



## II-348 - APLICAÇÃO DE UM MODELO DE TOMADA DE DECISÃO COMO AUXÍLIO NO PROCESSO DECISÓRIO DA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

**Alexandre Bevilacqua Leoneti<sup>(1)</sup>**

Bacharel em Administração de Empresas (Universidade Paulista), bacharel em Matemática Aplicada a Negócios (FFCLRP/USP) e mestre em Administração de Organizações (FEARP/USP). Doutorando em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP).

**Eliana Leão do Prado**

Bacharel em Engenharia Química (Universidade de Ribeirão Preto), especialista em Informática em Educação (Universidade Federal de Lavras), especialista em Psicopedagogia (UFRJ). Doutoranda em Saúde Pública (EERP/USP).

**Sonia Valle Walter Borges de Oliveira**

Bacharel em Arquitetura e Urbanismo (FAU/USP), mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) e doutora em Administração (FEA/USP). Professora da FEARP-USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP/USP) – Av. Bandeirantes, 1900 – Monte Alegre – Ribeirão Preto – SP – Brasil – Tel: +55 (16) 3602-4751 – Cel: +55 (16) 9204-2539 – e-mail: [ableoneti@usp.br](mailto:ableoneti@usp.br)

### RESUMO

Os problemas ambientais, por envolverem muitos tipos de variáveis, são considerados problemas complexos, que exigem a utilização de técnicas de tomada de decisão para auxiliar os gestores na solução dos mesmos. O objetivo principal de um sistema de tratamento de esgoto é, evidentemente, dar um tratamento adequado aos efluentes gerados como resíduo das atividades humanas. No entanto, o sistema a ser implantado também deve evitar alguns impactos negativos, tais como: percolação do esgoto no solo, geração de maus odores, consumo exagerado de energia, dentre outros. Devido à disseminação do uso de computadores, várias técnicas de tomada de decisão que inicialmente eram de difícil implementação e execução, hoje podem ser satisfatoriamente aplicadas com a utilização de um micro computador e uma planilha eletrônica. Nesse sentido, Oliveira (2004) desenvolveu um modelo baseado em técnicas de tomada de decisão para auxiliar a escolha da estação de tratamento de esgoto mais econômica e ambientalmente adequada para uma cidade. Tendo em vista a complexidade envolvida na escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário mais adequado para um município, o objetivo deste trabalho foi, com o auxílio de uma versão mais atualizada desse modelo de tomada de decisão (LEONETI, 2009), apresentar um pré-projeto de sistema de tratamento de esgoto sanitário para auxiliar na escolha do sistema de tratamento para o município de Fortaleza de Minas, em Minas Gerais, direcionando os estudos às alternativas mais econômicas. Os resultados obtidos demonstraram que a utilização de um modelo de tomada de decisão pode representar um grande auxílio para a seleção de alternativas na etapa de planejamento de investimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo de tomada de decisão, Tratamento de esgoto.

### INTRODUÇÃO

Uma solução para a preservação das águas é o investimento em saneamento e no tratamento do esgoto sanitário. Todavia, a escolha do sistema de tratamento de esgoto a ser instalado em um município deve levar em consideração, além da adequação técnica do projeto, a otimização da aplicação dos recursos financeiros, a minimização do consumo de energia e outros insumos, minimização de resíduos gerados, minimização de custos de implantação, operação e manutenção, com garantia da eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica, uma vez que deverá atender aos requisitos ambientais do local a ser implantado.

Segundo Welsch (1983), os projetos de investimento geralmente envolvem aplicação de recursos substanciais, sendo que seu impacto sobre a organização se estenderá por períodos relativamente longos. A identificação de projetos preliminares poderia contribuir para que os diferentes projetos factíveis sejam analisados entre si, melhorando a visão do gestor sobre o problema a ser sanado. “A escolha das alternativas mais promissoras torna-se um aspecto fundamental do planejamento e controle de investimentos” (WELSCH, 1983, p. 239).



Os problemas ambientais, por envolverem muitos tipos de variáveis, são considerados problemas complexos, que exigem a utilização de técnicas de tomada de decisão para auxiliar os gestores na solução dos mesmos. Devido à disseminação do uso de computadores, várias técnicas de tomada de decisão que inicialmente eram de difícil implementação e execução, hoje podem ser satisfatoriamente aplicadas com a utilização de um micro computador e uma planilha eletrônica.

Nesse sentido, Oliveira (2004) desenvolveu um modelo baseado em técnicas de tomada de decisão para auxiliar a escolha da estação de tratamento de esgoto mais econômica e ambientalmente adequada para uma cidade. Este modelo é composto por planilhas de cálculo de oito sistemas de tratamento, as quais são compostas por itens de implantação, operação e manutenção, visando à alternativa de menor custo. Os processos de tratamento são anaeróbios seguidos de aeróbios (CAMPOS et al., 1997; CHERNICHARO, 2001).

Tendo em vista a complexidade envolvida na escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário mais adequado para um município, o objetivo deste trabalho foi, com o auxílio de uma versão mais atualizada desse modelo de tomada de decisão (LEONETI, 2009), apresentar um pré-projeto de sistema de tratamento de esgoto sanitário para auxiliar na escolha do sistema de tratamento para o município de Fortaleza de Minas, em Minas Gerais, direcionando os estudos às alternativas mais econômicas e ambientalmente adequadas.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Para a realização deste trabalho, foi realizada uma coleta de dados para atender as variáveis de entrada do modelo Oliveira (2004). A maior parte destes dados foi coletada por meio de entrevistas com os responsáveis pela coleta de esgoto do município de Fortaleza de Minas (MG), sendo que alguns foram levantados na literatura e outros por meio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). As variáveis de entrada do modelo Oliveira (2004) e os dados coletados podem ser visualizados na tabela 1.

**Tabela 1 – Variáveis de entrada do modelo Oliveira (2004) e dados coletados**

Variáveis de entrada do modelo Oliveira (2004)	Dados coletados
População estimada para 2027	5.702 hab (considerando taxa de cresc. 2% a.a.)
Consumo médio de água	280 L/hab.dia (informações COPASA)
Vazão afluyente média	1.276,80 m <sup>3</sup> /d ( vazão de esgoto p/ 2027)
Vazão afluyente máxima	2.298,60 m <sup>3</sup> /d ( vazão para 2027)
DBO média afluyente	300 mg/L (valor de literatura)
DQO média afluyente	600 mg/L (valor de literatura)
Vida útil	20 anos (previsto)
Classificação do rio receptor	Classe C
Temperatura do líquido mês mais frio	18°C

Além disto, os custos de construção utilizados no modelo Oliveira (2004) foram atualizados e outras tabelas de custos foram adicionadas, para compor um valor médio de custo de construção. Estas tabelas foram obtidas por meio dos sites institucionais das organizações de saneamento, estradas e rodagem, além da prefeitura de São Paulo. A tabela 2 contém os custos médios da construção utilizados nos cálculos.

Após os dados iniciais serem coletados e os custos de construção serem atualizados no modelo, o estudo passou a ser de forma aplicada, preenchendo os campos das variáveis iniciais do modelo Oliveira (2004) e coletando os custos de cada uma das oito alternativas.

Devido ao desconhecimento do tipo de solo onde seria implantado o sistema de tratamento de esgoto, o pré-projeto foi dividido em duas partes. Na primeira parte, foi considerado o custo médio para a remoção de uma camada, de aproximadamente 1m de solo, e a sua recompressão para homogeneização do fundo das lagoas. Na segunda, foi considerado o custo médio para a impermeabilização das lagoas com manta. Nas duas partes do pré-projeto foram consideradas as três melhores alternativas propostas pelo modelo adaptado de Oliveira (2004).



Tabela 2 – Tabela de custos médios de construção (em US\$)

Custos de construção	SINAPI (1)	OLIVEIRA (2)	LEONETI (3)	SEOP (4)	DERSP (5)	DERPR (6)	DAER (7)	PREF SP (8)	SANEPAR (9)	SABESP (10)	CUSTO MÉDIO
Raspagem e limp.do terreno	0,9	0,6	0,1	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,8	<b>0,4</b>
Escavação do terreno	4,3	6	7,7	6,9	6,9	5,3	8,9	5,4	4,7	4,2	<b>6</b>
Concreto armado	446,4	450	392,9	298,1	326,8	303,3	308,2	336,8	346,8	343,5	<b>355,3</b>
Impermeabil. do concreto	24,7	27,8	27,8	17,2	19,5	25,2	29,2	23,2	17,4	14,2	<b>22,6</b>
Impermeabil. de lagoas	11,9	10	10	10,7	9,6	13,2	12,7	8,3	9,4	14	<b>11</b>
Ajardinamento dos entornos	3	5	5	4,2	4,6	2,8	2,9	3,7	2,2	3,2	<b>3,7</b>
Vegetação de médio porte	9,1	10	12,5	5,1	9,5	7,9	5,6	7	8,9	10,3	<b>8,6</b>
Pavim. com lastro de brita	1,1	22,5	22,5	1,2	9,5	4,4	8,1	7,3	2,1	9,4	<b>8,8</b>
Muros, cercas e portões	25	26,3	24,7	27,6	31,2	22,4	24,4	25	28,9	19,3	<b>25,5</b>
Brita para filtro percolador	27,4	28,5	23,1	44,1	50,9	34	25,1	37,1	45,2	66,4	<b>38,2</b>
Guarda-corpo tanques	77,7	75,8	83,4	67,5	76,4	84,3	66,9	74,1	77,5	63,9	<b>74,7</b>
Tubulação para drenagem	40	24	24	33,1	46,8	48,3	50,5	58,6	46,8	41,7	<b>41,4</b>
Guias pré-moldadas	11,9	18	17,7	15,7	20,1	19	13,2	20,8	4,8	11,9	<b>15,3</b>
Compactação de aterro	2,3	2,3	2,3	2,2	2	2,3	2,8	2,5	2,3	2,6	<b>2,4</b>

Fonte: (1) Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (06/2007); (2) Tabela de custos de construção do modelo Oliveira (2004); (3) Tabela de custos de construção do modelo Oliveira (2004) atualizada em 2007; (4) Secretaria de Estado de Obras Públicas do Paraná (08/2008); (5) Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (06/2008); (6) Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (05/2008); (7) Departamento de Programação Rodoviária do Rio Grande do Sul (06/2008); (8) Prefeitura de São Paulo (07/2008); (9) Companhia de Saneamento do Paraná (07/2008); (10) Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (08/2006)

## RESULTADOS OBTIDOS

As alternativas de sistemas de tratamento de esgotos para o município de Fortaleza de Minas apresentados no pré-projeto foram geradas com a execução de uma versão mais atualizada do modelo Oliveira (2004), desenvolvida por Leoneti (2009), a partir dos dados fornecidos pela prefeitura municipal da referida cidade.

Cada uma das alternativas foram propostas com três processos de tratamento de esgoto: (i) preliminar, para a remoção de sólidos; (ii) primeiro processo anaeróbio; e (iii) segundo processo aeróbio. Este arranjo das alternativas foi definido como um padrão do modelo Oliveira (2004), tendo em vista o crescente emprego com sucesso da associação de sistemas anaeróbios seguidos de aeróbios (CAMPOS et al., 1997; CHERNICHARO, 2001).

O objetivo principal de um sistema de tratamento de esgoto é, evidentemente, dar um tratamento adequado aos efluentes gerados como resíduo das atividades humanas. No entanto, o sistema a ser implantado também deve evitar alguns impactos negativos, tais como: percolação do esgoto no solo, geração de maus odores, consumo exagerado de energia, dentre outros. Especificamente, de acordo com ABGE (1981, p.7), para evitar a percolação do esgoto no solo, devem ser conhecidos os seus coeficientes de permeabilidade para “que se cumpra da melhor forma possível todos os objetivos visados”.

Os tipos de solos podem ser classificados em: (i) pedregulhos; (ii) areias; (iii) areias finas siltosas e argilosas; e (iv) argilas. Somente o terceiro tipo de solo é apropriado para a implantação de lagoas sem impermeabilização. Neste caso, a impermeabilização do mesmo é alcançada realizando-se uma compactação no terreno (ABGE, 1981).



## ALTERNATIVAS CONSIDERANDO O TIPO DE SOLO ADEQUADO PARA COMPACTAÇÃO

Uma solução comumente utilizada para a impermeabilização das lagoas dos sistemas de tratamento de esgoto, quando o tipo de solo é composto por areias finas siltosas e argilosas, é a compactação da terra no fundo das lagoas. Este tipo de impermeabilização torna mais barato os sistemas que utilizam lagoas em algum de seus processos de tratamento, pois, usualmente, a área das lagoas é demasiadamente grande, o que elevaria sobremaneira o custo de impermeabilização se o mesmo fosse realizado com concreto ou com mantas, sendo estas últimas as mais frequentemente utilizadas para estes fins.

Foi sugerido no pré-projeto, que a escolha de uma área com um tipo de solo adequado para compactação, poderia contribuir para a escolha de um sistema de menor custo. Todavia, também evidenciou-se que os sistemas de lagoas possuem os maiores valores para demanda bioquímica de oxigênio – DBO – efluentes, o que também deveria ser levado em consideração na escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto sanitário.

A tabela 3 demonstra o orçamento dos custos de implantação, operação e manutenção de todos os sistemas contemplados pelo modelo Oliveira (2004), bem como a estimativa de DBO efluente de cada sistema, para o caso em que o solo é adequado para a compactação.

**Tabela 3 – Resultados gerados pelo modelo Oliveira (2004) a partir dos dados fornecidos pela prefeitura municipal de Fortaleza de Minas, considerando o solo adequado**

Sistema	Posição	Orçamento (US\$)	Estimativa DBO efluente (mg/L)
UASB + Lodos ativados	6	533.722,95	7
UASB + Lagoa facultativa	3	431.061,94	16
UASB + Filtro biológico	8	793.509,76	19
UASB + Lagoa aerada e de decantação	4	442.587,61	31
Lagoa anaeróbia + Lodos ativados	5	481.362,16	15
Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	1	387.380,85	30
Lagoa anaeróbia + Filtro biológico	7	765.551,82	42
Lagoa anaeróbia + Lagoa aerada e de decantação	2	426.202,89	39

Fonte: dados gerados pelos autores utilizando uma versão atualizada do modelo Oliveira (2004)

De acordo com a tabela 3, a alternativa “Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa” atingiu o melhor orçamento e uma das piores estimativas de DBO efluente. Este sistema é conhecido como Sistema Australiano e tem a vantagem de não necessitar energia para aeração. Porém a área necessária é muito maior em relação a sistemas com reatores ou tanques de aeração, sendo estimada no pré-projeto uma área total de 11.147,79 m<sup>2</sup> para a implantação deste sistema, considerando apenas uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 1.

A alternativa “Lagoa anaeróbia + Lagoa aerada e de decantação”, o segundo melhor orçamento, é uma adaptação do Sistema Australiano, mas com uma área requerida menor, sendo necessária uma área total de 6.808,78 m<sup>2</sup> para a implantação deste sistema. No pré-projeto, foi considerada apenas uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa aerada e duas de decantação, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 2.

O terceiro melhor orçamento da primeira parte do pré-projeto foi o sistema “UASB + Lagoa facultativa”, que foi o único a inserir um reator em seu processo de tratamento. Apesar de ter alcançado somente o terceiro melhor orçamento, este sistema é o segundo melhor quanto à estimativa de DBO efluente. Este parâmetro é importante quanto à definição de um sistema de tratamento mais adequado ambientalmente, mas isto é possível concomitantemente a um tempo de detenção hidráulica relativamente alta, em torno de 12 dias. A área total necessária para sua implantação é de 5.234,37 m<sup>2</sup>, sendo considerado no pré-projeto apenas um reator do tipo UASB seguido de uma lagoa facultativa, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 3.

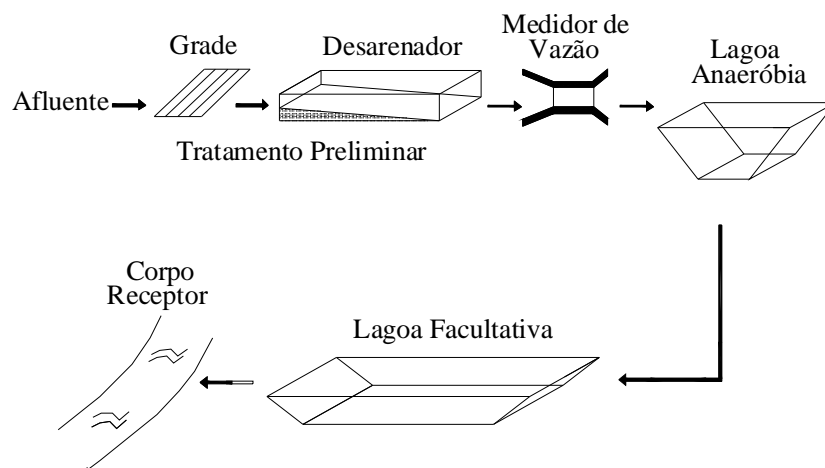


Figura 1 – Fluxograma do sistema de lagoa anaeróbia e lagoa facultativa

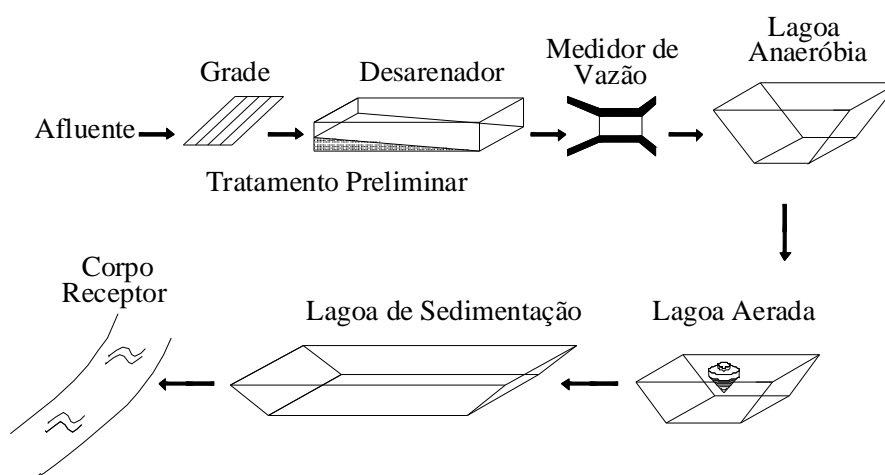


Figura 2 – Fluxograma do sistema de lagoa anaeróbia, lagoa aerada e decantação

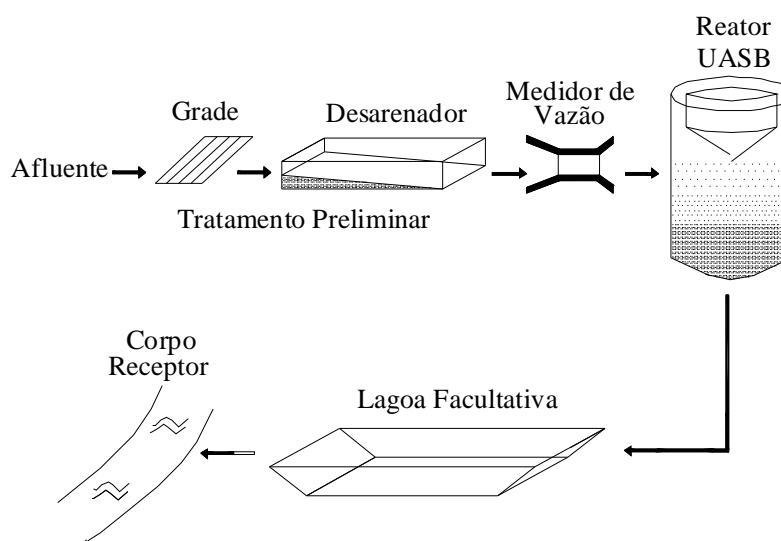


Figura 3 – Fluxograma do sistema UASB e lagoa facultativa



## ALTERNATIVAS CONSIDERANDO A IMPERMEABILIZAÇÃO COM MANTAS

Para o caso em que a área a ser implantado o sistema de tratamento de esgoto não possui solo adequado para a realização de uma compactação para evitar a percolação do líquido, propôs-se a impermeabilização da área interna das lagoas, sendo a manta proposta como solução. Além do fato de que os sistemas que utilizam lagoas em seu processo de tratamento não alcançarem os menores valores para DBO efluente, a grande área das lagoas encarece sobremaneira o processo de impermeabilização da mesma, o que talvez justifique a escolha de um sistema com reator, mesmo considerando sua maior complexidade na operação e manutenção.

Outro fato que foi alertado no pré-projeto foi quanto à dificuldade de se realizar a retirada do lodo das lagoas. Não obstante ao fato de que a necessidade de retirada de lodo destas lagoas ocorre em períodos maiores do que 10 anos, a utilização de retro-escavadeiras poderia fazer romper a manta em algum ponto.

A tabela 4 demonstra o orçamento dos custos de implantação, operação e manutenção de todos os sistemas contemplados pelo modelo Oliveira (2004), bem como a estimativa de DBO efluente de cada sistema, considerando a impermeabilização das lagoas com manta.

**Tabela 4 – Orçamento gerado pelo modelo Oliveira (2004) a partir dos dados fornecidos pela prefeitura municipal de Fortaleza de Minas, considerando o custo da manta**

Sistema	Posição	Orçamento (US\$)	Estimativa DBO efluente (mg/L)
UASB + Lodos ativados	6	533.295,30	7
UASB + Lagoa facultativa	1	468.421,87	16
UASB + Filtro biológico	8	792.226,81	19
UASB + Lagoa aerada e de decantação	2	470.080,87	31
Lagoa anaeróbia + Lodos ativados	5	491.392,93	15
Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	3	483.329,89	30
Lagoa anaeróbia + Filtro biológico	7	770.023,14	42
Lagoa anaeróbia + Lagoa aerada e de decantação	4	483.950,86	39

Fonte: dados gerados pelos autores utilizando uma versão atualizada do modelo Oliveira (2004)

Com o custo maior da impermeabilização das lagoas, o sistema composto por um UASB seguido de lagoa facultativa passou a possuir o melhor orçamento dentre todos os sistemas contemplados no modelo Oliveira (2004). Ressalta-se o fato de que este sistema foi o segundo melhor quanto à estimativa de DBO efluente. A área total necessária para implantação deste sistema foi de 5.234,37 m<sup>2</sup>, sendo também considerado no pré-projeto apenas um reator do tipo UASB seguido de uma lagoa facultativa, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 4.

O sistema “UASB + Lagoa aerada e de decantação”, com área total de implantação de 3.690,52 m<sup>2</sup>, possui algumas semelhanças com o sistema composto por UASB seguido de lodos ativados, porém com redução do consumo de concreto e com efluente final de baixa concentração de DBO. No pré-projeto, foi considerado apenas um reator do tipo UASB seguido de uma lagoa aerada e mais uma de decantação, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 5.

A alternativa “Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa” passou a obter o terceiro melhor orçamento quando se considerou o custo da impermeabilização de suas lagoas com manta. Em termos de estimativas de DBO efluente, ele também continuou a obter a pior posição dentre os sistemas contemplados no modelo Oliveira (2004). Sua área total ainda permaneceu em 11.147,79 m<sup>2</sup> para a implantação deste sistema.

Aqui também foi considerada apenas uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa, além do tratamento preliminar. O fluxograma deste sistema pode ser visualizado na figura 6.



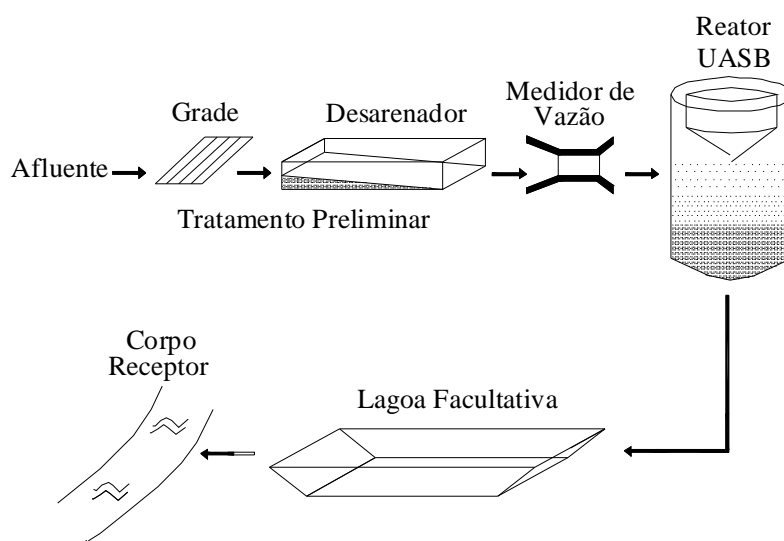


Figura 4 – Fluxograma do sistema UASB e lagoa facultativa

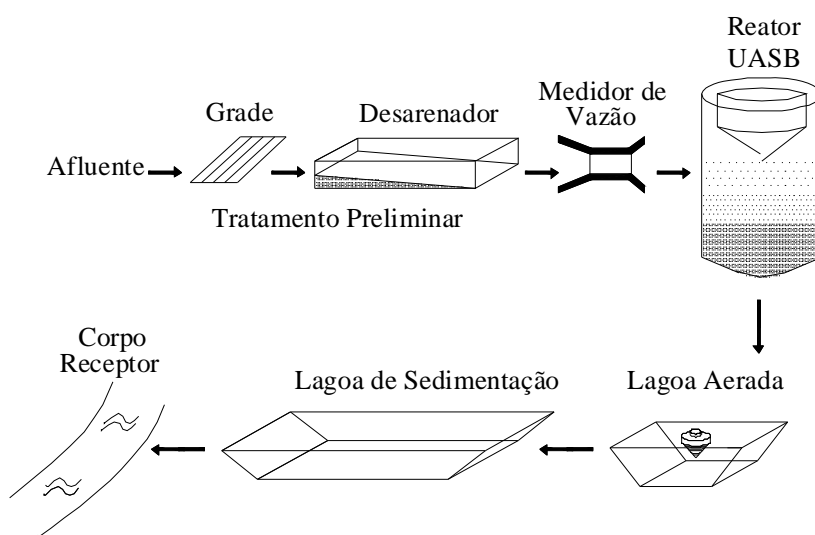


Figura 5 – Fluxograma do sistema UASB, lagoa aerada e decantação

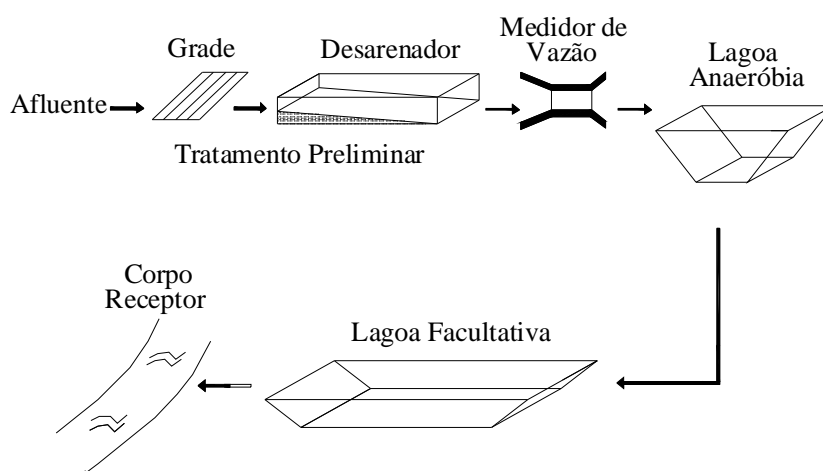


Figura 6 – Fluxograma do sistema de lagoa anaeróbia e lagoa facultativa



## CONCLUSÕES

Dentre os passos preliminares necessários para a escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário, proposto por Von Sperling (2006, p. 394), a escolha da área a ser implantado o sistema é um ponto crítico.

Verificou-se que a compactação da terra retirada do próprio terreno escavado como solução impermeabilizante para os sistemas de tratamento de esgoto sanitário que utilizam lagoas em seu processo de tratamento, torna estes tipos de sistemas mais baratos, pois, usualmente, a área das lagoas é demasiadamente grande, o que eleva sobremaneira o custo de impermeabilização com concreto ou com mantas, sendo estas últimas as mais utilizadas para estes fins.

Como visto neste trabalho, a ordem de preferência das melhores escolhas se alternou quando foi considerada a impermeabilização com manta. Para o município de Fortaleza de Minas, MG, sugeriu-se, como alternativa mais barata, a escolha de uma área distante 600 m à residências, com solo do tipo argiloso e declividade não maior do que 15 graus para a implantação do Sistema Australiano. Caso não exista uma área que atenda a estas condições, poderia ser implementado um sistema UASB (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo) seguido de lagoa facultativa, que requer menos área e proporciona um efluente final de boa qualidade, quando comparado aos outros tipos de sistemas.

Os resultados obtidos demonstraram que a utilização de um modelo de tomada de decisão pode representar um grande auxílio para a seleção de alternativas na etapa de planejamento de investimentos, defendida por Welsch (1983).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE). Ensaio de impermeabilidade em solos: Orientações para sua execução no campo. ABGE, 1981
2. CAMPOS, J.R. et al. Conceitos gerais sobre técnicas de tratamento de águas de abastecimento, esgotos sanitários e desinfecção. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1997. 43 p.
3. CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.) et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 554 p.
4. LEONETI, A.B. Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.
5. OLIVEIRA, S.V.W.B. Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário. 2004. 293f. Tese (Doutorado em Administração). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
6. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. v.1, 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. 452 p.
7. WELSCH, G. A. Orçamento empresarial. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1983. 397 p.