as residências do Condomínio Retiro do Chalé. O sistema de tratamento inclui: o tratamento preliminar (grade e caixa de areia), seguido do tratamento primário (reator UASB) e do tratamento secundário (lagoa facultativa). Na elaboração desse projeto foram desenvolvidas as seguintes atividades: caracterização da área; realização do levantamento de dados primários (população, vazão, etc.); revisão bibliográfica; concepção do sistema de tratamento; elaboração de fluxogramas e layouts e o dimensionamento das unidades de tratamento.

Palavras – chave: Retiro do Chalé, reator UASB, lagoa facultativa.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 1: Unidades componentes de um tratamento preliminar.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Figura 2: Esquema simples do metabolismo das bactérias.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 3 – Desenho esquemático de um reator UASB.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 4 – Configurações diversas para reatores UASB</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 5: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa</i> | <i>21</i> |
| <i>Figura 6: Mapa de acesso ao condomínio.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 7: Imagem de satélite do Condomínio Retiro do Chalé com sua área delimitada.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 8: Fluxograma da concepção de tratamento</i> | <i>28</i> |

LISTA DE SIGLAS

CHV – Carga Hidráulica Volumétrica

DAFA – Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

RALF – Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado

SS – Sólidos em Suspensão

TAS – Taxa de Aplicação Superficial

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UASB – Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 9 |
| 3 | OBJETIVO | 10 |
| 4 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 4.1 | Características dos esgotos sanitários..... | 11 |
| 4.2 | Tratamento dos esgotos sanitários | 13 |
| 4.2.1 | Níveis de tratamento | 13 |
| 4.2.1.1 | Tratamento preliminar..... | 13 |
| 4.2.1.2 | Tratamento primário..... | 16 |
| 4.2.1.3 | Tratamento secundário..... | 16 |
| 5 | METODOLOGIA | 22 |
| 6 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 23 |
| 6.1 | Localização do Condomínio Retiro do Chalé..... | 23 |
| 6.2 | Histórico de implantação do Condomínio Retiro do Chalé..... | 24 |
| 6.3 | Levantamento de dados primários | 25 |
| 7 | CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO..... | 27 |
| 8 | DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES COMPONENTES DO SISTEMA DE TRATAMENTO..... | 29 |
| 8.1 | Gradeamento..... | 30 |
| 8.2 | Caixa de areia..... | 35 |
| 8.3 | Reator UASB (up-flow anaerobic sludge blanket)..... | 37 |
| 8.4 | Leito de secagem..... | 40 |
| 8.5 | Lagoa facultativa | 42 |
| 9 | CONCLUSÃO | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 46 |
| | ANEXOS..... | 48 |

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida de uma população pode estar diretamente associada à preservação do meio ambiente, à manutenção de sua saúde e à gestão adequada dos recursos naturais. Uma das formas de se melhorar esta qualidade de vida é investir em ações de saneamento básico. Dentre as diversas ações de saneamento, o tratamento dos esgotos sanitários é uma das mais importantes, que além de ajudar a manter a qualidade dos recursos naturais, tem reflexo direto na saúde das pessoas.

O tratamento dos esgotos sanitários é uma ação que não recebe muitos investimentos, uma vez que, a maioria da população não tem consciência da importância de se fazer um tratamento adequado. No entanto, percebe-se que há um crescimento de pessoas que se interessam em assuntos relacionados ao meio ambiente. Com isso, os indivíduos perceberão que fazendo o tratamento de seu esgoto, estarão contribuindo diretamente para a preservação do meio em que vivem.

Essa conscientização pode ser percebida no Condomínio Retiro do Chalé, situado no município de Brumadinho. Os moradores demonstram preocupação com o meio ambiente e fazem o tratamento dos seus próprios esgotos através de sistemas compostos por fossa séptica, filtro anaeróbico e sumidouro.

Entretanto, uma grande maioria dos moradores não está satisfeita com seus sistemas devido ao fato de se responsabilizar pela manutenção e operação dos equipamentos, mesmo sabendo que estas atividades são realizadas eventualmente.

Desse modo, o presente trabalho pretende apresentar aos moradores um sistema de tratamento e disposição dos esgotos de forma coletiva, a fim de transferir a rotina de operação e manutenção para profissionais especializados. A concepção do novo

sistema de tratamento proposto compreende: o tratamento a nível preliminar, que inclui uma unidade de gradeamento e uma de desarenação, o tratamento secundário, realizado por um reator UASB (*Up-flow Anaerobic Sludge Blanket*) e o pós-tratamento através de uma lagoa facultativa.

2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, os esgotos sanitários do Condomínio Retiro do Chalé são tratados de forma individual, por meio de fossas sépticas com sumidouros. Esta solução vem sendo questionada por grande parte dos moradores, pois o tratamento fica na responsabilidade de pessoas que são leigas no assunto e não possuem capacitação técnica para operar e manter essas unidades. Outros inconvenientes deste sistema de tratamento é que existem riscos de contaminação do lençol freático e de falha na eficiência do processo, caso a limpeza não seja executada de maneira correta e periódica. Em vista desses fatos, propôs-se a substituição do sistema atual pelo tratamento coletivo, que deverá ser acompanhado por profissionais qualificados, de forma a garantir a eficiência do processo. Com os resultados, espera-se uma melhor preservação do corpo d'água receptor e um maior conforto para os moradores do condomínio, que não precisarão se preocupar com o tratamento de seus efluentes e com a manutenção de seus sistemas.

3 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um projeto de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) para tratar, de forma coletiva, os esgotos sanitários do Condomínio Retiro do Chalé, localizado no município de Brumadinho - MG.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Características dos esgotos sanitários

Os esgotos sanitários contêm aproximadamente 99,9% de água e o 0,1% restante, inclui: sólidos orgânicos e inorgânicos; sólidos suspensos e dissolvidos e microorganismos. É devido a esta pequena parcela de sólidos, que há a necessidade de se tratar os esgotos sanitários. (VON SPERLING, 2005)

As características dos esgotos sanitários estão relacionadas aos usos que se faz da água, tais como: residencial, industrial, comercial e público. Portanto, ao ser utilizada nas mais diversas atividades, a água incorpora impurezas que são classificadas segundo suas características químicas, físicas e biológicas.

As características físicas dos esgotos são expressas sob a forma de parâmetros. Os parâmetros físicos dos esgotos são: temperatura, cor, odor e turbidez. Os principais parâmetros químicos são: sólidos totais, matéria orgânica, pH, nitrogênio total. Já as características biológicas de um esgoto sanitário se dá através da presença de microorganismos tais como: algas e bactérias. Estes parâmetros estão indicados no Quadro 1

Quadro 1: Principais parâmetros químicos, físicos e biológicos dos esgotos sanitários

| Principais Parâmetros | |
|------------------------------|--------------------------|
| QUÍMICOS | SÓLIDOS TOTAIS |
| | SUSPENSÃO |
| | Fixos |
| | Voláteis |
| | DISSOLVIDOS |
| | Fixos |
| | Voláteis |
| | SEDIMENTÁVEIS |
| | MATÉRIA ORGÂNICA |
| | DETERMINAÇÃO INDIRETA |
| | DBO5 |
| | DQO |
| | DBO última |
| | DETERMINAÇÃO DIRETA |
| | Carbônico Orgânico Total |
| | NITROGÊNIO TOTAL |
| Nitrogênio orgânico | |
| Amônia | |
| Nitrito | |
| Nitrato | |
| FÓSFORO | |
| Fósforo orgânico | |
| Fósforo inorgânico | |
| pH | |
| ALCALINIDADE | |
| CLORETOS | |
| ÓLEOS E GRAXAS | |
| FÍSICOS | Temperatura |
| | Cor |
| | Odor |
| | Turbidez |
| BIOLÓGICOS | Organismos Indicadores |
| | Algas |
| | Bactérias |

Fonte: adaptado, Sperling (2005).

4.2 Tratamento dos esgotos sanitários

O tratamento dos esgotos sanitários tem como principal objetivo a remoção da matéria orgânica, uma vez que, o lançamento constante dessa matéria em corpos d'água pode deteriorar a qualidade deste corpo receptor. A remoção da matéria orgânica se dá pela decomposição através de atividades biológicas, sendo que, quanto maior a eficiência de remoção maior a qualidade do tratamento.

Uma das maneiras de mensurar a eficiência do tratamento do esgoto é através do cálculo da demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A DBO é um parâmetro que mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica biodegradável. Portanto, deve-se destacar que, para um tratamento eficiente é necessário que os valores de DBO decresçam até valores menores do que 60mg/L. Com isso, o esgoto sanitário deverá passar por diversos níveis de tratamento para garantir que a eficiência do tratamento atenda aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação ambiental.

4.2.1 Níveis de tratamento

O tratamento dos esgotos sanitários é usualmente classificado através dos seguintes níveis: preliminar, primário e secundário.

4.2.1.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar tem como objetivo a remoção dos sólidos grosseiros e da areia. Para a retirada dos sólidos grosseiros são utilizadas grades de barras

paralelas, peneiras e trituradores. Já as partículas de areia são removidas em canais de desarenação ou caixas de areia, que podem funcionar através de sedimentação simples ou por aeração.

No Brasil, não é comum o uso de trituradores para eliminação de sólidos grosseiros, pois acarretam um significativo aumento de sólidos, gerando mais lodo no sistema. Normalmente são utilizadas as grades de barras paralelas, por serem mais simples de ser operadas e menos onerosas do que as unidades de peneiramento e trituradores.

As grades de barras paralelas podem ser classificadas em função da sua abertura como: grossas, médias e finas. No gradeamento, os materiais de dimensões maiores do que os espaçamentos entre as barras ficam retidos, havendo a necessidade de se fazer uma limpeza destas grades periodicamente. Para facilitar a limpeza, as grades podem ser instaladas com diferentes inclinações, variando conforme o método de remoção dos sólidos retidos, podendo ser manual ou mecanizado. As grades de limpeza manual, em geral, são instaladas nos canais de entrada do esgoto com inclinação entre 30 e 40 graus. As grades com limpeza mecanizada são instaladas com uma inclinação maior, podendo variar de 60 a 90 graus.

A remoção da areia nos esgotos sanitários tem como objetivo impedir a abrasão nos equipamentos e tubulação, bem como suas obstruções, facilitando o transporte do líquido e protegendo as unidades de tratamento subsequentes.

Os canais de desarenação têm a finalidade de remover a areia do sistema. Esta remoção se dá através de caixas de areia aeradas ou canais de desarenação sem aeração. O mecanismo de funcionamento das caixas de areia aeradas baseia-se na aeração longitudinal da unidade, de modo a criar um fluxo espiral dos esgotos e, dessa forma, promover a retirada da areia por força centrífuga. Já o funcionamento dos canais de desarenação se dá através da sedimentação simples, uma vez que os

grãos de areia têm dimensões e densidade maiores do que a matéria orgânica, ficando depositados no fundo do tanque. Em geral, os canais de desarenação são mais utilizados por uma questão de custo e pela sua simplicidade.

As partículas de areia que são depositadas por sedimentação nos canais de desarenação necessitam ser removidas periodicamente para que não comprometam a eficiência da unidade. A sua remoção pode ser manual ou mecanizada através de raspadores.

As unidades de desarenação podem ser classificadas de acordo com as seguintes formas de construção: prismática (com seção retangular ou quadrada) ou cilíndrica (seção circular). Em geral, adotam-se caixas de areia prismáticas retangulares, de sedimentação simples, devido a sua simplicidade de construção, operação e manutenção.

A figura 1 apresenta uma unidade de tratamento preliminar composta por gradeamento com barras paralelas e desarenador em forma prismática.



Figura 1: Unidades componentes de um tratamento preliminar.
Fonte: adaptado, Sperling (2005).

4.2.1.2 Tratamento primário

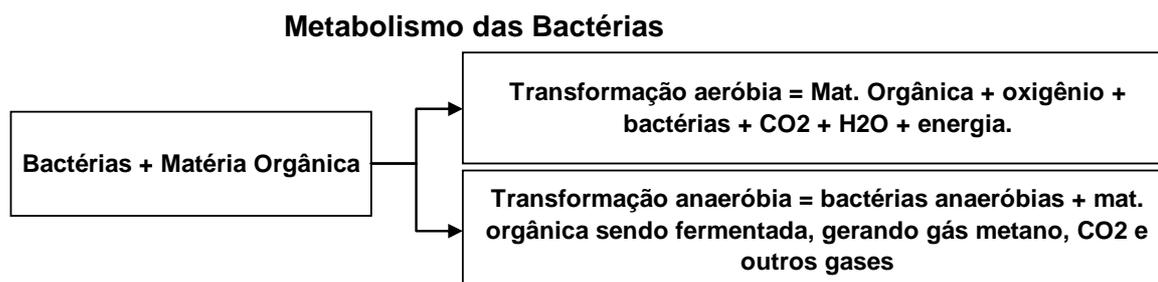
O tratamento primário tem como objetivo a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes dos esgotos. A remoção se dá através de sedimentação.

Para a remoção desses sólidos podem ser utilizados decantadores primários, que removem de 50% a 70% dos sólidos presentes no esgoto. Como a maior parte desses sólidos é constituída por matéria orgânica, então há uma remoção de 30% a 40% de DBO. Recentemente, no Brasil, estes decantadores primários estão sendo substituídos por reatores biológicos, principalmente por reatores UASB, que se caracteriza por ser um tratamento secundário capaz de remover os sólidos com a mesma eficiência dos decantadores primários, digerir o lodo sedimentado e ainda possui um benefício adicional de remover a DBO em até 70%.

4.2.1.3 Tratamento secundário

O objetivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica solúvel presente nos esgotos. Esta remoção ocorre por meio de processos biológicos, com o crescimento e atuação de microorganismos específicos, formando flocos denominados lodo ativado ou lodo biológico.

O tratamento secundário promove o contato entre a matéria orgânica e os microorganismos (bactérias, fungos, protozoários e outros). Em condições aeróbias, estes convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular, aproveitando-a para o seu crescimento e reprodução. Em condições anaeróbias a matéria orgânica, em contato com as bactérias, é decomposta gerando gás metano, gás carbônico e outros gases (FIG. 2).



*Figura 2: Esquema simples do metabolismo das bactérias.
Fonte: Adaptado, Sperling (2005).*

Dentre os processos biológicos aeróbios destacam-se: lodos ativados, filtros biológicos, flotação por ar dissolvido, filtros aeróbios submersos e lagoas de alta taxa, entre outros. Já o tratamento por meio anaeróbio pode ser realizado por lagoas anaeróbias, reatores anaeróbios dentre eles, o reator UASB e outros.

Nos últimos anos o reator anaeróbio de fluxo ascendente, UASB, tem se destacado, em relação a outros métodos de tratamento secundário, principalmente pelo fato de demandar uma área pequena para sua construção e pelo seu baixo custo de instalação e operação.

O reator UASB foi desenvolvido em 1970, na Universidade Wageningen – Holanda, pelo professor Lettinga e sua equipe. Deve-se lembrar que, desde 1960, a Holanda vem se destacando pelo significativo avanço de suas tecnologias de clarificação de águas residuárias. No Brasil, esse reator tem recebido diversas denominações, como: digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) e outras nomenclaturas.

A tecnologia UASB foi desenvolvida inicialmente para tratar águas residuárias industriais. Entretanto, após discussões sobre tecnologias adequadas para países em desenvolvimento, iniciaram-se testes para a utilização do UASB em tratamento

de águas residuárias domésticas, que foram realizados a partir do ano de 1976 (Kooijmans et al, 1986).

Atualmente a utilização do reator UASB para tratamento de esgoto doméstico encontra-se bastante difundida nos países de climas tropicais, sendo que o Brasil é um dos países que mais tem desenvolvido pesquisa sobre esses tipos de reatores.

No reator UASB o esgoto afluyente entra pela parte inferior e segue em fluxo ascendente, passando por uma zona de digestão, composta por um leito de lodo. Em seguida, passa por uma zona de sedimentação e, na parte superior, por um separador de fases.

O esgoto ao entrar pela parte inferior do reator UASB, passa por um leito de lodo, no qual os sólidos orgânicos ficam retidos. Com o passar do tempo vão crescendo microorganismos nesta camada, que têm a função de remover a matéria orgânica que constantemente está passando em sentido ascendente. Os sólidos orgânicos são degradados e digeridos por meio da decomposição anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. As bolhas de gás, (predominantemente metano e gás carbônico) produzidas pela atividade bacteriana, seguem um fluxo ascendente até atingir um separador trifásico, que geralmente possui as formas de tronco de pirâmide ou cone invertido. O gás é coletado na parte superior, de onde pode ser queimado ou reaproveitado. Os sólidos presentes no esgoto sedimentam na parte externa do separador trifásico, denominada zona de sedimentação, deslizando por suas paredes inclinadas até retornarem para a parte inferior do reator (Von Sperling, 2005). A permanência da biomassa no sistema permite elevar a eficiência do processo (FIG 3).

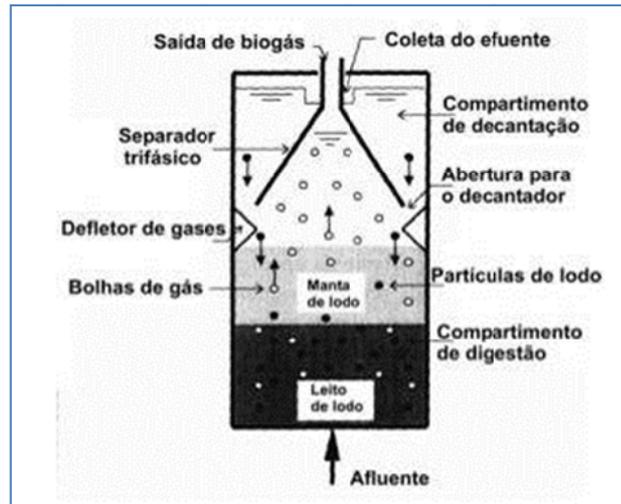


Figura 3 – Desenho esquemático de um reator UASB
 Fonte: adaptado, Chernicharo (2007)

Os reatores UASB podem ser construídos como unidades cilíndricas ou retangulares, nos quais as áreas de decantação e de digestão tendem a ser do mesmo tamanho. Independente das formas que as unidades possuem, os reatores UASB têm sido implantados em diferentes configurações, conforme indicado na figura 4.

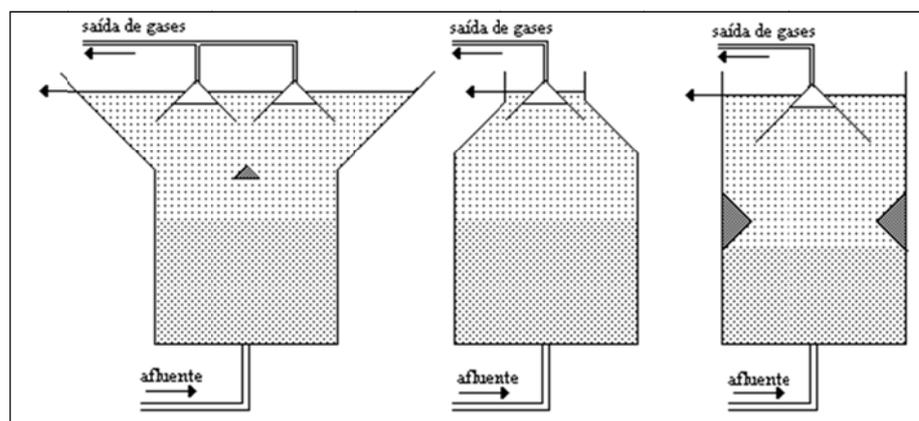


Figura 4 – Configurações diversas para reatores UASB
 Fonte: Hendeel e Lettinga (1994)

Mesmo os reatores UASB fazendo a remoção de grande parte da matéria orgânica, ainda há a necessidade de se remover mais uma parcela para que se atenda aos critérios de lançamento de esgoto em corpos receptores.

Como pós-tratamento do efluente do reator UASB, tem-se: as diversas lagoas de estabilização, os processos de disposição no solo, os lodos ativados e suas variações e os reatores aeróbios com biofilmes. Dentre estes processos, destacam-se no Brasil, as chamadas lagoas de estabilização, devido a sua simplicidade operacional.

As lagoas de estabilização são classificadas em:

- Lagoas facultativas;
- Sistema de lagoas anaeróbias – lagoas facultativas;
- Lagoas aeradas facultativas;
- Sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de sedimentação;
- Lagoas de altas taxas;
- Lagoas de maturação;
- Lagoas de polimento.

Dentre os tipos anteriormente mencionados, as lagoas facultativas apresentam um processo simplificado para o tratamento dos esgotos. Nestas lagoas, a matéria orgânica dissolvida juntamente com os sólidos em suspensão é decomposta por bactérias facultativas que possuem capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre. A matéria orgânica é utilizada como fonte de energia e o oxigênio é suprido pela fotossíntese realizada pelas algas (VON SPERLING, 2005).

Na lagoa facultativa o processo biológico de tratamento é essencialmente natural. O funcionamento da lagoa se dá com a entrada e saída do efluente de modo contínuo, em zonas aeróbia e anaeróbia - (FIG 5). Na zona aeróbia, situada na parte superior da lagoa, a matéria orgânica é decomposta na presença do oxigênio, os sólidos em

suspensão sedimentam-se, formando uma camada de lodo no fundo que é decomposta por microorganismos anaeróbios, liberando gases como o metano, o gás sulfídrico e o gás carbônico. Parte do lodo, caracterizada como fração inerte, fica depositada no fundo. A estabilização da matéria orgânica ocorre de forma mais lenta implicando em um elevado tempo de detenção e maior área de exposição para melhor aproveitamento da energia solar utilizada na fotossíntese.

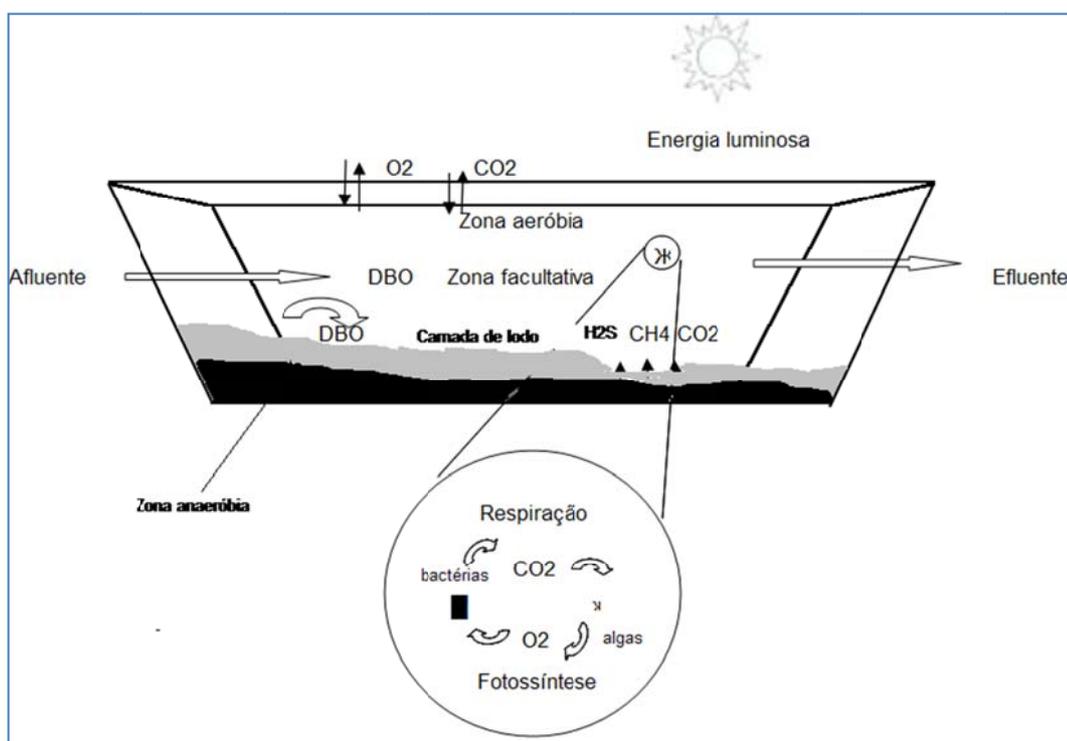


Figura 5: Esquema simplificado de uma lagoa facultativa
Fonte: adaptado, Sperling (2005).

As lagoas facultativas têm como vantagem o baixo custo de operação e implantação, simplicidade de manuseio e a não geração de gases com maus odores. Entretanto, demandam áreas extensas para sua construção. Devido as suas inúmeras vantagens, estas unidades têm sido bastante utilizadas para tratamento de esgotos no Brasil, principalmente para polimento dos efluentes provenientes de reatores anaeróbios, como o reator UASB. A utilização destes reatores no tratamento primário faz com que a DBO do esgoto reduza cerca de 70%, diminuindo a quantidade de matéria orgânica a ser tratada pelo tratamento secundário, portanto, faz com que as lagoas possam ter dimensões mais reduzidas.

5 METODOLOGIA

Para conhecer melhor a área e adquirir informações importantes para o projeto, realizou-se uma reunião com a administração do Condomínio Retiro do Chalé.

Após a reunião coletou-se os seguintes dados: atualmente o número de residências é de 750, sendo que, a capacidade do condomínio é para 850 residências. O número de habitantes que residem no condomínio é de 1000 habitantes. A população flutuante no condomínio durante a semana chega a 1500 pessoas, sendo ela composta por prestadores de serviços, funcionários e visitantes. Já nos finais de semana esta população chega a números muito maiores. Considera-se que, quando houver a ocupação máxima do condomínio, a população flutuante poderá chegar a, aproximadamente 3000 pessoas.

Com base nas informações da administração do condomínio, foi reservada uma área de aproximadamente 9600m² para implantação da futura estação de tratamento dos esgotos sanitários. Essa área encontra-se na cota mais baixa do condomínio (ANEXO 1, Mapa Planialtimétrico), próxima ao córrego Valente.

Após a coleta dos dados primários, fez-se uma revisão bibliográfica a respeito das tecnologias e processos de tratamento disponíveis; análise das informações e de imagens de satélite para definição da concepção do sistema de tratamento; elaboração dos fluxogramas e layouts; dimensionamento das unidades de tratamento e elaboração dos desenhos, contendo plantas e cortes das unidades.

6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

6.1 Localização do Condomínio Retiro do Chalé

O Condomínio está localizado no distrito de Piedade do Paraopeba, município de Brumadinho/MG, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. O acesso é realizado pela rodovia BR 040. Partindo de Belo Horizonte, deve-se seguir na BR-40 em direção ao Rio de Janeiro, saindo no km 567, como mostra a figura 6.

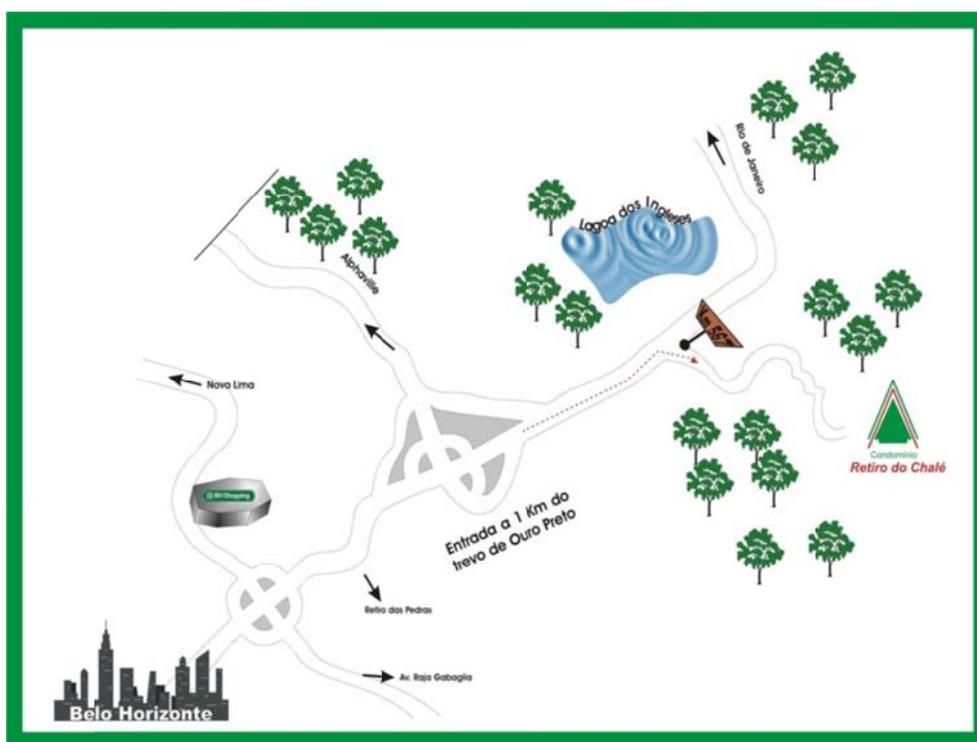


Figura 6: Mapa de acesso ao condomínio.

Fonte: www.retirodochale.com.br, 2012.

6.2 Histórico de implantação do Condomínio Retiro do Chalé

Em 1970 iniciou-se a ocupação da área do condomínio, que tinha como atrativo uma beleza natural e a proximidade com a capital. Devido aos atrativos, houve um acréscimo no número de residências de alto padrão econômico, apesar da dificuldade de acesso ao local.

Segundo informações adquiridas junto à administração do condomínio, os moradores que ali começaram a residir, se reuniram com a ideia de se criar um condomínio fechado de alto luxo, tendo em vista o grande potencial do empreendimento. A planta inicial do loteamento do condomínio foi aprovada pela prefeitura municipal de Brumadinho em 1980. Já o alvará de construção só foi concedido em 1982, quando se realizou a primeira Assembleia Geral Ordinária do Condomínio Retiro do Chalé. A figura 7 mostra a atual ocupação do Condomínio com sua área delimitada pela linha vermelha.



Figura 7: Imagem de satélite do Condomínio Retiro do Chalé com sua área delimitada

Fonte: Google maps, modificado em 2012

6.3 *Levantamento de dados primários*

O condomínio abrange uma área total de 3.500.000 m², sendo essa área dividida da seguinte forma: 64,5 % é ocupada por casas e lotes vagos; 23 % é denominada “área verde”, onde é feita a preservação da Mata Atlântica e Cerrado e o restante da é composta por sedes administrativas, um clube e sistemas viários. Para proteger e preservar esses biomas em suas formas naturais o condomínio conta com um regimento interno que estabelece normas e diretrizes para as construções de suas edificações.

A capacidade de ocupação do condomínio é de no máximo 850 residências, sendo que cerca de 88% já está ocupada, contando com uma população residente em torno de 1.000 habitantes. Cabe ressaltar que há um grande número de população flutuante, entre eles funcionários das residências e do condomínio, além de visitantes que frequentam o local durante os finais de semana. Estima-se que quando houver a ocupação de todos os lotes a população flutuante poderá chegar a 3.000 pessoas.

O condomínio conta com duas nascentes, denominadas Mãe D’água e Valente, e um córrego, com a denominação de Córrego Valente. Este córrego possui um trecho canalizado, submerso à superfície do terreno, que deságua na principal lagoa do condomínio. Essa lagoa tem somente a função paisagística, já que o condomínio não permite o uso para recreação ou lazer.

7 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A concepção eleita para o sistema de tratamento dos esgotos sanitários (ETE) do Condomínio Retiro do Chalé é a seguinte: tratamento preliminar composto de gradeamento e desarenação; tratamento secundário constituído de um reator UASB e pós-tratamento com uma lagoa facultativa. A escolha desse sistema se deu pela maior simplicidade operacional, não demanda grandes áreas quando comparado com decantadores primários e as outras tipologias de lagoas e não há necessidade da utilização de aeração mecânica.

O efluente gerado será conduzido para o corpo receptor que é o Córrego Valente. O lodo gerado pelo reator UASB será desaguado em leito de secagem. A concepção proposta está representada na figura 8.

Os resíduos gerados na ETE serão constituídos das seguintes parcelas:

- sólidos retidos no gradeamento;
- areia removida no desarenador;
- lodo biológico estabilizado e desaguado.

Esses resíduos gerados serão acondicionados adequadamente e enviados ao aterro sanitário.

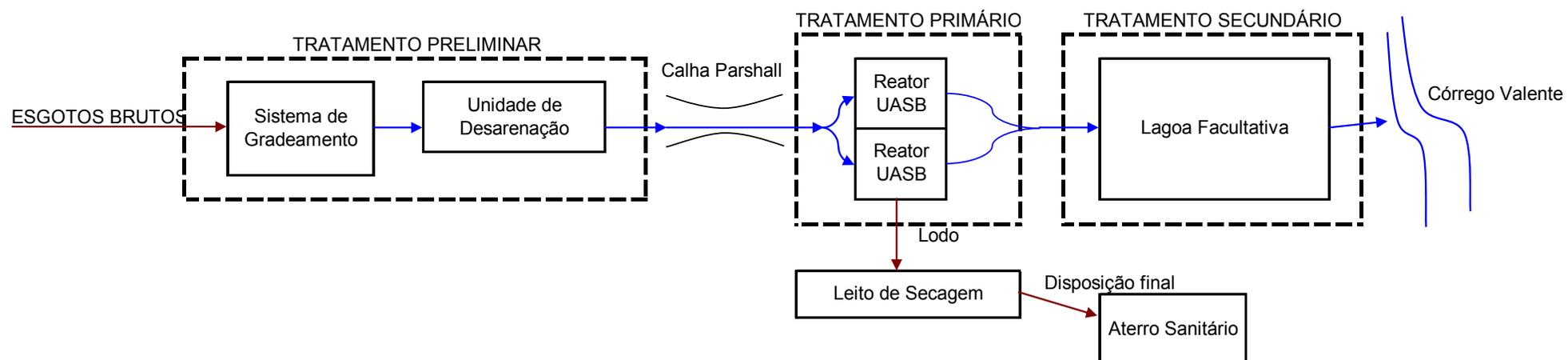


Figura 8: Fluxograma da concepção de tratamento

8 DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES COMPONENTES DO SISTEMA DE TRATAMENTO

A caracterização quantitativa e qualitativa dos esgotos foi realizada com base nos dados fornecidos pela direção do Condomínio Retiro do Chalé referentes às famílias residentes, aos loteamentos para expansão e à população flutuante. No dimensionamento das unidades foram utilizados parâmetros típicos da literatura.

Dados:

População residente: 1.000 habitantes

População de expansão: 500 habitantes

População flutuante: 3.000 habitantes

Carga per-capita DBO₅: 54g/hab.dia

Carga per-capita sólidos suspensão (SS): 60g/hab.dia

Consumo per-capita de água: 160L/hab.dia

Coefficiente de retorno: 0,8

Padrão de DBO₅ para lançamento em corpo receptor: 60mg/L

População total: 4500 habitantes

- Cálculo da vazão do condomínio:

$$Q_{med} = \frac{C.P.q}{86400} \text{ l/s}$$

$$Q_{méd} = \frac{4500.160.0,80}{1000} = 576 \text{ m}^3/\text{dia ou } 6,7\text{l/s}$$

$$Q_{máx} = k1.k2.q_{med}$$

$$Q_{max} = 1,2.1,5.576 = 1036,8 \text{ m}^3/\text{dia ou } 12\text{l/s}$$

$$Q_{mín} = k3.q_{med}$$

$$Q_{min} = 0,5.576 = 288 \text{ m}^3/\text{dia ou } 3,4\text{l/s}$$

- Cálculo da carga de DBO e SS:

$$Carga\ DBO = \frac{Pop.\ (hab) \times Percapita\ (g/hab.\ dia)}{1000}$$

$$Carga\ DBO = \frac{4500 \times 54}{1000} = 243\ kg/dia$$

$$Carga\ SS = \frac{Pop.\ (hab) \times Percapita\ (g/hab.\ dia)}{1000}$$

$$Carga\ SS = \frac{4500 \times 60}{1000} = 270\ kg/dia$$

- Concentração da DBOs:

$$\frac{Carga\ (kg/dia) \times 1000\ (g/kg)}{Q\ (m^3.\ dia)}$$

$$\frac{243\ (kg/dia) \times 1000\ (g/kg)}{576\ (m^3.\ dia)} = 422\ mg/l$$

8.1 Gradeamento

O gradeamento é a 1ª unidade do sistema de tratamento de efluentes proposto para o Condomínio Retiro do Chalé. Para efeito de dimensionamento optou-se pela utilização de grade média com espaçamento de 30mm e dimensões de 3/8" x 1.1/2". Os desenhos da unidade encontram-se no anexo II. A seguir é apresentada a memória de cálculo.

- Fixação da velocidade dos esgotos através da grade: $V_{mín} = 0,60\ m/s$ e $V_{máx} = 1,00\ m/s$. A velocidade máxima fixada no canal é de $0,90\ m/s$.

- Cálculo da área útil (Au):

$$Au = \frac{Q}{V}$$

$$Au = \frac{0,012m^3/s}{0,9m/s} = 0,013m^2$$

- Determinação da eficiência da grade (E):

$$E = \frac{a}{a + t}$$

$$E = \frac{30 \text{ mm}}{30\text{mm} + 9,5\text{mm}} = 0,76 = 76\%$$

Onde:

E= eficiência

A= espaçamento

T= espessura

- Cálculo da área total ou seção de escoamento (S):

$$S = \frac{Au}{E}$$

$$S = \frac{0,013}{0,76} = 0,017 \text{ m}^2$$

- Cálculo da altura das lâminas d' água no canal de gradeamento.

As lâminas d' água foram determinadas a partir do vertedor Parshall instalado após a caixa de areia. Para as vazões do projeto, o vertedor Parshall adequado é o de 3" ou 7,6 cm, cuja vazão mínima é de 0,85 L/s e a vazão máxima de 53,8 L/s.

Cálculo:

$$H^n = \frac{Q}{k}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

Coefficiente K= 0, 176

Expoente n= 1, 547

H = altura da lâmina d'água (m)

$$H_{m\acute{a}x}^{1,547} = \frac{0,012}{0,176} \rightarrow H_{m\acute{a}x} = 0,18m$$

$$H_{m\acute{e}d}^{1,547} = \frac{0,0067}{0,176} \rightarrow H_{m\acute{e}d} = 0,12m$$

$$H_{m\acute{i}n}^{1,547} = \frac{0,0034}{0,176} \rightarrow H_{m\acute{i}n} = 0,08m$$

Para garantir velocidades constantes dos esgotos no canal de entrada, a calha Parshall será instalada com um rebaixo Z em relação ao fundo do canal:

$$Z = \frac{Q_{m\acute{a}x} \cdot H_{m\acute{i}n} - Q_{m\acute{i}n} \cdot H_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}}$$

$$Z = \frac{0,012 \cdot 0,08 - 0,0034 \cdot 0,18}{0,012 - 0,0034} = 0,040m$$

$$H_{\text{máx}} - Z \rightarrow 0,18 - 0,040 = 0,14m$$

$$H_{\text{méd}} - Z \rightarrow 0,12 - 0,040 = 0,08m$$

$$H_{\text{mín}} - Z \rightarrow 0,08 - 0,040 = 0,04m$$

- Cálculo da largura do canal da grade (b):

$$b = \frac{S}{H}$$

$$b = \frac{0,017}{0,14} = 0,12 m$$

A partir do cálculo adotou-se 0,15m para execução do projeto.

- Verificação das velocidades para Q_{máx}, Q_{méd} e Q_{mín}:

Tabela 2 – Verificação das velocidades dos esgotos através das grades

| Vazão (m³/d) | H-Z(m) | S=b.(H-Z) (m³) | Au= S.E(m²) | V= Q/Au (m/s) | |
|--------------|--------|----------------|-------------|---------------|----------|
| 0,012 | 0,14 | 0,021 | 0,016 | 0,75 | (Atende) |
| 0,0067 | 0,08 | 0,012 | 0,009 | 0,73 | (Atende) |
| 0,0034 | 0,04 | 0,006 | 0,005 | 0,75 | (Atende) |

Fonte: O autor, 2012

- Perda de carga na grade:

$$H_f = \frac{1,43 (V^2 - v^2)}{2g}$$

Onde:

H_f = perda de carga m

V = velocidade entre as barras m/s

v = velocidade à montante da grade m/s

g = gravidade

Grade Limpa:

$$H_f = \frac{1,43 \left(0,75^2 - \left(\frac{0,012}{0,021} \right)^2 \right)}{2,9,81} = 0,017m$$

Grade 50% suja:

$$H_f = \frac{1,43 \left(1,5^2 - \left(\frac{0,012}{0,021} \right)^2 \right)}{2,9,81} = 0,14m$$

- N° estimado de barras:

$$N = \frac{b}{a + t}$$

$$N = \frac{150mm}{30 + 9,5} = 3,79$$

Foram adotadas 4 barras para execução do projeto.

- Espaçamento entre barras externas e as paredes do canal:

$$E = b - [n \cdot t + (n - 1) \cdot a]$$

$$E = 15 - [4 \cdot 0,95 + (4 - 1) \cdot 3] = 2,20cm$$

Considerou-se no projeto um espaçamento entre barras de 3,0cm.

- Estimativa do material gradeado:

A estimativa de material gradeado para esgotos sanitário é de 10 a 25 litros/1000m³.

Seja 20L/1.000m³:

$$\frac{20 \times 576}{1000} = 11,52 \text{ l/dia}$$

8.2 Caixa de areia

A seguir é apresentada a memória de cálculo:

- Velocidade recomendável no canal de desarenação ($0,15\text{m/s} \leq v \leq 0,30\text{m/s}$), segundo NBR 12209:

Para efeito de cálculo, fixou-se a velocidade em 0,30 m/s.

- Largura da caixa de areia (b):

Conhecida a altura da lâmina d'água no canal, determina-se a sua largura (b) de modo a atender a velocidade de fluxo.

$$b = \frac{Q}{(H - Z) \cdot V}$$

$$b = \frac{0,012}{0,14 \cdot 0,30} = 0,29\text{m}$$

Adotou-se para o canal uma largura de 0,30m.

- Verificação das velocidades no canal, $Q_{m\acute{a}x}$, $Q_{m\acute{e}d}$ e $Q_{m\acute{i}n}$:

Tabela 3 – Verificação das velocidades dos esgotos na caixa de areia

| Vazão (m ³ /d) | H(m) | H-Z(m) | b(m) | S= (H-Z).b (m ²) | V=Q/S (m/s) | |
|---------------------------|------|--------|------|------------------------------|-------------|----------|
| 0,012 | 0,18 | 0,14 | 0,30 | 0,042 | 0,29 | (Atende) |
| 0,0067 | 0,12 | 0,08 | 0,30 | 0,024 | 0,28 | (Atende) |
| 0,0034 | 0,08 | 0,04 | 0,30 | 0,012 | 0,28 | (Atende) |

Fonte: O autor, 2012.

- Comprimento do canal de desarenação(L):

O comprimento do canal tem que ser maior ou igual a 25 vezes a altura da lâmina d' água. Assim tem-se:

$$L = 25 \cdot 0,14 = 3,50m$$

- Taxa de aplicação superficial (TAS):

$$TAS = \frac{Q(m^3/dia)}{A_{sup}(m^2)}$$

$$TAS = \frac{1036,8}{0,30 \cdot 3,50} = 987,43 m^3/m^2dia$$

A norma brasileira, NBR 12209, define que a TAS nas caixas de areia deve estar entre 600 e 1000 m³/m²dia para a vazão máxima.

- Estimativa do volume de areia removido:

Para esgotos sanitários normalmente estima-se cerca de 30L de areia removida para cada 1000m³ de esgoto tratado.

$$\frac{30 \cdot 576}{1000} = 17,3 \text{ l/dia}$$

- Cálculo da altura do depósito de areia:

Adotando-se uma limpeza da caixa de areia de 15 em 15 dias. Tem-se:

$$V = 17,3 \cdot 15 = 260 \text{ l ou } 0,26 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{V}{b \cdot L}$$

$$H = \frac{0,26}{0,30 \cdot 3,5} = 0,25 \text{ m}$$

As dimensões calculadas para as unidades de tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia) podem ser visualizadas em planta e corte no desenho contido no ANEXO 2 e seus detalhes no ANEXO 3. As unidades de medida dos desenhos estão representadas em milímetros.

8.3 Reator UASB (*up-flow anaerobic sludge blanket*)

O reator UASB foi calculado considerando as informações do condomínio e os parâmetros constantes da literatura. Para esgotos sanitários (grande vazões/ baixas concentrações de DBO) a carga orgânica volumétrica não é limitante (em geral < 2,0 – 3,0 kg DQO m³/dia), assim o critério que se utiliza é o da carga hidráulica volumétrica.

Dados:

Profundidade útil (h): 5.0m

Cota per-capita: 160L/hab.dia

Qmáx: 1.036 m³/dia ou 43,2 m³/h

Qméd: 576 m³/dia ou 24 m³/h

Tempo de detenção (Θ): 8 horas

Forma do reator UASB: cilíndrico

Número de unidades: 2

- Carga hidráulica volumétrica (CHV):

$$CHV = \frac{1}{\Theta} \cdot Q$$

$$CHV = \frac{1}{8} \cdot 24 = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{dia}$$

A carga hidráulica volumétrica está de acordo com a recomendação da literatura, menor ou igual a 5m³/m³.dia.

- Cálculo do volume:

$$V = Q \cdot \Theta$$

$$V = 24 \cdot 8 = 192 \text{ m}^3$$

- Cálculo das dimensões (L);

Em vista que serão 2 reatores, tem-se:

$$\frac{V}{2} = \frac{192}{2} = 96 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{V}{h} \rightarrow A = \frac{96}{5} = 19,2m^2$$

A partir do cálculo, será adotado dois tanques com os diâmetros de 5,0m para os reatores UASB. Com essa medida o novo volume de cada reator UASB será de 98,17m³ e a área em planta será de 19,63m².

- Velocidade ascensional (v):

Segundo a literatura:

Para Q_{méd}: 0,50 ≤ v ≤ 0,70 m/h

Para Q_{máx} : 0,90 ≤ v ≤ 1,10 m/h

$$vméd = \frac{Qméd/2}{A} \rightarrow vméd = \frac{24/2}{19,63} = 0,61m/h$$

$$vmáx = \frac{Qmáx/2}{A} \rightarrow vméd = \frac{43,2/2}{19,63} = 1,10m/h$$

- Eficiência:

A eficiência do reator UASB em termos de remoção de DBO e DQO é estimada através da seguinte fórmula:

$$E_{DQO} = 100 \cdot [1 - (0,68 \times TDH^{-0,35})]$$

$$E_{DQO} = 100 \cdot [1 - (0,68 \times 8^{-0,35})] \rightarrow E_{DQO} = E 67\%$$

$$E_{DBO} = 100 \cdot [1 - (0,7 \times TDH^{-0,3})]$$

$$E_{DBO} = 100 \cdot [1 - (0,7 \times 8^{-0,3})] \rightarrow E_{DQO} = E 75\%$$

- Produção de lodo:

Adota-se 15g/hab.dia para produção de lodo, portanto haverá a produção de 67,5kg/dia.

$$\frac{15 \times 4500}{1000} = 67,5 \text{ kg/dia}$$

Os reatores UASB estão representados em planta e corte no ANEXO 2 e em detalhe no ANEXO 3.

8.4 Leito de secagem

O dimensionamento do leito de secagem é feito em função dos seguintes parâmetros:

- produção de lodo;
- teor de sólidos (SST) do lodo aplicado no leito;
- período de secagem para obtenção do teor de sólidos desejados;
- altura (espessura) do lodo no momento de descarga no leito.

Volume do lodo (V):

De posse do valor da massa diária e da concentração do lodo, determina-se o volume de lodo gerado no reator por dia de tratamento, considerando a concentração do lodo removido igual a 4%.

$$V = \frac{M}{1000 \cdot C} = \frac{67,5}{1000 \cdot 0,04} = 1,70 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Sendo:

M – massa de lodo (Kg.SST/dia)

C – concentração do lodo removido do reator UASB

V - Volume gerado por ciclo (V):

- período estimado de secagem do lodo: 20 dias;
- período estimado de limpeza do leito: 5 dias
- ciclo de operação resultante: 25 dias.

$$V = 1,70 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 25 \text{ dias} = 42,5 \text{ m}^3$$

Área do leito de secagem (A):

Determinado o volume total do leito, determina-se a sua área levando em consideração uma altura de carregamento de 0,30m.

$$A = \frac{V}{H} \rightarrow \frac{42,5\text{m}^3}{0,30\text{m}} = 141,7\text{m}^2$$

Taxa de aplicação dos sólidos:

De acordo com a Norma Brasileira NBR 12209, a taxa de aplicação dos sólidos deve ser de até 15 Kg.SST/m².dia.

$$\text{Taxa} = \frac{M}{A} \rightarrow \frac{67,5\text{kg}/\text{dia} \cdot 25 \text{ dias}}{141,7\text{m}^2} = 12\text{kg.SST}/\text{m}^2.\text{dia}$$

Sendo:

M – massa de lodo x n° de dias do ciclo

A – Área do leito

Dimensões do leito:

O leito de secagem será composto por 4 câmaras de 6mx6m. Adotou-se essas medidas devido ao formato do terreno onde será implantada a ETE.

Os leitos de secagem estão representados em planta no ANEXO 2 e em detalhe no ANEXO 3.

8.5 Lagoa facultativa

Os esgotos sanitários após o tratamento nos reatores UASB serão encaminhados a uma lagoa facultativa para uma remoção adicional de matéria orgânica.

Dados:

Carga de DBO: 243 kg/dia

Concentração da DBO₅: 422 mg/L

Vazão média: 576.800 L/dia

Profundidade definida: 2 m

TAS para condições de inverno e insolação moderada: 200 kg.DBO/ha.dia

Considerando 70% de eficiência média para remoção de DBO do reator UASB, a carga de DBO que será tratada na lagoa é:

$$0,30 \cdot 243 \text{ kg/dia} = 73 \text{ kg/dia}$$

- *Cálculo da área (A):*

$$A = \frac{q}{TAS} \rightarrow \frac{73}{200} \rightarrow A = 0,37ha \text{ ou } 3700m^2$$

Onde:

A = área

q = carga de DBO a ser tratada

TAS = taxa de aplicação superficial

Dimensões adotadas para a lagoa são 65m de comprimento e 57m de largura:

$$L . b = A \rightarrow 65m . 57m = 3705m^2$$

- *Cálculo do volume (V):*

$$V = A . h \rightarrow 3705m^2 . 2m = 7410m^3$$

- *Tempo de detenção (Θ):*

$$\Theta = \frac{V}{Q} \rightarrow \frac{7410m^3}{576.8m^3/dia} = 13 \text{ dias}$$

Essas dimensões foram adotadas para atender as delimitações do terreno designado para a área da ETE.

A lagoa facultativa pode ser visualizada em planta e corte no ANEXO 2 e me detalhe no ANEXO 3..

9 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs o tratamento coletivo dos esgotos sanitários do Condomínio Retiro do Chalé, em substituição a solução individual já implantada no local.

A solução coletiva trará vários benefícios, entre eles: as unidades de tratamento serão operadas por profissionais qualificados e a manutenção do sistema deixará de ser responsabilidade dos condôminos.

Para instalação do tratamento proposto haverá a necessidade de projetar e construir toda a rede de coleta e distribuição dos esgotos sanitários. Entretanto, este trabalho visa apenas à proposição de uma estação de tratamento de esgotos, ficando a cargo do condomínio a contratação de outro projeto para direcionamento dos efluentes até a ETE.

Para certificar que o esgoto tratado não comprometerá a qualidade das águas deste corpo receptor e, conseqüentemente, a lagoa em que o córrego deságua, deverá ser realizado um estudo de autodepuração.

Considerando que os residentes do condomínio Retiro do Chalé já possuem uma consciência ambiental aprimorada, a adoção deste sistema de tratamento contribuirá para a preservação dos recursos naturais da área, colaborando também, para uma melhoria da qualidade de vida da população residente.

Com essas medidas espera-se que os condôminos fiquem satisfeitos por transferirem a responsabilidade de manutenção e operação dos equipamentos para profissionais especializados, eliminando a preocupação com o tratamento individual.

REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, c.2007. ((Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; 5));

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GOOGLE. Google mapas. Disponível em <<http://maps.google.com.br/>>
Acesso em: 14 jan. 2012.

LETTINGA, g., HULSHOFF POL, L. M. (1991). **Uasb-process design for various types of wastewaters**, *Water Science Tech.*, 24, 87-107.

KOOIJMANS, J. L., LETTINGA, G., VAN VELSEN, A. F. M. (1986). **Application of the UASB process treatment of domestic sewage under sub-tropical conditions: the Cali case, Anaerobic treatment: a growup technology** - EWPCA Conference, Amsterdam, The Netherlands, p. 4237-4360

RETIRO DO CHALÉ. Condomínio retiro do chalé. Disponível em <<http://www.retirodochale.com.br/>>.
Acesso em: 15 jan. 2012.

SAEE-ARACRUZ. Sistema de tratamento de esgoto. Disponível em <<http://saaeara.com.br/arquivo/2006/Tratamento%20de%20Esgoto.pdf>>.
Acesso em: 25 out. 2012.

SÉCULOS EMPREENDIMENTOS GERAIS. Mapa de identificação de unidades. Acervo do Condomínio Retiro do Chalé.
Acesso em 10 jan 2012.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, c.2005. ((Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; 5));

VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. (1994). *Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente*, Epgraf, Campina Grande, 240 p.

VIVA NO RETIRO. Mapa do condomínio retiro do chalé. Disponível em
<<http://www.vivanoretiro.com.br/mapa.html> >.
Acesso em: 15 jan. 2012.

ANEXOS

ANEXO 01

ANEXO 02

ANEXO 03