

DIMENSIONAMENTO COMPARATIVO LAGOAS VERSUS WETLANDS PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO EM BAIRRO DE CAMPOS NOVOS, SC

Josué Fabiano Melo*
Elfride Anrain Lindner**

Resumo

No cálculo da contribuição de despejos deve ser considerado 80% do consumo local de água. O esgoto apresenta carga poluente que precisa ser removida por meio de estações de tratamento de esgoto (ETE), antes do lançamento em um corpo d'água receptor. Para subsidiar a escolha entre sistemas de tratamento de esgotos, realizou-se um estudo de viabilidade técnico-econômica aplicado a uma comunidade de baixa renda do município de Campos Novos, SC com 1.800 contribuintes. Os sistemas escolhidos para o estudo foram: Lagoas de Estabilização e Zonas de Raízes – *Wetlands*. O estudo de viabilidade de um sistema de tratamento de esgoto sanitário inclui aspectos relevantes para garantir eficiência, entre eles: área ocupada pela ETE, custo de implantação, potência instalada associada ao consumo de energia, produção de lodo, remoção de nutrientes, confiabilidade no sistema, simplicidade operacional e vida útil. A autarquia Samae dispõe de terreno destinado à implantação da ETE. O dimensionamento de ambos os sistemas indicou que a opção lagoas de estabilização demanda 15.448,26 m² de área para a sua implantação, e para a Zona de Raízes – *wetlands* precisa-se de 1.625,52 m². O quesito área tornou inviável a opção de lagoas de estabilização. Outro fator positivo para a escolha das *wetlands* é a ausência de odores desagradáveis, pois as plantas atuam como filtros. As vantagens do sistema *wetlands* resultam de um tratamento basicamente biológico sem o uso de energia, agentes químicos ou equipamentos mecânicos. Para o local, concluiu-se que o sistema mais viável contempla: tratamento preliminar, um tanque séptico de duas câmaras (18,00 m x 7,00 m x 2,80 m), dois filtros anaeróbios (diâmetro 5,50 m x 2,25 m) e quatro unidades de *wetlands* (33,00 m x 11,00 m x 0,70 m). O orçamento do projeto desenvolvido alcançou R\$ 600.000,00.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto. Lagoas de Estabilização. *Wetlands*.

1 INTRODUÇÃO

Da água utilizada em um estabelecimento, 80% retorna ao meio na forma de esgoto, o que deve ser tratado antes do seu lançamento a um corpo d'água receptor.

* Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; josuk10@hotmail.com

** Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina; Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo; Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Professora de Engenharia Civil na Universidade do Oeste de Santa Catarina; elfride.lindner@unoesc.edu.br

O Plano Nacional de Saneamento (IBGE, 2010) aborda o déficit de esgotamento e mostra a porcentagem de municípios, por região, dotados de rede coletora de esgotos: Sudeste, 95,1%; Nordeste, 45,7%; Sul, 39,7%; Centro-Oeste, 28,3% e Norte, 13,4%. Apenas 28,5% dos municípios brasileiros fazem tratamento de seu esgoto, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos. Mesmo na Região Sudeste, onde 95,1% dos municípios possuíam coleta de esgoto, menos da metade destes (48,4%) faz o tratamento adequado para a destinação final do efluente.

O Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Campos Novos (Samae/CN), autarquia responsável pelo tratamento de esgotos do município, planeja ampliar o seu atendimento. Assim, justifica-se o presente estudo de sistemas de tratamento para balizar a escolha da concepção mais apropriada ao sistema de tratamento de esgoto para determinada comunidade.

O objetivo geral consiste em realizar estudo de viabilidade técnico-econômica indicando a melhor opção para o tratamento de esgoto em uma comunidade do município de Campos Novos, SC. Os objetivos específicos incluem: estudar a viabilidade dos sistemas inicialmente propostos; apresentar as peculiaridades de cada sistema incluindo manutenção, operação e aspectos construtivos e avaliar a opção mais vantajosa economicamente entre os sistemas de tratamento estudados visando a sua implantação pelo Samae/CN, apresentando orçamento e cronograma.

2 TECNOLOGIA PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Em Engenharia e Projetos (2012), os fatores que influenciam na escolha do sistema a ser adotado para a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) são identificados: área disponível para implantação; topografia do local e das bacias de drenagem e esgotamento sanitário; volumes diários a serem tratados e variações horárias e sazonais da vazão de esgotos; características do corpo receptor de esgotos tratados; disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema; disponibilidade e custos operacionais de consumo de energia elétrica; clima e variações de temperatura da região; disponibilidade de locais e/ou sistemas de reaproveitamento e/ou disposição adequados dos resíduos gerados pela ETE.

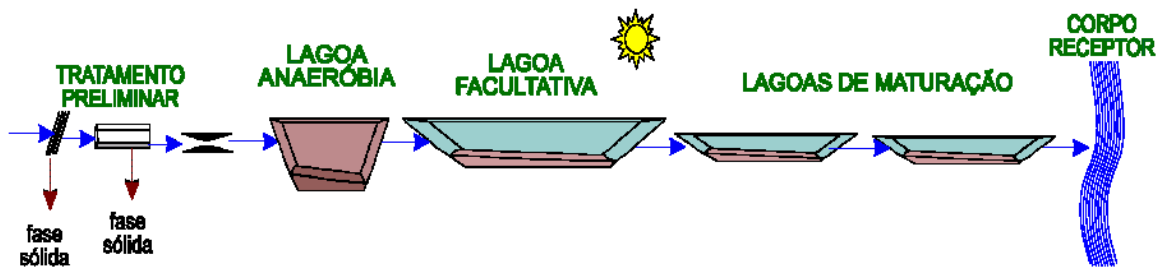
2.1 SISTEMA DE LAGOAS ANAERÓBIAS SEGUIDAS POR LAGOAS FACULTATIVAS

O sistema de tratamento de esgoto, constituído por lagoas anaeróbias (LA) seguidas por lagoas facultativas (LF), é conhecido como sistema australiano. As lagoas anaeróbias são normalmente profundas, e a profundidade tem a finalidade de impedir que o oxigênio produzido pela camada superficial seja transmitido às camadas inferiores. Para garantir as condições de anaerobiose é lançada uma grande quantidade de efluente por unidade de volume da lagoa. Com isso, o consumo de oxigênio será superior ao repostado pelas camadas superficiais. Como a superfície da lagoa é pequena, comparada com sua profundidade, o oxigênio produzido pelas algas e o proveniente da reaeração atmosférica são considerados desprezíveis. No processo anaeróbio, a decomposição da matéria orgânica gera subprodutos de alto poder energético (biogás) e, dessa

forma, a disponibilidade de energia para a reprodução e metabolismo das bactérias é menor que no processo aeróbio (PIVELLI, 2003).

A eficiência de remoção de DBO por uma lagoa anaeróbia é da ordem de 50% a 60%. Como a DBO efluente é ainda elevada, necessita-se de outra unidade de tratamento. Adota-se uma lagoa facultativa que necessitará de área menor em razão do pré-tratamento do esgoto pela lagoa anaeróbia. O conjunto lagoa anaeróbia + lagoa facultativa economiza cerca de 1/3 da área ocupada, comparando-se à uma lagoa facultativa apenas como unidade única para tratar a mesma quantidade de esgoto. Na lagoa anaeróbia, maus odores, provenientes da liberação de gás sulfídrico, podem ocorrer como consequência de problemas operacionais, recomendando-se a sua localização em áreas afastadas, longe de bairros residenciais (VON SPERLING, 1996). O sistema australiano pode ser seguido de lagoa de maturação (LM) com o objetivo de elevar as eficiências de remoção de organismos patogênicos (Fluxograma 1)

Fluxograma 1 – Fluxograma do processo de lagoas em série (LA+ LF +LM)



Fonte: Von Sperling (1996).

Para Victoretti (1973 apud KLÜSENER, 2006 p. 30) a temperatura é um dos fatores mais importantes, senão o principal, no desenvolvimento do processo de tratamento dos esgotos em lagoas de estabilização. Todos os fenômenos que ocorrem nesse processo físico, químico ou biológico são afetados pela variação da temperatura ambiente. Desse modo, a temperatura se relaciona com a radiação solar e afeta tanto a velocidade da fotossíntese quanto a do metabolismo das bactérias responsáveis pela depuração dos esgotos. A atividade biológica decresce à medida que cai a temperatura, podendo-se grosseiramente prever que uma queda de 10 °C na temperatura reduzirá a atividade microbiológica à metade (KLÜSENER, 2006).

2.1.2 Critérios de dimensionamento das lagoas facultativas

Os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são: tempo de detenção hidráulico, taxa de aplicação superficial e profundidade (VON SPERLING, 1996).

O tempo de detenção é o tempo necessário para que os microorganismos procedam à estabilização da matéria orgânica no reator (lagoa). O tempo de detenção se relaciona, à atividade das bactérias. A taxa de aplicação superficial se baseia na disponibilidade de determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra. Assim, garantindo a fotossíntese e, indiretamente, o crescimento das algas, ocorre a produção de oxigênio, que é suficiente para suprir a demanda. Desse modo, o critério da taxa de aplicação superficial é baseado

na necessidade de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica, correlacionado à atividade das algas (KLÜSENER, 2006 p. 36).

2.2 ZONA DE RAIZES – *WETLANDS*

O sistema por zonas de raízes consiste na introdução de plantas para o tratamento de águas residuais. A degradação das substâncias poluidoras presentes no esgoto ocorre por meio da simbiose solo e/ou substrato artificial e microorganismos (SILVA, 2008). A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato por intermédio de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microorganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água. Os sistemas com plantas são eficientes porque o processo de degradação da matéria orgânica (mineralização, nitrificação, desnitrificação) é muito completo, em razão da grande presença de biomassa. Além da carga orgânica, também são removidos nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio, que levam à eutrofização das águas; patógenos como coliformes, e substâncias inorgânicas como fenóis e metais pesados.

No Brasil, essa modalidade de tratamento também recebe denominações, como áreas alagadas construídas, zona de raízes, leitos cultivados, sistemas alagados construídos (SACs) e banhados construídos. Tem como principal característica o uso de meios saturados ou mesmo inundados pela água. As condições de clima tropical são favoráveis, pois a temperatura média mais alta aumenta a atividade microbiológica (TONIATO, 2005, p. 14). Em Belém do Pará, uma ETE utilizando zona de raízes atende a uma população de 13.000 habitantes tratando a vazão de 67 L/s.

Em Santa Catarina, Platzer, Hoffmann e Cardia (2007) dimensionaram 15 sistemas *wetlands* implantados para 5 a 2.200 habitantes. O sistema apresenta simplicidade na operação e altíssimo grau de flexibilidade contra períodos sem utilização ou com uma sobrecarga significativa. Em um loteamento foi escolhido o sistema *wetland* para 2.200 habitantes pela simplicidade, podendo ser mantido pelos funcionários do condomínio e com baixos custos de implantação e operação. Os clientes gostam do potencial de paisagismo ambiental em forma de jardins ou parques que os *wetlands* oferecem.

No município de Gaspar, SC um sistema *wetlands* atende 600 pessoas em um bairro carente do município (LINDNER, 2010). O engenheiro responsável pelo projeto defende a tecnologia por meio de zona de raízes argumentando que a forma mecanizada, com estações de tratamento convencionais, gastam energia elétrica ou combustível fóssil para movimentar as bombas, enquanto que um sistema natural produz biomassa, recicla nutrientes e utiliza apenas a energia solar.

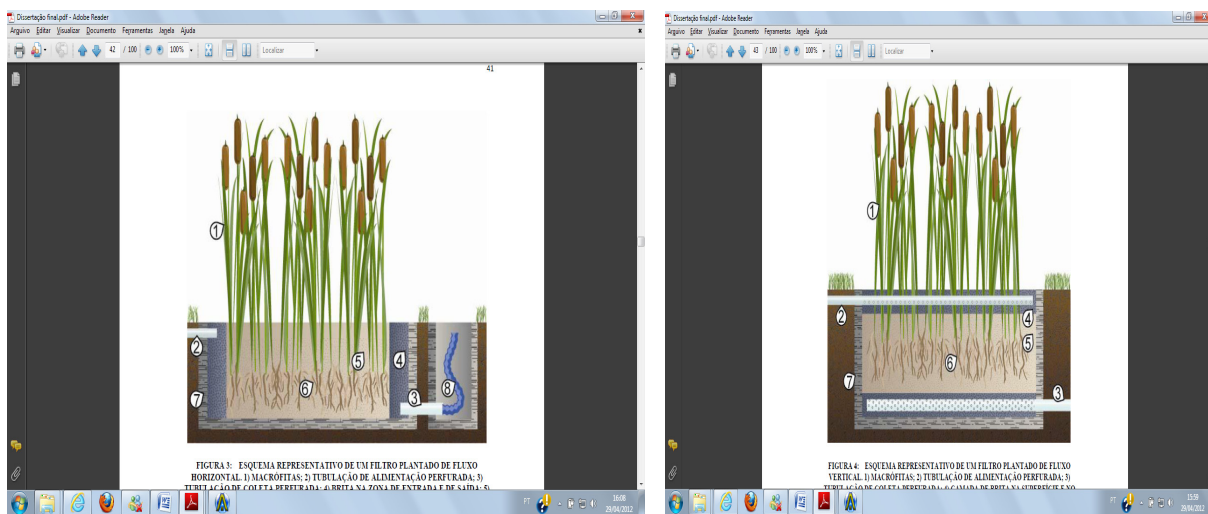
2.2.1 Classificação dos sistemas por zona de raízes – *wetlands*

A classificação do sistema *wetlands* envolve o tipo de planta utilizada, a forma de disposição (flutuantes, submersas, combinadas com materiais filtrantes etc.), além do fluxo do efluente, podendo ser horizontal, vertical, ascendente ou descendente.

Os sistemas *wetlands* de escoamento subsuperficial dispõem de um substrato (material filtrante) composto por camadas de areia, brita e cascalho, além das macrófitas do tipo emergente, cujas raízes são plantadas diretamente nesse recheio (SEZERINO, 2002).

Philippi e Sezerino (2004) explicam que o filtro plantado com macrófitas é de fluxo horizontal quando o esgoto é alimentado na zona de entrada e percola por meio dos poros do material filtrante, em um caminho mais ou menos horizontal até alcançar a zona de saída (Desenho 1a). No fluxo vertical, o efluente é disposto, intermitentemente, sob a superfície do módulo inundando e percolando verticalmente, sendo coletado no fundo por um sistema de drenagem. A distribuição do efluente é feita uniformemente na superfície mediante tubulação perfurada em toda a seção transversal do sistema, em fluxo descendente (Desenho 1b).

Desenho 1 – Esquemas representativos de filtros plantados conforme o fluxo, horizontal ou vertical



(a) *wetland* de fluxo horizontal

(b) *wetland* de fluxo vertical

Fonte: Olijnyk (2008).

As plantas utilizadas nos *wetlands* apresentam em suas raízes, nos rizomas e nos caules, um local de grande crescimento de microrganismos, aumentando, assim, a área que consiste no biofilme (porção de microrganismos fixados no meio-suporte que atua na degradação da matéria orgânica complexa, em elementos mais simples, passíveis de serem assimilados pelas plantas). As plantas têm capacidade de transportar o oxigênio da sua porção aérea (folhas) até as raízes, promovendo condições para a degradação aeróbia da matéria orgânica e transformação de nutrientes. Isso é possível porque estas plantas (de banhados) apresentam aerênquimas, estruturas que permitem a entrada de ar pelas folhas e caules, conduzindo-o até às raízes (WITKOVSKI; VIDAL, 2009, p. 7).

A eficiência dos sistemas *wetlands* construídos no tratamento de esgotos domésticos é afetada por fatores como a temperatura, o pH e o oxigênio dissolvido (SALARO JUNIOR, 2008, p. 33). A variação de temperatura afeta o desempenho dos sistemas *wetlands* construídos. A capacidade de tratamento tende a decair com a redução da temperatura, porém, os teores de matéria orgânica (MO) e sólidos suspensos totais (SST), que são removidos por mecanismos físicos (floculação, precipitação e filtração), são menos afetados.

2.2.2 Vantagens e Desvantagens dos *Wetlands* construídos

Silva (2007, p. 9) compilou referências acerca do sistema *wetlands* construídos. São citadas como vantagens: custos de construção e operação relativamente baixos, fácil manutenção, tolerância às flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes, obtenção de benefícios adicionais, como a criação de espaços verdes, de *habitats* naturais e de áreas recreacionais ou educacionais, dispensa de produtos químicos, equipamentos mecânicos e energia, além da função de filtro das raízes que elimina maus odores. Como desvantagens surgiram problemas com mosquitos, colmatção do leito frilante, necessidade de caracterização precisa do efluente que trata do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas, requerendo um período de início até que a vegetação esteja bem estabelecida (eficiências sazonais).

3 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o levantamento fotográfico da comunidade beneficiada e do local de implantação da ETE para a possível caracterização do local.

Ocorreram reuniões com os responsáveis do Samae (diretor, engenheiro sanitarista e operador de ETE), para o posicionamento da questão. Realizou-se visita na ETE de Campos Novos, que adota o sistema de tratamento de efluentes por meio de lagoas de estabilização, com o propósito de se obter maiores informações sobre este sistema.

O dimensionamento foi elaborado contemplando a concepção de lagoas em série e de *wetlands*, seguindo os parâmetros fornecidos pelo Samae, como vazão de projeto, carga orgânica do afluente, além das NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) e da NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

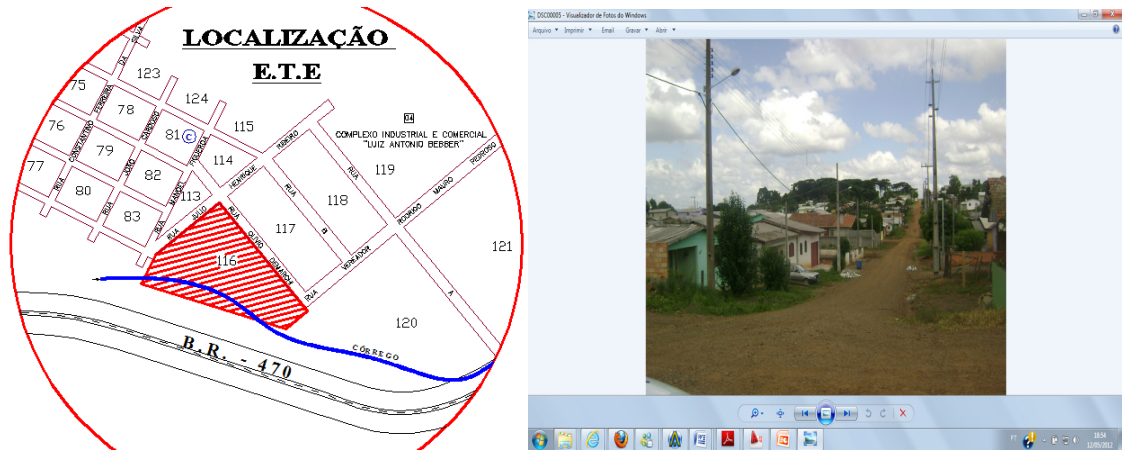
Com base nas normas e no embasamento teórico, foi possível calcular a carga orgânica resultante em todas as unidades de tratamento de ambos os sistemas. Foi calculada a eficiência global do sistema escolhido e realizado o respectivo orçamento e o detalhamento do projeto da concepção escolhida. Para o projeto, necessitou-se do levantamento planialtimétrico do terreno, que foi realizado por profissional especializado cedido pela Amplasc Associação dos Municípios do Planalto Sul de Santa Catarina (Amplasc).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL PARA A ETE

O presente projeto se aplica ao terreno do Samae, localizado no Bairro Nossa Senhora Aparecida, às margens da BR 470 em Campos Novos (Fotografia 1). Quanto ao uso e à ocupação do solo, a área insere-se na Zona de Interesse Industrial II, permitida à atividade “estação de tratamento de esgotos”.

Trata-se da única localidade que não dispõe ainda de coleta e tratamento dos esgotos no município (SAMAЕ, 2012).

Fotografia 1 – Terreno de implantação da ETE, Bairro Nossa Senhora Aparecida, Campos Novos, SC



Fonte: os autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos foram dimensionados considerando as concepções de lagoas de estabilização, sistema australiano mais lagoas de maturação e por meio de *wetlands*. Foram adotados como parâmetros de projeto: população de 1.800 habitantes; carga de DBO de 42 g DBO/d (análises laboratoriais do Samae); vazão média de esgotos de 120 L/(hab.dia) (setor de faturamento do Samae). A carga total de DBO calculada foi de 75,6 kg de DBO por dia. A vazão média total diária resultou em 216 m³.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O dimensionamento do sistema de lagoas de estabilização, sistema australiano seguido de lagoa de maturação, seguiu a metodologia e exemplos numéricos de Pivelli (2003).

4.1.1 Lagoa Anaeróbia

Adotando-se o tempo de detenção hidráulico, com base na vazão média de esgotos, igual a quatro dias, obteve-se o volume útil necessário de lagoa anaeróbia de 864 m³. A profundidade da lagoa anaeróbia varia de 3 a 5 metros, sendo escolhida a 4 m. A área média, à meia profundidade, resultou em 216 m². A relação comprimento/largura foi de $L/W = 2/1$ ($W = 10,40$ m e $L = 20,80$ m). A inclinação dos taludes permitida ao solo argiloso foi de 1(Vertical), deixando uma borda livre de 0,60 m.

A taxa de aplicação volumétrica de DBO (foi calculada pela Equação 1 e a taxa de aplicação superficial de DBO (obtida aplicando-se a Equação 2:

$$\lambda_v = \frac{75,6 \text{ kg DBO/dia}}{864 \text{ m}^3} = \frac{0,088 \text{ kg DBO}}{\text{m}^3 * \text{dia}} \text{ ou } \frac{88 \text{ g DBO}}{\text{m}^3 * \text{dia}} \quad (1)$$

$$\lambda_s = \left(\frac{75,6 \text{ kg DBO}}{\text{dia}} * \frac{10.000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \right) / 24,80\text{m} * 14,40 \text{ m} = \frac{2.116,94 \text{ kg DBO}}{\text{dia}} \quad (2)$$

4.1.2 Lagoas facultativas fotossintéticas

Com a eficiência na remoção de DBO de 50%, a carga de DBO residual para as lagoas facultativas é de 37,8 kg DBO/dia.

Considerando T = 5 °C para o Sul do país, sendo a temperatura média do ar do mês mais frio do ano, obtém-se a taxa aplicação superficial limite de DBO (Equação 3):

$$\lambda_L = 14.T - 40 \qquad \lambda_L = 14 * 5 - 40 = 30 \text{ Kg DBO/ha} * \text{dia} \quad (3)$$

Para as lagoas facultativas, a área mínima necessária é de 1,26 hectares; adotam-se duas lagoas operando em paralelo, a área do espelho de água por lagoa fica em: $A_{L.FAC.} = 0,63 \text{ ha}$. A relação comprimento/largura atendendo às características da área é $L/W = 3/1$, W calculada de 45,85, adotados $W = 46 \text{ m}$ e $L = 138 \text{ m}$. Inclinação dos taludes: 1 (Vertical):1(Horizontal) (solo argiloso); borda livre adotada: 0,60 m. A profundidade varia de 1,5 a 2 metros, adotado 2 m.

4.1.3 Lagoas de Maturação

Adotando-se o tempo de detenção hidráulico de 7 dias, tem-se o volume útil necessário de lagoas de maturação de 1.512 m³. Por ser uma lagoa facultativa, sua profundidade útil deve ser ≤ 1,0 m, valor adotado de 1,0 m. A área total à meia profundidade será de 1.512 m²; adotando 2 lagoas, volume de 756 m³ para cada lagoa. Para a relação comprimento/largura de 5/1, a largura resultante é $W = 12,50 \text{ m}$ e o comprimento, $L = 62,50 \text{ m}$. Em razão do solo argiloso, a inclinação fica de 1V:1H; borda livre adotada: 0,60 m.

As principais dimensões das lagoas anaeróbia (LA), facultativas (LF) e de maturação (LM) resultantes estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Dimensões das lagoas anaeróbia (LA), facultativa fotossintética (LF) e de maturação (LM)

| Dimensão | Comprimento (m) | | | Largura (m) | | |
|-------------------|-----------------|--------|-------|-------------|-------|-------|
| | LA | LF | LM | LA | LF | LM |
| Terreno | 26 | 139,20 | 64,70 | 15,60 | 47,20 | 14,70 |
| Espelho de água | 24,80 | 138 | 63,50 | 14,40 | 46,00 | 13,50 |
| Meia Profundidade | 20,80 | 136 | 62,50 | 10,40 | 44,00 | 12,50 |
| Fundo | 16,80 | 134 | 61,50 | 6,40 | 42,00 | 11,50 |

Fonte: os autores.

4.2 DIMENSIONAMENTO ZONA DE RAÍZES – *WETLANDS*

A opção de tratamento de esgoto por zona de raízes é antecedido pelo tratamento primário composto pelo sistema de tanque séptico e filtro anaeróbio com fluxo ascendente.

4.2.1 Tanque séptico

O volume útil total do tanque séptico calculado segundo a NBR 7229 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) é de 325 m³. Escolhida a profundidade útil de 2,80 m, a área resulta em 116,07 m². Relação L/W de 3:1, obtém-se o comprimento de 18,66 m e a largura de 6,22. Valores adotados de L = 18 m e W = 7 m, com volume resultante de 352,80 m³.

Em decorrência da interferência dos gases na flotação das partículas, optou-se pela divisão do tanque séptico em duas câmaras, melhorando assim a sedimentabilidade do lodo. A entrada do esgoto afluente contará com uma câmara que vai contemplar 2/3 (235,20 m³) do volume total do tanque séptico, seguido por outra câmara menor (1/3 = 117,60 m³). Os comprimentos serão de 12 m (1^a câmara) e de 6 m (2^a câmara).

As câmaras devem se comunicar mediante aberturas com área equivalente a 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas (NBR 7229, ABNT, 1993) A seção vertical útil ($= 7 \times 2,80 = 19,60 \text{ m}^2$); a área necessária das aberturas fica em: 5% de 19,60 m² = 0,98 m². Optou-se por aberturas retangulares com altura e largura de 0,40 e 0,20 m respectivamente, área unitária de 0,08 m². São necessárias 12 aberturas.

4.1.2 Filtro anaeróbio

O volume do filtro anaeróbio (FA), aplicando-se a NBR 13969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) resulta em 115 m³. A altura total do filtro (H) advém da altura do material filtrante ($h_1 = 1,50 \text{ m}$), somada à altura do fundo falso ($h_2 = 0,60 \text{ m}$) e à altura da lâmina livre ($h_3 = 0,15 \text{ m}$) resultando em $H = 2,25 \text{ m}$. A área fica em 51 m². O sistema funciona melhor com o uso de duas unidades (área individual de 25,50 m²), cada FA com diâmetro de 5,70 m.

4.1.3 Sistema Wetlands

Considerando eficiência de remoção de DBO no sistema tanque séptico + filtro anaeróbio de 70%, a concentração afluente ao sistema *wetland* é de 105 mg/L de DBO.

O sistema escolhido foi *wetlands* de fluxo horizontal subsuperficial descrito por Crites e outros (2005 apud DORNELAS, 2008, p. 35-36). As configurações geométricas das unidades foram obtidas calculando-se a área superficial (Equação 4), conhecido o coeficiente K, (Equação 5).

Para o cálculo da área superficial, necessita-se obter o coeficiente de remoção de DBO5 (d^{-1}) a certa temperatura do líquido (°C), (Equação 5), como segue:

$$K = K_{20} * 1,06^{(T-20)} \qquad K = 1,10 * 1,06^{(16-20)} \qquad (4)$$

Em que: K_{20} = coeficiente de remoção de $DBO_{5,20}$ valor sugerido de 1,1 d-1; H_{liq} = altura do líquido no interior do leito filtrante (m), valor adotado 0,70 m, inferior à altura do leito 10 cm, para evitar potencial exposição do efluente na superfície.

A área superficial é obtida se aplicando a Equação 6:

$$As = Q * \left(\ln \frac{Ca}{Ce} \right) / (K * H_{liq} * n) \qquad As = \frac{216 * \left(\ln \frac{105}{30} \right)}{0,87 * 0,70 * 0,35} \qquad (5)$$

Em que: As = área superficial, m^2 ; Q = vazão de projeto, m^3/d ; concentração de DBO_5 , mg/l (Ca = afluente e Ce = efluente desejada, adotou-se o valor de 30 mg DBO/L ; K = coeficiente de remoção de DBO_5 (d^{-1}) a certa temperatura do líquido ($^{\circ}C$), (Equação 4).

A área necessária obtida é $As = 1.269,51 m^2$. Em razão de segurança na funcionalidade do sistema se adotou uma área total de $1.500 m^2$, dividida em 4 unidades de $375,00 m^2$. Cada unidade terá: altura total dos leitos de 0,70 m e altura do líquido nos leitos de 0,50 m. A relação de comprimento, largura adotada de 3:1 resulta nas dimensões de 33 m para o comprimento e 11 m para a largura.

4.1.4 Tempo de detenção hidráulica

O tempo de detenção hidráulica (Td) é obtido por meio da divisão do volume de cada *wetland* pela vazão individual de cada unidade (Equação 6):

$$Td = 0,35 * \frac{0,7m * 11m * 33m}{54 m^3/dia} \qquad Td = 1,65 \text{ dias}/40 \text{ horas} \qquad (6)$$

4.2 ÁREA OCUPADA PELA ETE

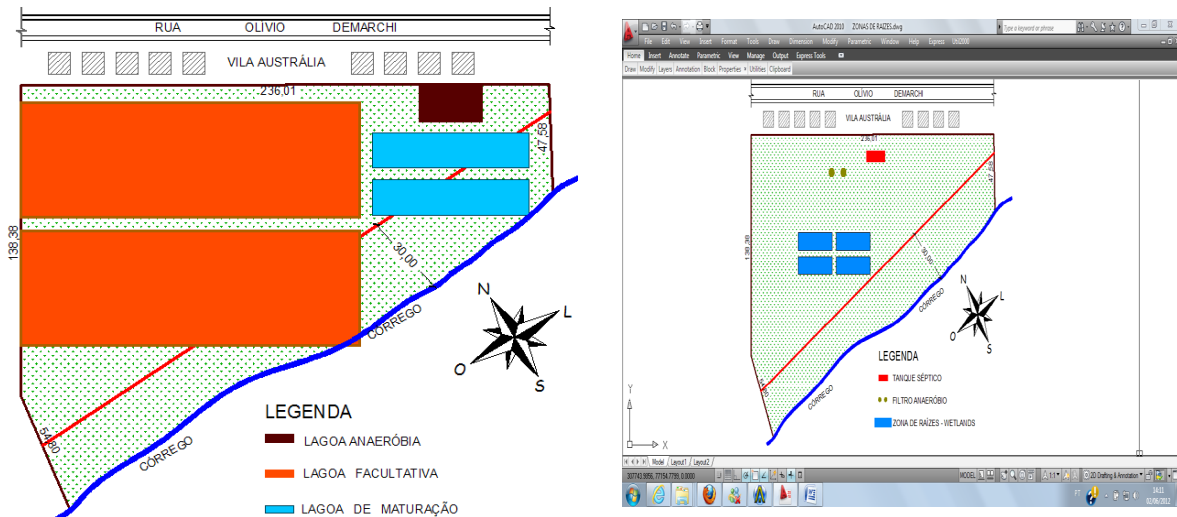
O terreno disponível para a implantação da ETE possui uma área de 2,89 ha. A presença de um rio exige a faixa de 30 metros reservada como Área de Preservação Permanente (APP), de acordo com a Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, Art. 4º (BRASIL, 2012), restando utilizável 2,1 hectares (mapa 1).

Calculadas as áreas necessárias a cada um dos sistemas (Quadro 2), o sistema de lagoas ocuparia 73,5% do terreno (Mapa 8a), enquanto que o sistema zona de raízes exigiria apenas 7,7%, agora visto na projeção da ETE no terreno utilizável (Mapa 8b).

Quadro 2 – Resumo de áreas das lagoas de estabilização e do sistema Zona de Raízes - *Wetlands*

| Qtde. | Descrição | Tamanho no Terreno | Área (m ²) | Área total (m ²) |
|-------|-------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|
| 01 | Lagoa Anaeróbia | 26,00 m x 15,60 m | 405,60 | 15.448,26 |
| 02 | Lagoas Facultativas Fotossintéticas | 139,20 m x 47,20 m | 13.140,48 | |
| 02 | Lagoas de Maturação | 64,70 m x 14,70 m | 1.902,18 | |
| 01 | Tanque Séptico | 18,00 m x 7,00 m | 126,00 | 1.625,52 |
| 02 | Filtro Anaeróbio | Ø 5,50 m | 47,52 | |
| 04 | Zona de Raízes - <i>wetlands</i> | 11,00 m x 33,00 m | 1.452,00 | |

Figura 8 – Projeção da estação de tratamento de esgotos no terreno



a) ETE lagoas em série

b) ETE sistema zona de raízes

Fonte: os autores.

A Prefeitura Municipal de Campos Novos avalia em R\$ 30,00 o metro quadrado (valor venal) para o terreno similar. O Samae é o proprietário do imóvel e a aquisição de área para a opção lagoas em série encareceria a obra. Von Sperling (1996, p. 110) ressalta, “Em áreas urbanas ou de algum elemento de importância o custo do terreno pode ser bastante elevado, conduzindo à necessidade de se adotar soluções mais compactas.”

O autor continua: “As lagoas anaeróbias necessitam de um afastamento mínimo em torno de 500 m das residências mais próximas, em razão da possibilidade de maus odores.” No caso, não é possível respeitar esse afastamento em razão das dimensões do terreno, inviabilizando o tratamento de esgotos desta comunidade por lagoas de estabilização.

O cronograma prevê a implantação do sistema *wetlands* no prazo de seis meses, incluindo as etapas de preparação do terreno (um mês), a construção do tanque séptico e dos filtros anaeróbios (dois meses), da zona de raízes (dois meses) e do plantio de mudas (um mês).

Escolhida a concepção zona de raízes foi realizado o orçamento (MELO, 2012). O sistema de tratamento zona de raízes teria um custo de R\$ 566.984,79, distribuídos em: serviços preliminares (7%), preparo das valas (4%), tubulação para interligação dos sistemas (4%), gradeamento e desarenador (3%), tanque séptico (25%), filtro anaeróbio (33%) e zona de raízes (24%).

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS

O estudo de alternativas de tratamento de esgotos foi realizado no município de Campos Novos, atendido pela concessionária Samae. Dimensionados dois sistemas, a concepção de tratamento de esgotos, por meio de zona de raízes – *wetlands*, mostrou-se mais viável quando comparada às lagoas de estabilização, por ser compacto e compatível com a área do terreno existente. O sistema de lagoas demandaria aquisição de terreno pelo Samae.

A amplitude térmica, com baixas temperaturas à noite e elevadas temperaturas no decorrer do dia, da região de Campos Novos, SC foi considerada em projeto. A temperatura afeta diretamente os processos físicos, químicos e biológicos e ambas as concepções foram dimensionadas para situação mais desfavorável, ou seja, a temperatura do mês mais frio. Para o sistema zona de raízes, optou-se por uma espécie nativa (Taboa - *typha dominguensis*) que tem seu ciclo adaptado ao clima, assegurando a sobrevivência das plantas na estação mais fria do ano.

As vantagens do sistema de zona de raízes não estão apenas em evitar o despejo direto de esgoto doméstico comprometendo a qualidade das águas receptoras. O tratamento de efluente pelo sistema de zona de raízes traz benefícios, a citar: ser basicamente biológico sem o uso de energia, agentes químicos ou equipamentos mecânicos e, ainda, por não produzir metano, característico de processos anaeróbios, evitando-se maus odores.

No decorrer do tempo, com o crescimento das plantas, aumenta-se a eficiência do tratamento, garantindo a remoção de nutrientes. Em contrapartida as plantas são capazes de triplicarem em torno de 2 meses, o que exige certa manutenção.

O sistema escolhido para uma população de 1.800 habitantes, com geração *per capita* de esgoto na ordem de 120 litros/(pessoa.dia) e contribuição de carga orgânica de 42 g DBO/(pessoa.dia) contempla: tratamento preliminar sendo o gradeamento para a remoção de sólidos grosseiros e o desarenador para a sedimentação das partículas e tanque séptico, formato retangular (18 m * 7,00 m * 2,80 m, área de 126,00 m², volume de 352,80 m³). O tanque é dividido em duas câmaras para melhorar a sedimentação do lodo; 02 filtros anaeróbios, DBO resultante de 175 mg DBO/L, formato cilíndrico, fluxo ascendente, diâmetro 5,50 m, altura de 2,25 m, de fluxo ascendente, (área de 23,76 m², volume de 53,45 m³); 4 unidade de *wetlands*, em formato retangular de 33 m de comprimento por 11 m de largura, altura 0,7 m, (área de 363 m², volume em torno de 254 m³ cada unidade). Concentração de DBO final esperada é de 30 mg DBO/L, obedecendo a legislação ambiental federal e estadual pertinente.

O sistema de tratamento Zona de Raízes – *wetlands* foi orçado em cerca de R\$ 600.000,00 (seiscentos mil reais).

Abstract

It is considered that 80% of the local consumption of water is discharged as sewage. The sewage pollution load needs to be removed by sewage treatment plants, before launching into a receiving water body. To subsidize the choice between sewage treatment systems a technical and economic feasibility study was performed, applied to a low-income community in the municipality of Campos Novos / SC with 1,800 inhabitants. The systems chosen for study were: Stabilization Ponds and Wetlands. The feasibility study of a system for treating wastewater includes relevant aspects to ensure efficiency, including: occupied area, deployment cost, installed power associated with energy consumption, sludge production, nutrient removal, system reliability, operational simplicity and life cycle. The design of both systems indicated that the option stabilization ponds demand 15448.26 m² area for its implementation, and wetlands need 1625.52 m². The stabilization ponds became unviable option due the needed area. Another positive factor for choosing the wetlands is the absence of unpleasant odors because the plants act as filters. The advantages of wetlands resulting from a primarily biological treatment without the use of energy, chemicals or mechanical equipment. To place it is concluded that the viable system includes: preliminary treatment, one septic tank two chambers (18 m x 7 m x 2.80 m), the second anaerobic filters (diameter 5.50 m x 2.25 m) and 4 units of wetlands (33 m x 11 m x 0.70 m). The developed project budget reached R\$ 600,000.00 (six hundred thousand reais).

Keywords: Sewage treatment. Stabilization Ponds. Wetlands.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229 - Projeto, Construção e Operação de sistemas de tanques sépticos.** Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. **Lei 12.651** de 25 de maio de 2012. Congresso Nacional. Brasília, DF, 25 maio 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm >. Acesso em: 23 jun. 2012.

DORNELAS, F. P. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.** 2008. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ENGENHARIA E PROJETOS. **Tecnologia para tratamento de esgotos sanitários.** Monte Santo de Minas, 2012. Disponível em: < http://www.enge.com.br/esgoto_tecnologia.htm >. Acesso em: 26 maio 2012.

IBGE. **Plano Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf >. Acesso em: 26 maio 2012.

KLÜSENER, João Julio. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas**. 2006. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LINDNER, Renan. Quando a natureza é tecnologia. **Jornal Cidadania**, Gaspar, 15 mar. 2010. Disponível em:

<http://www.fundacaobunge.org.br/jornalcidadania/materia.php?id=3960&quando_a_natureza_e_a_tecnologia>. Acesso em: 16 jun. 2012.

MELO, Josué. **Estudo de viabilidade técnico-econômica para o tratamento de esgoto em uma comunidade de Campos Novos, SC**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade do Oeste de Santa Catarina. Joaçaba, 2012.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

OLIJNYK, Débora Parcias. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal: sistemas híbridos**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PLATZER, Christoph; HOFFMANN Heiki, CARDIA Wesley. **O wetland como componente de ECOSAN – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical**. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/ponencias/O%20WETLAND%20COMO%20COMPONENTE%20DE%20ECOSAN.pdf>>. Acesso em: 16 de jun. 2012.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2004.

PIVELLI, Roque Passos. **Tratamento de esgotos sanitários**. Maceió: Centro de Tecnologia, 2012. Disponível em:

<<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA%20-%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTOS.pdf>> Acesso em: 26 maio 2012.

SALARO JUNIOR, Romano. **Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (wetlands) na depuração de efluentes domésticos gerados em pequena comunidade**. 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. Disponível em:

<http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bla/33004064021P7/2008/salarojunior_r_me_botfca.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2012.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Utilização de Biofiltros com Macrófitas (Vertical Constructed Wetlands) como Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização Aplicadas aos Dejetos Suínos**. 2002. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SILVA, Albino Eliseu da. **Tecnologia de Tratamento, Polimento e Reciclagem de Água por Zona de Raízes**. 2008. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=361>. Acesso em: 28 abr. 2012.

SILVA, Selma Cristina da. **“Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** 2007. 205 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)–Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/teses-ptarh/Selma%20Silva.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2012.

TONIATO, João V. **Avaliação de um wetland construída no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil.** 2005. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública)–Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://bvssp.icict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/get.php?id=680>>. Acesso em: 28 abr. 2012.

TSUTIYA, Milton T.; SOBRINHO, Pedro A. **Coleta e Transporte de esgoto sanitário.** 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos de tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WITKOVSKI, Adriane; VIDAL, Carlos Magno de Souza. **Proposição de Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário constituído de Tanque Séptico seguido de Zona de Raízes para ser implementado em pequenas Comunidades Rurais.** 2009. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná. Disponível em: <http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/P%C3%A1ginas/7%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Agrarias/PDF/2-Ed_7_CA-Propos.pdf>. Acesso em: 28 de abr. de 2012.

