

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

ANDRÉ AUGUSTO BUSS MIKOWSKI
CRISTINA MAYUMI TAKEUCHI

**SISTEMA INFORMATIZADO PARA DIMENSIONAMENTO DE
UNIDADES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

ANDRÉ AUGUSTO BUSS MIKOWSKI
CRISTINA MAYUMI TAKEUCHI

**SISTEMA INFORMATIZADO PARA DIMENSIONAMENTO DE
UNIDADES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção Civil, do
Departamento Acadêmico de
Construção Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire

CURITIBA
2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

SISTEMA INFORMATIZADO PARA DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Por

ANDRÉ AUGUSTO BUSS MIKOWSKI
CRISTINA MAYUMI TAKEUCHI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 09 de maio de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Flávio Freire, Dr.
UTFPR

Profa. Celimar Azambuja Teixeira
UTFPR

Profa. Karina Querne de Carvalho
UTFPR

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias, que nos encorajaram nos momentos de maior necessidade, nos ajudaram incondicionalmente e estiveram ao nosso lado sempre.

Ao nosso professor orientador, Flávio Freire, pelo conhecimento compartilhado, apoio e incentivo durante todo esse tempo.

Aos amigos Maysa Ayame Takeuchi, Charles Albert Bonneville e Rodolfo Tessari, pela imensa ajuda prestada ao nos ensinarem a manipular a ferramenta de programação.

A todos os mestres que nos acompanharam durante toda essa trajetória desde o início do curso. Sem o conhecimento que recebemos, não conseguiríamos ter chegado até aqui.

A Deus, por nos guiar pelo caminho das pedras, pois o caminho mais difícil é o que conduz à vitória.

RESUMO

MIKOWSKI, A. A.; TAKEUCHI, C. M. **Sistema Informatizado para Dimensionamento de Unidades de Tratamento de Esgoto**. 2013. 80 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O lançamento indiscriminado de esgoto sem tratamento adequado é a maior causa da poluição dos mananciais, de problemas ambientais e de saúde pública. Muitas estações de tratamento existentes hoje não atendem as condições mínimas exigidas para o lançamento de efluentes. Os países em desenvolvimento não conseguem ao menos proporcionar à população os princípios de universalização e integralidade dos serviços de saneamento básico. Dessa forma, a coleta e tratamento do esgoto gerado nas cidades e nas zonas rurais não são feitos de forma satisfatória, prejudicando a preservação de mananciais, matas ciliares e a biodiversidade. Neste contexto, fica evidente a necessidade de aprimoramento das técnicas de tratamento aplicadas atualmente, visando facilitar sua implantação nas cidades. Porém, a inexistência de sistemas informatizados facilitadores relacionados a projetos de tratamento de esgoto pode ser um agravante deste cenário crítico, e dificulta ainda mais o processo. O presente trabalho aborda a questão do tratamento de esgoto e seus parâmetros de dimensionamento através do desenvolvimento de um programa computacional. No intuito de auxiliar a tomada de decisão no desenvolvimento de projetos de estações de tratamento de esgoto, e de tornar mais ágeis os processos de dimensionamento já existentes, desenvolveu-se um sistema informatizado em *Visual Basic* que efetua os cálculos de dimensionamento de estações para tratamento de esgotos domésticos, denominado ProgETE. Foram escolhidas algumas das etapas de tratamento mais usuais no contexto atual do país para o tratamento de esgoto. A partir de dados característicos do sistema que se deseja tratar, inseridos pelo usuário, o programa realiza operações matemáticas de dimensionamento das etapas do tratamento determinadas. Para o tratamento estático, foram dimensionados Tanque Séptico seguido de Sumidouro, que representam uma realidade no Brasil quando não existe uma rede coletora de esgoto. Para o tratamento em estações, foram dimensionados para a etapa preliminar, o Gradeamento e o Desarenador. No tratamento primário, foi escolhido o método de Decantação Primária. No tratamento secundário, foram dimensionados Reatores UASB e Sistema Australiano. Por fim, para tratamento terciário foram dimensionadas Lagoas de Maturação. O ProgETE apresenta como dados de saída os parâmetros de dimensionamento de cada uma dessas etapas. Resulta em um programa funcional e prático que auxilia a tomada de decisão no planejamento de projetos de tratamento de esgoto, permitindo assim que mais estações sejam projetadas de maneira informatizada, além de se configurar como uma importante ferramenta didática em disciplinas relacionadas ao tema.

Palavras-chave: Saneamento básico. Estação de Tratamento de Esgoto. Sistema informatizado. Projeto de ETES.

ABSTRACT

MIKOWSKI, A. A.; TAKEUCHI, C. M. Computerized System for the Sizing Units of Sewage Treatment. 2013. 80 pages. Work of Graduation (Bachelor of Civil Engineering Production) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2013

The indiscriminate firing of untreated sewage is a major cause of pollution in water sources, environmental problems and public health. Many of the treatment plants today do not achieve the minimum requirements for effluent discharge. Developing countries cannot even provide the population the principles of universality and completeness of basic sanitation services. Thus, the collection and treatment of sewage generated in cities and rural areas are not satisfactory, damaging the biodiversity, forests and watershed preservation. In this context, there is an evident necessity to improve treatment techniques currently used in order to facilitate its implementation. However, the lack of computerized facilitators systems related to sewage treatment can be an aggravating factor for this critical scenario, and further complicates the process. This paper addresses the issue of sewage treatment and its dimension parameters through the development of a computer program. In order to assist the decisions for the development of projects of sewage treatment plants, and to make faster the processes of sizing used nowadays, it was developed this computerized system in Visual Basic that calculates the sizing treatment plants of domestic sewage, called ProgETE. There were chosen some of the most common processing steps in the current context of the country for the sewage treatment. From characteristic data of the system that is going to be treated, which are given by the user, the program performs mathematical operations of sizing for certain stages of treatment. For the static treatment, there were sized Septic Tank followed by Sink, that represents a reality in Brazil when there is no sewage system available. For treatment stations, there were scaled to the preliminary stage, the Railing and the Sand Trap. In primary treatment, there was chosen the primary method of Decanting. In secondary treatment, there were sized UASB reactors and the Australian system. Finally, for tertiary treatment, there were designed Ponds of Maturation. ProgETE presents as output data the scaling parameters of each one of these steps. It results in a functional and practical program that assists decision points in planning project of sewage treatment, and it allows more stations to be designed trough computer parameters.

Keywords: Sanitation. Sewage Treatment Station. Computerized System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Monitoramento da qualidade das águas nas unidades da Federação	15
Figura 2: Tratamento Preliminar.....	26
Figura 3: Gradeamento	27
Figura 4: Sistema Australiano	29
Figura 5: Esquematização reator UASB.....	32
Figura 6: Representação dos locais de coleta das amostras	35
Figura 7: Perfil de concentração em função das isolinhas de concentração de efluente	36
Figura 8: Resultado da simulação	39
Figura 9: Relatório referente aos dados gerais do cenário.....	39
Figura 10: Corte Tanque Séptico	47
Figura 11: Corte Desarenador.....	52
Figura 12: Relação taxa escoamento superficial x remoção DBO	53
Figura 13: Exemplo de dimensionamento de Sistema Australiano	55
Figura 14: Declaração de variáveis para cálculo da população	57
Figura 15: Código para cálculo das vazões	58
Figura 16: Declaração de variáveis para cálculo do gradeamento.....	58
Figura 17: Código para dimensionamento do Gradeamento.....	59
Figura 18: Tela de apresentação.....	60
Figura 19: Tela inicial	61
Figura 20: Tanque séptico retangular.....	62
Figura 21: Tanque séptico circular	63
Figura 22: Sumidouro prismático retangular.....	64
Figura 23: Sumidouro circular	65
Figura 24: Gradeamento	67
Figura 25: Calha Parshall e desarenador	68
Figura 26: Decantador primário.....	69
Figura 27: Escolha do tratamento secundário	70
Figura 28: Sistema australiano.....	71
Figura 29: Reator UASB.....	72
Figura 30: Lagoas de maturação.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de águas.....	16
Tabela 2: Doenças de veiculação hídrica.....	24
Tabela 3: Combinações possíveis.....	38
Tabela 4: Taxa de acumulação total de lodo K (dias)	45
Tabela 5: Período de detenção (T) em função da vazão afluyente (NC)	46
Tabela 6: Contribuições unitárias de esgotos (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédios e de ocupantes (Litros/dia)	46
Tabela 7: Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.....	47
Tabela 8: Espaçamento entre barras	48
Tabela 9: Dimensões das barras de gradeamento.....	49
Tabela 10: Calhas Parshall	51
Tabela 11: Tempo de detenção hidráulico	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.3	JUSTIFICATIVA.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1	ESGOTO SANITÁRIO	14
2.1.1	Lançamento de Esgoto e Qualidade dos Mananciais.....	14
2.1.2	Diretrizes para Lançamento de Efluentes.....	17
2.2	OS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS AO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO.....	19
2.2.1	Nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico	19
2.2.2	Odores.....	22
2.2.3	Dimensão Social.....	23
2.3	O TRATAMENTO DE ESGOTO.....	25
2.3.1	Tanques Sépticos e Sumidouros.....	25
2.3.2	Tratamento Preliminar.....	26
2.3.3	Tratamento Primário	28
2.3.4	Tratamento Secundário.....	29
2.3.5	Tratamento Terciário.....	32
2.4	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E OUTRAS FERRAMENTAS RELACIONADAS AO SANEAMENTO	34
2.4.1	Programa para Modelagem de Dispersão de Efluentes em Rios	34
2.4.2	Sistema Informatizado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil	36
2.4.3	Programa para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares (SIMGERE).....	37
2.4.4	Programa para Análise e Dimensionamento de Sistemas para Tratamento de Dejetos em Suinocultura (SADS).....	39
2.4.5	Sistema Auxiliar para Seleção de Projetos de Estações de Tratamento de Esgoto Compactas	40
2.4.6	Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Águas para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte.....	41
2.5	PROGRAMAÇÃO EM <i>VISUAL BASIC</i>	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	DEFINIÇÃO DO ESCOPO.....	44
3.2	CONCEPÇÃO E PROJETO.....	44
3.2.1	Tanque Séptico e Sumidouro.....	45
3.2.2	Tratamento Preliminar.....	48

3.2.3	Tratamento Primário	52
3.2.4	Tratamento Secundário.....	54
3.2.5	Tratamento Terciário.....	56
3.3	CODIFICAÇÃO DO PROGRAMA.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	TELA DE APRESENTAÇÃO.....	60
4.2	TELA INICIAL	61
4.3	TRATAMENTO ESTÁTICO	62
4.3.1	Tanque Séptico.....	62
4.3.2	Sumidouro	64
4.4	TRATAMENTO COMPLETO	66
4.4.1	Tratamento Preliminar.....	66
4.4.2	Tratamento Primário	68
4.4.3	Tratamento Secundário.....	69
4.4.4	Tratamento Terciário.....	72
5	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O esgotamento sanitário é hoje um dos pontos mais importantes das questões ambientais, principalmente em países desenvolvidos, onde a preocupação com a preservação de recursos hídricos está na lista de prioridades.

Infelizmente, países em desenvolvimento não conseguem ao menos proporcionar à população os princípios de universalização e integralidade dos serviços de saneamento básicos, como estabelece a Lei Federal 11445/2007, a Lei do Saneamento. Dessa forma, a coleta e tratamento do esgoto gerado nas cidades e nas zonas rurais acabam sendo negligenciados, em detrimento da preservação de mananciais, matas ciliares e da biodiversidade.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2012), a rede de coleta de esgoto melhorou em áreas urbanas onde houve um incremento populacional entre 2000 e 2011. Por outro lado, extensas áreas do território nacional tiveram baixos registros de melhorias e ampliações no sistema, apesar de apontarem crescimento absoluto de população. Observou-se um vazio em termos de melhorias e mesmo de inexistência da rede de esgotamento sanitário nas regiões Norte e Nordeste, onde mesmo as áreas que exibem números positivos de crescimento absoluto são acompanhadas de fracos resultados em melhorias de esgotamento sanitário.

Ainda segundo o IBGE (2012), o acesso à rede geral de esgotamento sanitário ou à fossa séptica e a coleta de lixo cresceram no Brasil, mas o atendimento ainda não pode ser considerado universal no país, principalmente em áreas rurais. O Instituto analisou o acesso do brasileiro aos esgotamentos sanitários considerados adequados à saúde e ao ambiente, e constatou-se que no último ano da série pesquisada, aproximadamente 80% dos moradores das áreas urbanas e apenas 25% das rurais tinham acesso à rede geral de esgotamento ou à fossa séptica.

Nem mesmo nos casos em que o esgoto é realmente tratado pode-se afirmar que ele é lançado no meio ambiente atendendo às condições mínimas exigidas. Segundo Oliveira (2006), há uma notória disparidade em estações de tratamento, onde algumas apresentam um nível de sofisticação comparável ao de

países desenvolvidos, e outras dotadas de sistemas simplificados praticamente entregues ao abandono.

Neste cenário, é de suma importância o desenvolvimento de métodos que contribuam com o aperfeiçoamento do processo de tratamento de esgoto e com a difusão do conhecimento, no sentido de facilitar o dimensionamento de estações de tratamento e aperfeiçoar projetos e rotinas de operação de seus sistemas.

Além disso, é necessário o desenvolvimento de ferramentas que contribuam com o processo de tomada de decisão do dimensionamento, pois podem auxiliar no aprimoramento das tecnologias já utilizadas atualmente e na escolha da técnica mais apropriada na realização deste procedimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um sistema informatizado para dimensionar algumas das etapas do tratamento de esgoto doméstico, visando facilitar a tomada de decisão no dimensionamento de estações, auxiliar no controle do esgoto lançado no ambiente e contribuir com o planejamento de estações de tratamento, levando em consideração as legislações vigentes.

O programa é diretamente voltado a profissionais da área, tendo como público alvo engenheiros que já possuam conhecimento técnico, servindo como ferramenta de suporte ao projetista. Visa-se simplificar e agilizar o processo de dimensionamento de estações de tratamento. Além disso, o programa poderá ser utilizado eventualmente para fins didáticos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os seguintes objetivos específicos foram definidos a fim de atingir o objetivo principal:

- Estudar as unidades usuais necessárias ao processo de tratamento de esgoto;
- Identificar as variáveis que interferem no dimensionamento das unidades escolhidas;
- Pesquisar o equacionamento matemático necessário para a definição das unidades determinadas;
- Elaborar um programa que dimensione as etapas de tratamento de esgoto escolhidas;

1.3 JUSTIFICATIVA

Os problemas causados pelo lançamento indiscriminado de esgoto em mananciais causam consequências ambientais graves, e consistem em uma das maiores preocupações de saúde pública para as administrações municipais e para a comunidade geradora desses resíduos.

Segundo o IBGE (2012), a existência de esgotamento sanitário é fundamental na avaliação das condições de saúde da população, pois o acesso a este serviço é essencial para o controle e a redução de doenças. Trata-se de um indicador importante tanto para a caracterização da qualidade de vida da população residente em um território quanto para o acompanhamento das políticas públicas de saneamento ambiental.

Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos que facilitem o dimensionamento de estações, contribuam com o aperfeiçoamento do processo de tratamento de esgoto e aprimorem projetos e rotinas de operação, dando suporte ao atual sistema utilizado, obsoleto e esquecido pelas autoridades responsáveis.

O presente trabalho visa desenvolver um sistema informatizado que dimensione as etapas do processo de tratamento de esgoto de acordo com características previamente definidas, voltado especificamente para os profissionais capacitados dessa área. Os potenciais benefícios de sua utilização em pesquisas podem contribuir com o aperfeiçoamento de tecnologias já utilizadas nos sistemas de tratamento de esgoto atuais e auxiliar na escolha da técnica mais apropriada para a realização deste procedimento.

Além disso, as estações de tratamento de esgoto envolvem conhecimentos técnicos muito específicos e experiência de profissionais já atuantes na área. O programa pode ser uma interessante e importante ferramenta para a tomada de decisão pelos profissionais competentes.

Deve-se considerar ainda que, caso usado como instrumento didático, o programa pode promover a democratização do conhecimento no sentido de disponibilizar mais um recurso de aprendizado, e também fortalecer essa área de pesquisa no Departamento Acadêmico de Construção Civil, DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ESGOTO SANITÁRIO

A NBR 9648/1986 define esgoto sanitário como todo despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. O esgoto doméstico é definido como o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Segundo Von Sperling (2005), a vazão de esgoto advinda dos despejos industriais é função precípua do tipo e porte da indústria. Em seu “Manual de projetos hidrossanitários” (SANEPAR, 2010), a SANEPAR, por exemplo, menciona que “o lançamento de esgotos industriais e/ou não domésticos na rede de coleta de esgotos da SANEPAR, somente será admitido em condições especiais, após análise da SANEPAR, dependendo das características do esgoto que se pretenda lançar em seu sistema”. Entretanto, não há no documento qualquer descrição aprofundada a respeito dos critérios utilizados para a análise. Sabe-se que, historicamente, essa permissão é pouco usual.

De acordo com Vela (2006), o principal objetivo do tratamento do esgoto é proteger a saúde da população e promover o bem-estar dos seres humanos, garantindo assim o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e terrestres. O retorno das águas residuais aos rios e lagos transformam os habitantes vizinhos em seus usuários indiretos. Com o crescimento da população, aumenta a necessidade de prover sistemas de tratamento que permitam eliminar os riscos para a saúde e minimizar os danos ambientais.

2.1.1 Lançamento de Esgoto e Qualidade dos Mananciais

O Plano Nacional de Recursos Hídricos, PNRH (2006) tem como objetivo geral estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade, gerenciando as demandas e considerando a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social.

De acordo com o PNRH (2006), as águas brasileiras encontram-se repartidas entre as que integram o domínio da União e as que pertencem aos estados e ao Distrito Federal. Persiste com a União a competência privativa para legislar sobre águas, cabendo aos estados legislar em matéria de seu poder-dever de zelar pelas águas do seu domínio, assim como a competência comum, juntamente com a União, o Distrito Federal e os municípios, para registrar, acompanhar e fiscalizar a exploração de recursos hídricos em seus territórios. Porém, em termos gerais, o monitoramento e a gestão da qualidade das águas no país apresentam uma grande diversidade regional, como mostra a Figura 1.

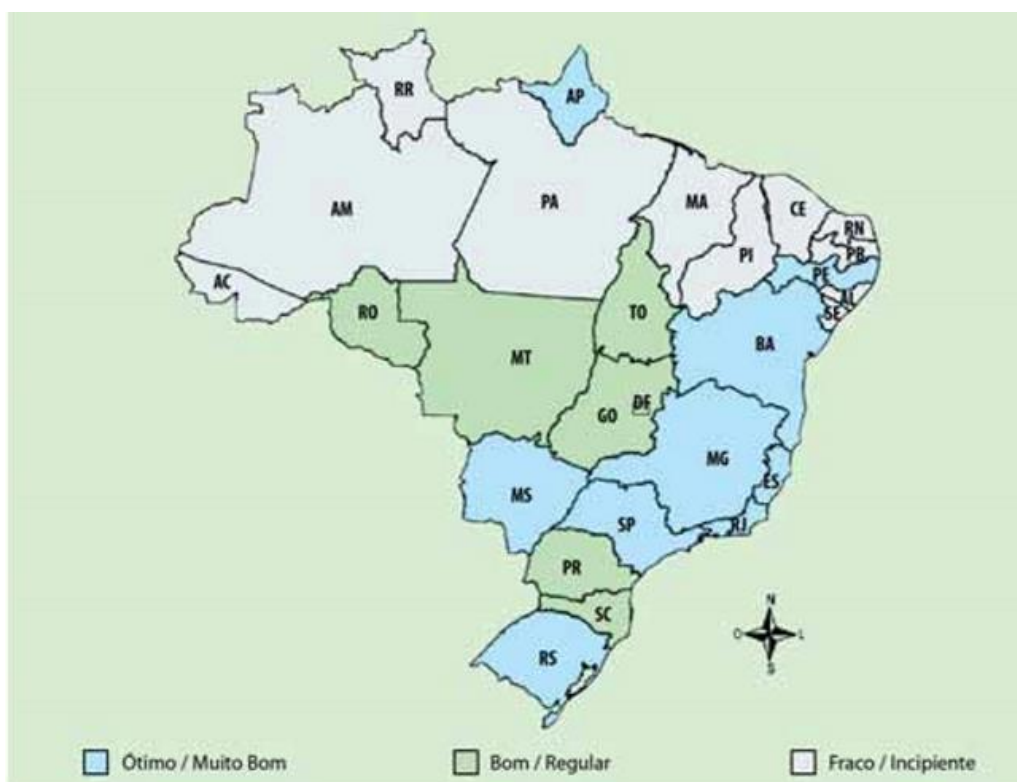


Figura 1: Monitoramento da qualidade das águas nas unidades da Federação
Fonte: PNRH, 2006

A partir de um estudo realizado em 1970 pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB, adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas, IQA, que incorpora nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a utilização das mesmas para abastecimento público. Ele é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes, nitrogênio total,

fósforo total, sólidos totais e turbidez. A Tabela 1 exemplifica a classificação das águas em relação ao IQA (CETESB, 2011).

Tabela 1: Classificação de águas

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$51 < \text{IQA} \leq 79$
Regular	$36 < \text{IQA} \leq 51$
Ruim	$19 < \text{IQA} \leq 36$
Péssima	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB (2011)

A Resolução Conama nº 357/2005 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, de forma que a qualidade da água seja compatível com os usos previstos. Ela considera que o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida, levando em conta os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos para um determinado corpo de água. As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade, sendo que as águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.

O PNRH (2006) afirma que o principal problema de qualidade das águas é o lançamento de esgotos domésticos. Ele define o IQA, Índice de Qualidade das Águas, como o principal indicador de condições físicas dos recursos hídricos utilizado no país, e está sendo empregado em 12 unidades da Federação, representando cerca de 60% da população. Os parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. Apenas nove estados no Brasil possuem sistemas de monitoramento da qualidade das águas considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares; e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes.

Em âmbito nacional, o principal problema de qualidade das águas é o lançamento de esgotos domésticos, pois apenas 47% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto, e somente 18% dos esgotos recebem algum tratamento. A carga orgânica doméstica total do país é estimada em 6.389 t.DBO_{5,20}/dia (PNRH, 2006).

Em rios com baixa disponibilidade hídrica, principalmente os que se encontram na região do semi-árido, o problema de assimilação de cargas orgânicas está associado, sobretudo, às baixas vazões dos corpos de água (PNRH, 2006).

A mineração, os efluentes industriais, as cargas de natureza difusa decorrentes da drenagem de solos urbanos e agrícolas e os resíduos sólidos são problemas verificados em escala nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões hidrográficas (PNRH, 2006).

2.1.2 Diretrizes para Lançamento de Efluentes

Nos estudos relacionados com a concepção de sistemas de tratamento de esgoto, alguns aspectos-chave devem ser considerados para que os objetivos do tratamento estejam claros: diretrizes qualitativas para o descarte; diretrizes quantitativas para o descarte e enquadramento do corpo receptor.

A esses três fatores, soma-se ainda o tratamento de esgoto visando o reúso, que por essa contingência pode obedecer outros padrões mais específicos.

Na concepção clássica do problema da poluição da água, os rios são considerados como corpos receptores naturais de águas residuárias, com suas correspondentes cargas de contaminantes e nutrientes.

Quanto aos aspectos qualitativos, a Resolução Conama nº 430/2011, estabelece as condições e padrões de lançamento no corpo receptor, não só de esgoto sanitário, mas de efluentes em geral, e dá outras providências. No que diz respeito à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), por exemplo, há uma clara diferença de abordagem quanto aos valores permitidos para esgoto sanitário e efluentes.

Para efluentes, a resolução estabelece uma “remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor”. Já quando o lançamento se restringe a esgoto

sanitário, quanto à DBO foi estabelecido o valor “máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor”.

Já no que se refere aos aspectos quantitativos, o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores está sujeito às diretrizes impostas pelos órgãos de gerenciamento dos recursos hídricos. No caso, a Agência Nacional das Águas (ANA) se o corpo receptor for Federal o Instituto das Águas do Paraná se o rio for paranaense.

A outra diretriz a ser obedecida durante a concepção de estações de tratamento de esgoto está relacionada com o enquadramento dos rios. O lançamento de qualquer efluente em corpos receptores não poderá “desenquadrá-lo”, ou seja, tornar sua qualidade inferior à qualidade estabelecida de acordo com os usos previstos.

2.2 OS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS AO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO

A área de saneamento encontra-se inserida em políticas públicas e seus empreendimentos são de grande repercussão social, pois possui impacto no meio ambiente, saúde e desenvolvimento urbano. Os esgotos urbanos são a principal fonte poluidora dos recursos hídricos que compromete outras atividades, como abastecimento de água, irrigação, pesca. Além disso, a falta de condições sanitárias absorve grande parte de recursos públicos (CAMPOS, 2011).

Os impactos ambientais negativos como consequência do esgotamento sanitário podem ser determinados conforme a quantidade de materiais contaminantes contidos no esgoto, compreendendo, principalmente: sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, matéria orgânica e inorgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas, microrganismos patogênicos; e substâncias químicas tóxicas (CAMPOS, 2011).

2.2.1 Nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas, podendo, por isso, em certas condições, conduzir ao fenômeno de eutrofização de lagos e represas. Os processos de conversão da amônia em nitrito e, em seguida, do nitrito em nitrato (nitrificação), implicam no consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água. Quando se encontra na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes, e na forma de nitrato está associado à doenças como a metemoglobinemia (MOTA; VON SPERLING, 2009).

Após o lançamento do esgoto em um curso de água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer indicações sobre o estágio da poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento a montante. Se esta poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia e, se antiga, basicamente na de nitrato (as concentrações de nitrito são normalmente mais reduzidas), desde que se tenha, no meio em questão, oxigênio dissolvido suficiente para permitir a nitrificação (MOTA; VON SPERLING, 2009).

O fósforo presente nos detergentes e na água residuária bruta ocorre na forma de polifosfatos solúveis ou, após hidrólise, na forma de ortofosfatos. O fósforo

originário dos detergentes pode representar até 50% da concentração de fósforo total no esgoto doméstico. Como ele é um nutriente essencial para o crescimento de algas, pode, por isso, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas (MOTA; VON SPERLING, 2009).

A eutrofização é o enriquecimento do meio aquático com nutrientes, causando o crescimento de organismos e plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, que podem atingir níveis tais que sejam causadores de interferências aos usos desejáveis do corpo d'água. Normalmente, o maior fator de preocupação são as algas, cujo crescimento depende do aporte de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Quando a concentração dos nutrientes é elevada, tem-se também a elevação da concentração de algas no meio aquático – que pode chegar a níveis tais que cause problemas aos vários usos previstos para o corpo d'água. Em condições de elevada eutrofização, as algas poderão atingir superpopulações, no evento denominado floração das algas. A eutrofização pode também ter como resultado a proliferação de macrófitas (MOTA; VON SPERLING, 2009).

A crescente eutrofização dos ambientes aquáticos tem sido produzida principalmente em decorrência de atividades humanas que causam o enriquecimento artificial desses ecossistemas. As principais fontes desse enriquecimento têm sido identificadas como as descargas de esgotos domésticos e industriais dos centros urbanos e a poluição difusa originada nas regiões agricultáveis (PÁDUA, 2009).

A eutrofização artificial produz mudanças na qualidade da água, incluindo redução do oxigênio dissolvido, perda das qualidades cênicas, as quais são representadas pelas características estéticas do ambiente e seu potencial para lazer, morte extensiva de peixes e/ou aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias. Essas mudanças resultam em consequências negativas sobre a eficiência e o custo do tratamento da água, quando se trata de manancial de abastecimento. Os efeitos negativos dessas florações para a saúde pública estão principalmente relacionados com a produção de cianotoxinas pelas espécies de cianobactérias que predominam na biomassa dessa densa camada de células (PÁDUA, 2009).

Além disso, o desenvolvimento da agroindústria em algumas regiões do Brasil tem sido bastante acelerado nos últimos 30 anos. A grande biomassa de cultivos monoespecíficos e a necessidade de intensificar o crescimento vegetal, pelo uso

intenso de fertilizantes químicos, têm causado rápida eutrofização de rios, lagos e reservatórios, resultando em crescimento elevado de macrófitas aquáticas e altas concentrações de fósforo e nitrogênio na coluna d'água ou no sedimento. A taxa de urbanização também tem crescido rapidamente, com o conseqüente aumento da descarga de esgotos com pouco ou nenhum tratamento prévio. Esses dois processos em larga escala são hoje as principais causas da eutrofização de rios, lagos e reservatórios em muitas regiões brasileiras (PÁDUA, 2009).

Condições anaeróbicas no corpo d'água como um todo também podem ser prejudicadas pelos efeitos da eutrofização. Dependendo do grau de crescimento bacteriano, pode ocorrer, em períodos de mistura total da massa líquida (inversão térmica) ou de ausência de fotossíntese (período noturno), mortalidade de peixes e reintrodução dos compostos reduzidos em toda a massa líquida, com grande deterioração da qualidade da água. Como as algas se concentram na superfície em excesso, impedem a penetração da luz, indispensável para a fotossíntese, dificultando, desta forma, a conseqüente produção de oxigênio, mesmo nas horas iluminadas do dia (VON SPERLING, 2005).

Pode haver também uma maior dificuldade e elevação dos custos de tratamento da água. A presença excessiva de algas afeta substancialmente o tratamento da água captada no lago ou represa, dada a necessidade de remoção da própria alga, remoção de cor, remoção de sabor e odor, maior consumo de produtos químicos e lavagens mais frequentes dos filtros (VON SPERLING, 2005).

O nitrogênio na forma de nitrato usualmente oriundo de sistemas de disposição de esgoto no solo, quando envolvem infiltração (principalmente fossas, em sistemas individualizados) e atingem a água subterrânea, causam sérios impactos ambientais. No entanto, há registros também de contaminação causada por exfiltração de esgoto em sistemas dinâmicos de coleta e transporte do esgoto, principalmente quando o sistema é bastante antigo e apresenta falhas (MOTA; VON SPERLING, 2009).

O líquido que percola das fossas para o solo contém nitrogênio (convertido em nitrato, no solo). Como conseqüência, a água subterrânea sob ou perto das fossas pode se tornar poluída, o que causa problemas quando a qualidade da água de abastecimento, retirada de poços, é afetada (MOTA; VON SPERLING, 2009).

Quando existe grande densidade de fossas, as concentrações de nitrato podem atingir níveis muito acima daqueles recomendados pela OMS e disciplinados

pelo Ministério da Saúde para águas potáveis. O nitrato é formado por uma reação sequencial catalisada por microrganismos, através da oxidação da amônia em nitrito e, do nitrito em nitrato. Concentrações de nitrato superiores a 10 mg N-NO₃-/L podem causar a metemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde — inclusive morte, principalmente em lactentes. A sensibilidade para a metemoglobinemia parece estar relacionada ao pH estomacal das crianças (igual ou maior do que 4). Nestas condições, as bactérias redutoras de nitrato se desenvolvem no intestino delgado, reduzindo o nitrato a nitrito, que, por sua vez, é absorvido pela corrente sanguínea, provocando a conversão da hemoglobina em metemoglobina. O pigmento alterado, não transportando com eficiência o oxigênio, provoca a asfixia (PÁDUA, 2009).

No caso do uso de fossas com infiltração dos efluentes no solo, há sempre o risco de contaminação dos aquíferos sob o terreno, qualquer que seja o nível de tratamento e a qualidade da obra ou da operação. O processo anaeróbio não remove o nitrogênio do esgoto e não há diferença significativa quanto à remoção do nitrogênio entre uma fossa rudimentar ou um tanque séptico (MOTA; VON SPERLING, 2009).

2.2.2 Odores

Outro impacto importante a ser observado na operação de estações de tratamento de esgoto é a geração de odor durante o processo e no lançamento do efluente no corpo receptor. Este odor pode causar desagradado da comunidade que habita nas proximidades da estação (CAMPOS, 2011).

Uma solução para este problema seria um planejamento da localização das unidades compatíveis com o uso do solo regional, utilizando tecnologia adequada e com sistema de eliminação e controle de odores (BANCO DO NORDESTE, 1999).

2.2.2.1 Depleção do nível de oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é sem dúvida o parâmetro de melhor caracterização da qualidade de um corpo d'água, existindo uma concentração de saturação em água que é função da temperatura e da altitude (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Em termos ecológicos, a repercussão mais nociva da poluição de um corpo d'água por matéria orgânica é a queda de oxigênio dissolvido, causada pela respiração dos microrganismos, que o consomem em sua respiração durante o processo de estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

O impacto é estendido á toda comunidade aquática, e cada redução nos teores de oxigênio dissolvido é seletiva para determinadas espécies. O oxigênio dissolvido tem sido utilizado tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água. A sua medição é simples, e seu teor pode ser expresso em concentrações, quantificáveis e passíveis de modelagem matemática (VON SPERLING, 2005).

2.2.3 Dimensão Social

No setor de saneamento, os aspectos sociais assumem papel significativo, visto que o investimento está estritamente ligado com políticas públicas. A avaliação propicia que sejam investigados os efeitos de um projeto sobre o desenvolvimento da sociedade. Sob o aspecto sanitário e social, os projetos de saneamento visam a controlar e prevenir doenças, facilitar a limpeza pública, propiciar conforto, bem estar e segurança e aumentar a expectativa de vida da população (CAMPOS, 2011).

Diversos estudos indicam estreita relação entre saneamento e saúde. Libânio, Chenicharo e Nascimento (2005) constataam a importância da discussão das interfaces da gestão de recursos hídricos com setores dependentes de água de boa qualidade, indispensável à promoção da saúde pública. A correlação entre o Índice de Desenvolvimento Humano, IDH, e os serviços de saneamento é demonstrada pela análise conjunta de indicadores sociais e os serviços de saneamento no Brasil.

O IDH abrange três dimensões básicas do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda, e são expressas por diferentes variáveis estatísticas: expectativa de vida ao nascer, alfabetização de adultos, matrículas combinadas nos três níveis de ensino, PIB per capita corrigido pela capacidade de compra da moeda. A existência ou não de ações de saneamento ambiental, exercidas em caráter preventivo ou remediador, bem como a forma e adequação de sua prática à realidade social e econômica, acabam por dizer muito mais a respeito do desenvolvimento humano que a própria potencialidade do meio natural, (LIBÂNIO; CHENICHARO; NASCIMENTO, 2005)

A clara correlação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a abrangência dos serviços de saneamento básico nesse conjunto de países pode ser explicada pelo fato de o cálculo desse índice levar em consideração, além de estatísticas de renda e de educação da população, a expectativa de vida ao nascer. Essa última é um importante indicador de saúde e retrata as condições de saneamento. (LIBÂNIO; CHENICHARO; NASCIMENTO, 2005)

A importância do indicador de mortalidade infantil para a área de saneamento e principalmente para o esgotamento sanitário está relacionada ao fato da dependência de condições sanitárias suficientes como fator essencial para a sobrevivência de crianças menores de um ano. (CAMPOS, 2011)

Além disso, existe ainda a questão das doenças de veiculação hídrica. A Tabela 2 mostra as principais doenças que podem ter suas causas primárias relacionadas à má gestão do esgoto.

Tabela 2: Doenças de veiculação hídrica

Doença	Características
Cólera	Doença infecciosa intestinal aguda; Tem como agente etiológico o <i>Vibrio cholera</i> ; As maiores complicações da patologia resultam da depleção hidrossalina ocasionada pela diarreia e pelos vômitos.
Febre Tifóide	Doença bacteriana aguda; A <i>Salmonella typhi</i> é seu agente etiológico.
Leptospirose	Doença infecciosa aguda; Seu agente é o microorganismo do gênero <i>Leptospira</i> ; A icterícia é a manifestação mais grave, que precede o período septicêmico.
Giárdia	Causada pelo parasito intestinal <i>Giardia duodenalis</i> ; Ocorre por via fecal-oral, mediante ingestão de alimentos contaminados.

Fonte: MENDES *et al.*(2000)

2.3 O TRATAMENTO DE ESGOTO

É bastante abrangente a literatura relacionada a tratamento de esgoto. Deste modo, para esta revisão não se tornar extensa e generalizada, optou-se por abordar de forma mais sucinta os conceitos que já foram sistematicamente apresentados (JORDÃO; PESSÔA, 2009), e somente às unidades de tratamento escolhidas para fazerem parte do programa. Maiores detalhes sobre as unidades de tratamento (inclusive no que se refere ao dimensionamento) estão contidos no capítulo de materiais e métodos deste trabalho.

Os processos empregados para a redução dos poluentes podem ser, dependendo da natureza dos fenômenos envolvidos, classificados em: processos físicos, processos químicos ou processos biológicos (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Os processos físicos são aqueles em que há a remoção de elementos mais grosseiros, substâncias que estão suspensas no efluente e que são fisicamente separáveis, ou seja, sem necessidade da adição de algum tipo de reagente (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Já os processos químicos são aqueles em que se adicionam reagentes químicos para executar alguma etapa que não pode ser executada de forma natural, através dos processos físicos ou biológicos, ou quando essa reação facilita e altera algumas propriedades em substâncias do efluente, melhorando assim a eficiência do tratamento em etapas subsequentes (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Nos processos biológicos o principal fator é a presença dos microrganismos, que são responsáveis pelas alterações dos componentes presentes nos efluentes (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Essa redução do nível de poluição da água é feito nas chamadas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), o processo em si é feito em quatro principais etapas: Tratamento Preliminar, Tratamento Primário, Tratamento Secundário e Tratamento Terciário.

2.3.1 Tanques Sépticos e Sumidouros

Os tanques sépticos normalmente são usadas em regiões onde o sistema de coleta de esgoto é inexistente ou precário, dando assim uma destinação correta ao esgoto doméstico oriundo nessas regiões.

Por se tratar de um processo mais simples, seu custo é reduzido, mas conseqüentemente o grau de tratamento também é mais baixo, porém sempre atendendo ao objetivo de evitar a contaminação do solo e da água.

As fossas sépticas em sua primeira etapa fazem o papel de reservatório, retendo o esgoto por um determinado tempo. Após isso ocorre a decantação, separando os sólidos sedimentados, que são denominados de lodo, dos sólidos não sedimentados, que são denominados de espuma.

Tanto a espuma quanto o lodo passam por um processo de digestão anaeróbia, onde as bactérias anaeróbias eliminam os organismos patogênicos, reduzindo então o volume total do esgoto e deixando em melhores condições para ser encaminhado para as etapas seguintes.

Tal volume é então encaminhado para os sumidouros, que nada mais são do que poços absorventes, que é por o efluente é direcionado até ser infiltrado no solo (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

2.3.2 Tratamento Preliminar

Essa etapa é responsável pela remoção de materiais de maiores dimensões, partículas discretas (como a areia), óleos e outras gorduras, preparando assim o esgoto para as próximas etapas do tratamento. Nessa etapa predominam as operações físicas unitárias (JORDÃO; PESSÔA, 2009)

Por se tratar de um processo simples, o custo dessa etapa é bastante reduzido, e a remoção das impurezas apresenta resultados satisfatórios (OLIVEIRA, 2006).

Uma composição para o tratamento preliminar é o gradeamento seguido por um desarenador, como esquematizado na Figura 2.

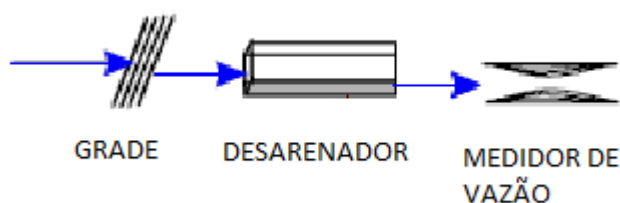


Figura 2: Tratamento Preliminar
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

2.3.2.1 Gradeamento

O gradeamento (Figura 3) normalmente é a primeira etapa do tratamento de esgoto. Nela são retidos os sólidos mais graúdos, cujo tamanho seja maior que o espaçamento entre as barras. Os sólidos retidos nessa etapa são chamados de gradeado, que normalmente são: galhos, pedras, pedaços de madeira, raízes de plantas, plástico e farrapos.

Essa etapa tem como finalidade eliminar o material graúdo. Isso é feito para proteger as bombas e tubulações que transportam o efluente, bem como as unidades de tratamento e corpos receptores subsequentes.



Figura 3: Gradeamento

Fonte: Companhia de Saneamento de Jundiaí (2013)

2.3.2.2 Remoção de Areia

Após o esgoto passar pelas grades e ter o material graúdo removido, a etapa seguinte é a remoção de areia, também conhecida como desarenação. A finalidade dessa remoção é evitar que a areia danifique os equipamentos usados no decorrer do tratamento do esgoto, assim como, evitar a obstrução de tubulações, tanques, ou demais meios de passagem do esgoto, facilitando assim o seu transporte (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

O processo de desarenação é um dos processos mais simples do tratamento de esgoto, essa etapa ocorre em um tanque, chamado de caixa de areia ou

desarenador. Essas caixas de areia recebem classificações conforme algumas características, como a sua forma, a método de separação, o método de remoção, ou em relação ao seu fundo (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Nessas caixas a areia é removida por sedimentação, por possuir mais densidade que os demais elementos, os grãos de areia depositam-se no fundo do tanque, enquanto os demais dejetos continuam em suspensão e passam para as próximas etapas do processo (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Porém como esse é um processo contínuo, a areia que fica retida nessa caixa deve ser removida com certa frequência. O processo pode ser feito de forma manual ou mecânica (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

2.3.3 Tratamento Primário

O tratamento primário também possui mecanismo de ordem física, onde há uma remoção mais 'fina' em relação à etapa anterior. Enquanto a etapa anterior remove sólidos mais grosseiros, o tratamento primário remove os demais sólidos em suspensão por sedimentação. A remoção dos sólidos suspensos pode chegar a 60%, e da DBO a 35%(JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Ou seja, além de resíduos mais graúdos, também é necessário remover as substâncias gordurosas que estão dissolvidas no efluente, pois assim como a areia, retirada na etapa anterior, elas podem prejudicar e afetar tubulações ou outros equipamentos e etapas do processo de tratamento.

De um modo geral, o tratamento primário tem como objetivo extrair o chamado lodo do esgoto, que seria uma parte mais sólida, deixando seguir para as próximas etapas a parte líquida, denominada de efluente bruto (OLIVEIRA, 2006).

Após a remoção de substâncias mais graúdas, o efluente segue para os decantadores primários, que visa a remoção de partículas por sedimentação, e também a remoção dos chamados sólidos flutuantes, que pode ser a gordura que não foi retirada no tratamento anterior. Além de já iniciar processos biológicos no efluente, reduzindo a quantidade de DBO (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

A eficiência dos decantadores está relacionada com a capacidade do tanque em permitir que os sólidos contidos nos esgotos sejam convenientemente sedimentados, sem que haja perturbação ou arraste destes sólidos antes de sua remoção ou transferência (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Assim como as etapas anteriores, o dimensionamento depende da necessidade e do que deseja remover nessa etapa. Além dos itens relacionados ao tratamento em si, depende também do processo e metodologia que será usada, e até mesmo do formato do tanque.

Além do dimensionamento do tanque em si, há também o dimensionamento de processos detalhados da decantação, como os poços de remoção de lodo e de espuma. Para o dimensionamento deve-se prestar atenção na vazão do esgoto, dependendo dos valores, deve-se adotar mais de um decantador em paralelo (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Nem sempre há a necessidade do uso do decantador primário, ou seja, por opção do projetista de uma estação de tratamento de esgoto, o tratamento do esgoto pode ir do tratamento preliminar para o tratamento secundário.

2.3.4 Tratamento Secundário

No tratamento secundário ocorrem os processos bioquímicos, que consistem em remover os poluentes ainda existentes no efluente, que são chamados de matéria orgânica.

A remoção desse resíduo poluente se dá pela reação com micro-organismos, que reagem com a matéria orgânica remanescente.

A eficiência no tratamento total do esgoto atingida no tratamento secundário pode chegar a 95%, onde o nível de poluição é reduzido o suficiente ao ponto de já estar com as condições mínimas necessárias para já ser despejado no meio ambiente receptor (OLIVEIRA, 2006).

2.3.4.1 Sistema Australiano

O sistema australiano é uma combinação de lagoas anaeróbias, seguidas de lagoas facultativas, conforme esquema na Figura 4.

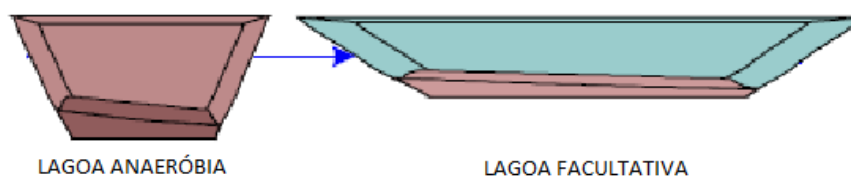


Figura 4: Sistema Australiano
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

As lagoas anaeróbias são utilizadas para tratamentos de efluentes que apresentam altos níveis de DBO. O processo é denominado anaeróbio pelo alto consumo de oxigênio inicialmente, de modo que não há uma reposição desse oxigênio. O processo acontece basicamente em duas etapas, na primeira delas ainda não há redução nos níveis de DBO, apenas uma transformação da matéria orgânica, que somente será eliminada na segunda etapa, onde transforma-se em metano, gás carbônico e água, para ai então apresentar uma redução nas taxas de DBO.

A remoção da taxa de DBO nessa etapa é alta, porém não o suficiente, por isso que o sistema australiano combina esses dois tipos de lagoas. Onde a primeira delas faz um trabalho mais intensivo na redução de DBO, diminuindo assim o trabalho realizado na segunda lagoa, a lagoa facultativa, reduzindo então parte do comprimento necessário para o tratamento. A área ocupada pela combinação do sistema australiano equivale a dois terços da área que seria utilizada caso fosse implantada apenas a lagoa facultativa (VON SPERLING, 1996).

Após as lagoas anaeróbias, o esgoto é direcionado para as lagoas facultativas, onde não há interferências de equipamentos, os processos que nela acontecem são naturais. O objetivo dessa etapa é deixar com que a matéria orgânica se desenvolva e trate o esgoto.

Por se tratar de um processo natural, o tempo de duração é maior, porém a qualidade e satisfação nos resultados também são maiores.

A metodologia baseia-se basicamente na ideia do esgoto ficar exposto nessa lagoa, e durante o percurso ao longo do comprimento da lagoa, o processo acontecer, podendo ser dividido em três zonas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa.

Essas zonas podem ser observadas como camadas na lagoa facultativa. A zona aeróbia é a camada mais superficial, a que possui um contato maior com o oxigênio, onde a matéria orgânica é degradada pela respiração aeróbia. A participação das algas é fundamental nessa etapa, pois é pela fotossíntese executado por elas é que o oxigênio é produzido, que entram em harmonia com o consumo de oxigênio e produção de gás carbônico gerado pelas bactérias, aumentando então a eficiência do processo.

A zona anaeróbia é mais ao fundo da lagoa, onde ocorre a sedimentação das matérias orgânicas, e após sua decomposição, há a produção de alguns outros itens, como gás carbônico, água e metano. Chama-se zona anaeróbia pelo fato dessa decomposição ocorrer pela ação de micro-organismos anaeróbios.

Já a zona facultativa é a camada intermediária da lagoa, onde pode haver ou não a presença de oxigênio (VON SPERLING, 1996).

2.3.4.2 Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

O reator UASB, também conhecido no Brasil como Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, RAFA, é um processo anaeróbio utilizado para o tratamento secundário, que tem se destacado e apresentado um grande potencial para o tratamento de esgotos domésticos, principalmente em países com clima mais quentes (CHERNICHARO, 2007).

O processo que utiliza reatores UASB destaca-se por necessitar de uma área reduzida para sua instalação, bem como o seu baixo custo. Além disso, também consome pouca energia e pode atingir uma eficiência de 75% na remoção de DBO (CHERNICHARO, 2007).

O esgoto penetra pela parte inferior do reator e atravessa a manta de lodo, onde parte da matéria permanece nessa região realizando a digestão anaeróbia. Outro processo no reator é a separação trifásica, ou seja, a separação das fases sólida, líquida e gasosa, que se dá por meio do separador trifásico, situado na parte superior do reator, como exemplificado na Figura 5. (CHERNICHARO, 2007).

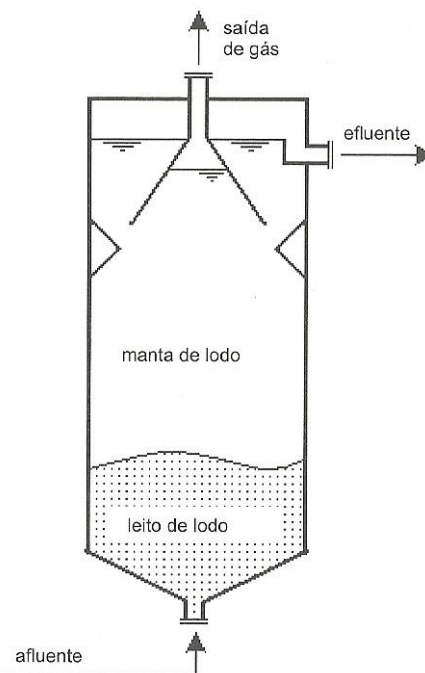


Figura 5: Esquemática reator UASB
Fonte: Chernicharo (2007)

2.3.5 Tratamento Terciário

Como o efluente muitas vezes já sai do tratamento secundário com condições de ser lançado novamente ao meio ambiente, o tratamento terciário passa a ser necessário quando o efluente ainda possui níveis consideráveis de substâncias poluentes que não foram retidas nos tratamentos anteriores, ou quando há a necessidade de remover algumas substâncias específicas.

O tratamento terciário possui duas divisões principais: uma delas é a desinfecção, que visa a remoção dos poluentes; e a outra visa a remoção de elevados níveis de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, que se forem emitidos em excesso, podem causar o fenômeno chamado de eutrofização, que gera um aumento excessivo de algas.

Com exceção da desinfecção, o tratamento terciário é bastante raro no Brasil. A desinfecção pode ser feita por vários processos, entre eles através de lagoas de maturação, ou em processos com utilização de cloro, dióxido de cloro, ozônio e radiação ultravioleta.

Já para a remoção dos nutrientes, o método utilizado é a desnitrificação, que pode ser feito por processo físico-químico ou processo biológico. Já a remoção do fósforo é feita através da adição de agentes coagulantes (OLIVEIRA, 2006).

2.3.5.1 Desinfecção

A desinfecção é um processo pertencente ao tratamento terciário, que visa uma remoção adicional dos poluentes, ou seja, após o tratamento secundário normalmente o efluente já possui condições mínimas necessárias, porém a desinfecção é feita para a adequação das características da água dependendo do seu futuro, principalmente tratando-se da saúde pública, no caso da água ser usada para abastecimento público, ou quando usada para fins agrícolas (JORDÃO, PESSÔA, 2009).

2.3.5.2 Lagoas de maturação

As lagoas de maturação podem ser utilizadas ao final de qualquer processo de tratamento, visto que têm como finalidade melhorar os níveis de qualidade do líquido, removendo os micro-organismos patogênicos, bem como a redução de bactérias, vírus e demais organismos que são prejudiciais.

2.3.5.3 Cloração

Dentre os sistemas de desinfecção, a cloração é o mais utilizado nessa etapa do processo de tratamento. Com a adição do cloro, o intuito é a reação com a matéria orgânica ainda presente e removê-la até atingir o nível satisfatório.

Com a adição de cloro, além da remoção das matérias orgânicas indesejadas, há o controle do odor do efluente, eliminando parte dos causadores do mau cheiro do efluente (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

2.3.5.4 Radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta é outro método usado para combater os micro-organismos. Os raios ultravioletas atingem os micro-organismos e alteram o DNA destes, impossibilitando sua reprodução.

A vantagem desse processo é que não há interferências de substâncias químicas, além de ser um processo simples e prático (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

2.4 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS E OUTRAS FERRAMENTAS RELACIONADAS AO SANEAMENTO

Em muitos casos, sistemas informatizados de gestão, de simulações e de dimensionamento podem auxiliar na implantação de novas indústrias, no gerenciamento e ampliação de redes de coleta de esgoto e na instalação de novas estações de tratamento (MASSUKADO; ZANTA, 2005).

Existem hoje *softwares* que dão suporte a algumas vertentes do saneamento básico, à gestão de resíduos e ao tratamento de esgoto. Eles auxiliam as administrações públicas municipais, prevendo impactos ambientais causados pela emissão de esgoto, simulando cenários e ponderando possíveis efeitos de mudanças em estratégias de gestão de resíduos. Será abordada nesta revisão uma parcela dos trabalhos existentes sobre o saneamento básico em geral, principalmente no que tange o lançamento de efluentes e gerenciamento de resíduos.

2.4.1 Programa para Modelagem de Dispersão de Efluentes em Rios

Para solucionar problemas presentes no despejo de efluentes industriais nos rios, é necessário compreender o fluxo, a dispersão e a decomposição dos compostos presentes nos efluentes lançados em canais naturais. Entre estes problemas, destaca-se a escolha do melhor ponto de emissão de um efluente industrial, a determinação da distância necessária para a dispersão e mistura deste efluente e a distância para que ocorra a degradação das substâncias biodegradáveis presentes neste lançamento (MACHADO *et al.*, 2008).

A concepção do *Software* para Modelagem de Dispersão de Efluentes em Rios foi feita por engenheiros da Unicamp, Universidade Estadual de Campinas, no intuito de desenvolver ferramentas numéricas preditivas do impacto causado por novas emissões de efluentes em um rio e por outras situações que ponham em risco o equilíbrio ambiental (MACHADO *et al.*, 2008).

Ele apresenta um modelo Fluidodinâmico Computacional Tridimensional para simular a dispersão de substâncias solúveis em rios. O modelo pode prever o impacto causado pela ocorrência de múltiplos pontos de emissão no trecho estudado. É capaz de prever a dispersão de efluentes em trechos de rios com

quilômetros de extensão em algumas horas. O código numérico para o modelo matemático foi desenvolvido em linguagem Fortran(MACHADO *et al.*, 2008).

Para a modelagem matemática deste problema foram desenvolvidas as equações diferenciais que descrevem o fenômeno. Estas equações são: a equação da continuidade, a equação da conservação de momento e a equação de transferência de massa de uma substância de interesse presente no efluente (MACHADO *et al.*, 2008).

Para a solução do problema em questão, os procedimentos foram divididos em três etapas: entrada dos dados, obtenção do perfil de velocidades e obtenção do perfil de concentração. Inicialmente deve-se fazer um levantamento das características do sistema. Dentre tais características estão as dimensões do rio (largura, profundidade e comprimento); as vazões do rio e do efluente; e a concentração do poluente, no rio e no efluente(MACHADO *et al.*, 2008).

O método de estudo adotado foi a determinação do coeficiente de dispersão para as características adotadas e posteriormente a simulação da dispersão do efluente no rio. A determinação do coeficiente de dispersão foi feita por amostragem, medindo-se a concentração de sódio em cada um dos pontos pré-determinados de coleta, como indicado na Figura 6(MACHADO *et al.*, 2008).

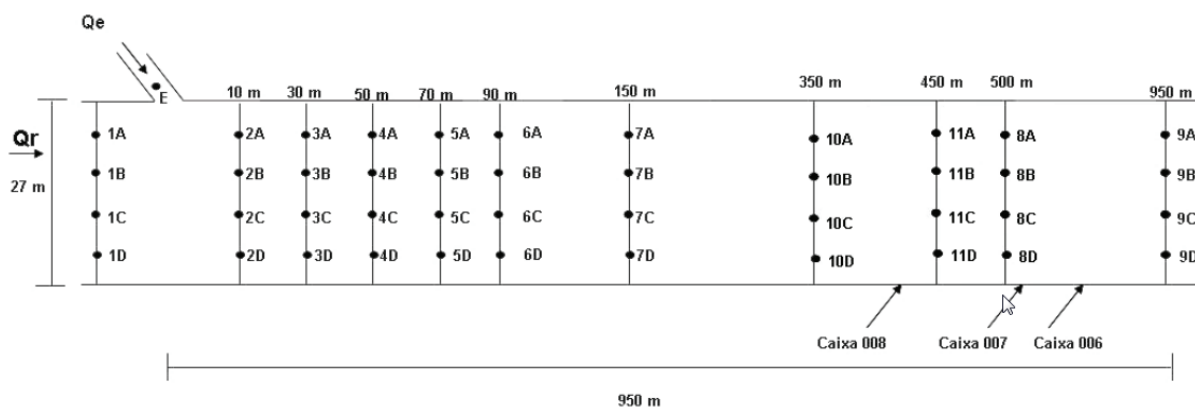


Figura 6: Representação dos locais de coleta das amostras
Fonte: MACHADO *et al.*(2008)

A partir do comportamento de uma determinada isolinha de concentração, torna-se possível determinar qual a área de influência crítica do efluente em estudo, como mostrado da Figura 7.

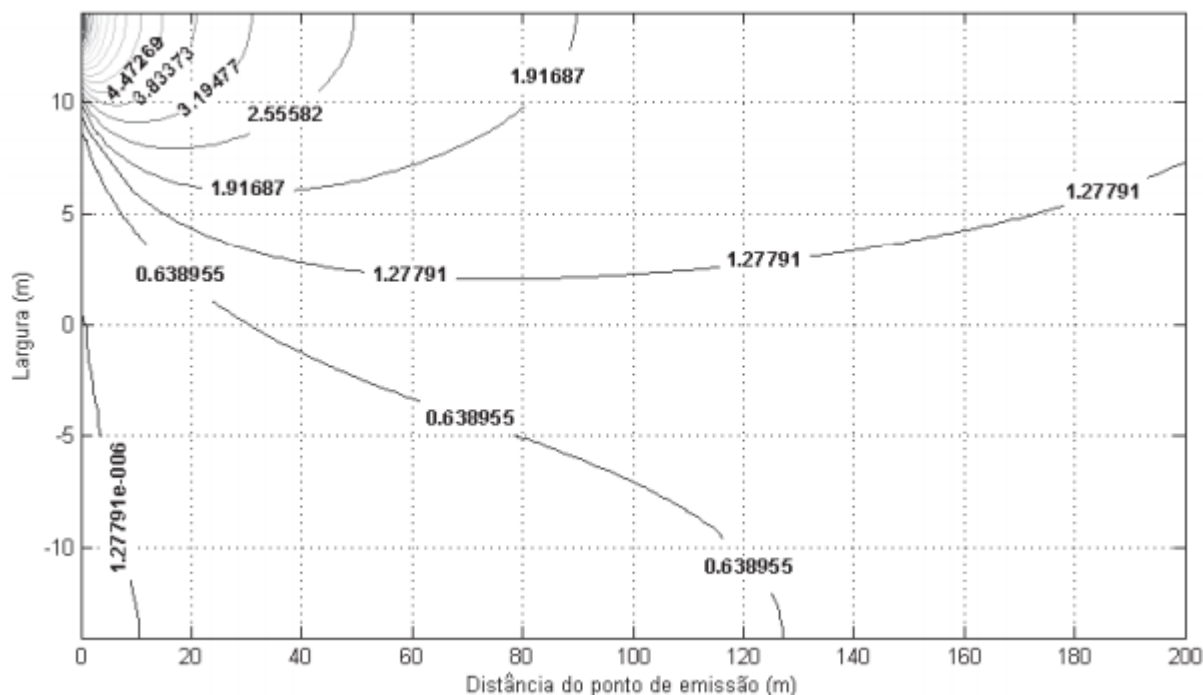


Figura 7: Perfil de concentração em função das isolinhas de concentração de efluente
Fonte: MACHADO *et al.*(2008)

Os resultados mostram que a metodologia proposta é uma boa ferramenta para a avaliação do impacto ambiental causado pela emissão de efluentes em rios.

2.4.2 Sistema Informatizado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil

No panorama atual brasileiro o correto manejo dos resíduos ainda é visto como uma sobrecarga de trabalho e um fator de atraso para os prazos, ao invés de ser tratado como uma prioridade e algo que necessita de atenção. O grande crescimento do mercado da construção civil nos últimos anos pode ser citado como grande contribuinte para tal, pois o objetivo principal das construtoras passou a ser a produção maximizada sem se importar, ou se importando muito pouco, com a qualidade e a otimização dos processos (CASTRO *et al*, 2011).

Outro fator importante é a falta de fiscalização por parte das prefeituras que influi diretamente na não realização ou na realização incompleta do Programa de Gerenciamento de Resíduos. Para auxiliar nesta gestão desenvolveu-se um programa a partir do *software Microsoft Access*, onde é possível realizar cadastros, alimentar banco de dados e imprimir cartazes e relatórios, para o gerenciamento de resíduos da construção civil, buscando auxiliar o controle dos

mesmos facilitando o trabalho nas obras e tendo como base o Decreto Municipal da Prefeitura de Curitiba nº. 1.068 de 2004 e a Resolução CONAMA Nº 307/02(CASTRO *et al*, 2011).

Com o intuito de acompanhar a gestão de resíduos dentro e fora da obra o usuário poderá utilizar várias ferramentas fornecidas pelo programa. Dentre elas pode-se citar o cadastramento de informações de funcionários e das quantidades de resíduos geradas periodicamente bem como a impressão de cartazes que auxiliam no correto manuseio e despejo dos resíduos por parte da equipe de trabalho (CASTRO *et al*, 2011).

2.4.3 Programa para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares (SIMGERE)

A ausência de políticas públicas eficazes para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos faz com que o destino destes seja, muitas vezes, indevido. Além disso, a geração destes resíduos tende a aumentar progressivamente com o passar do tempo.

De acordo com Massukado e Zanta (2005), o *Software* para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares (SIMGERE) representa o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão como ferramenta para analisar diferentes cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares. O SIMGERE, nome do *software*, foi desenvolvido para auxiliar as Administrações Públicas Municipais na gestão dos resíduos sólidos domiciliares por meio da simulação de cenários, mostrando os efeitos que poderão ocorrer a partir de possíveis mudanças nas estratégias da gestão.

O SIMGERE fornece informações desde projeção do crescimento da população e da produção de resíduos e volume anual ocupado no aterro sanitário até a estimativa da vida útil do aterro sanitário, dos custos operacionais e da receita obtida com a venda dos resíduos recicláveis. Para tanto o usuário deverá entrar com alguns dados como produção atual de resíduos, existência ou não de coleta seletiva, custo para coleta e transporte dos resíduos, custo para disposição, entre outros.

A

Tabela 3 mostra as combinações que podem ser analisadas pelo programa (MASSUKADO; ZANTA, 2005).

Tabela 3: Combinações possíveis

Módulo	CenárioAtual	Nova alternativa	Cenário futuro (sub modulo)
1	CC + AS	- Não - CTB - CTB + UV - CS + CTB - CS + CTB + UC	a) CC + AS b) CC + CTB + AS c) CC + CTB + UC + AS d) CC + CS + CTB + AS e) CC + CS + CTB + AS

Fonte: MASSUKADO; ZANTA(2005)

Notas:

CC – Coleta convencional;
 AS – Aterro sanitário;
 CTB – Central de triagem e beneficiamento;
 UC – Usina de compostagem;
 CS – Coleta seletiva.

Para cadastrar uma nova composição o sistema requer que sejam fornecidas as seguintes informações: região, estado, município, população, ano da caracterização e os valores da composição gravimétrica dos resíduos. O usuário deve selecionar a região, estado, cidade e cenário que deseja realizar uma nova simulação. Após o preenchimento das informações solicitadas referentes aos dados da alternativa e à simulação econômica simplificada, o usuário deve clicar no botão Simular. Neste momento o programa irá iniciar as rotinas necessárias para se calcular a vida útil do aterro sanitário, como indicado na Figura 8e realizar também a simulação econômica simplificada, como mostrado na Figura 9(MASSUKADO; ZANTA, 2005).

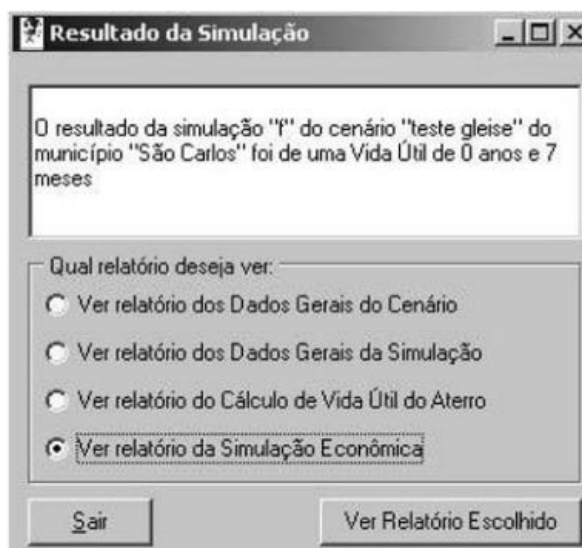


Figura 8: Resultado da simulação
Fonte: MASSUKADO; ZANTA (2005)

Data	Relatório GIRSUD - Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares		Pag
Dados do município e cenário da gestão dos RSD			
Município	<input type="text"/>		
População	<input type="text"/>		
Destino dos RSD	<input type="text"/>		
Ano atual	<input type="text"/>		
Nome do cenário	<input type="text"/>		
Descrição	<input type="text"/>		
Cenário atual de gestão	<input type="text" value="CC + AS"/>		
Produção e composição gravimétrica dos resíduos			
Produção atual de resíduos	<input type="text"/>	t/mês	
Produção per capita atual	<input type="text"/>	kg/hab.dia	
Composição gravimétrica em peso			
Ano	<input type="text"/>		
Papel/Papelão	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Vidro	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Plástico	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Metal	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Matéria Orgânica	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Outros	<input type="text"/>	%	<input type="text"/>
Aterro Sanitário	<input type="text"/>		
Volume disponível	<input type="text"/>	m ³	
Índice de compactação	<input type="text"/>	t/m ³	
Volume de cobertura	<input type="text"/>	%	

Figura 9: Relatório referente aos dados gerais do cenário
Fonte: MASSUKADO; ZANTA, 2005

2.4.4 Programa para Análise e Dimensionamento de Sistemas para Tratamento de Dejetos em Suinocultura (SADS)

A suinocultura tecnificada é caracterizada pela criação de suínos totalmente confinados, e permitiu a concentração de um número significativo de animais em áreas pequenas, otimizando a produção e garantindo maior lucro ao produtor. Muitas suinoculturas foram desenvolvidas em regiões com terrenos acidentados e próximos a rios. Dessa maneira, criou-se o costume de lançar o esgoto gerado por essa atividade nesses cursos d'água (COSTA; MEDRI, 2002).

Nesse contexto foi desenvolvido o *software* para Análise e Dimensionamento de Sistemas para Tratamento de Dejetos em Suinocultura (SADS), para auxiliar na análise e no dimensionamento de sistemas para o tratamento dos dejetos produzidos em suinocultura.

O programa computacional foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação *Microsoft Visual Basic*, versão 6.0. É composto de módulos referentes ao processo de produção dos animais, da geração dos dejetos sólidos e líquidos, e do sistema de tratamento. O primeiro módulo é denominado Plantel, referente à composição estabilizada do rebanho na produção, que é determinada em função do número de matrizes formadoras do plantel. No segundo módulo, Consumo, são determinados os consumos de água e de ração por ganho de peso dos animais, e no terceiro, denominado Insumos, os insumos utilizados na granja. No quarto módulo, Dejetos, é feita a estimativa da produção total de dejetos, sendo necessário o fornecimento da porcentagem de água perdida, do volume de água consumido nas lavagens, da porcentagem dos despejos dos animais por água consumida, do uso da água em outras atividades e dos pesos dos animais por categoria. Por fim, o último módulo, que é denominado Abate, é referente à produção final de suínos cevados para o abate, bem como a respectiva receita anual (SOUZA; QUEIROZ; ALBANEZ, 2003).

2.4.5 Sistema Auxiliar para Seleção de Projetos de Estações de Tratamento de Esgoto Compactas

A pesquisa desenvolvida por Barros (2013) propõe a elaboração de uma ferramenta de tomada de decisão para projetos de Estações de Tratamento de Esgoto de pequeno porte, a partir de uma consulta rápida. Com algumas informações sobre o local de instalação e da população a ser atendida, é possível identificar os processos mais indicados para compor a estação de tratamento.

De acordo com Barros (2013), de maneira geral, a etapa de seleção dos sistemas a serem adotados para o tratamento de esgoto é uma das mais importantes e trabalhosas devido à grande diversidade de opções existentes para o tratamento e a influência de variados fatores nos resultados, dentre os quais destacam-se as características do local de instalação, incluindo o corpo receptor e a composição do efluente a ser tratado.

Projetos de estações e a seleção dos sistemas de tratamentos de esgoto contemplam um processo trabalhoso e demorado devido à grande quantidade de fatores que devem ser considerados (BARROS, 2013).

Além disso, a inexistência de sistemas auxiliares para tomada de decisão em projetos relacionados ao tratamento de esgotos dificulta ainda mais este processo. A adoção de uma ferramenta de cálculo auxiliar para a elaboração dos projetos de estações de tratamento de esgoto pode facilitar ainda mais a concepção e construção de sistemas, reduzindo-se grande parte dos problemas oriundos de fatores simples que não são considerados corriqueiramente (BARROS, 2013).

Com base nessas informações obtidas, desenvolveu-se uma rotina de recepção de informações e retorno de resultados possíveis, aos modelos propostos. Foi utilizada uma base de programação em *Visual Basic*, e criou-se uma interface clara e simples, para facilitar o uso e permitir interações rápidas e reproduzíveis. A partir de uma metodologia teórico comparativa, desenvolve-se a base da ferramenta que auxilia a seleção de processos para a concepção de estações compactas de tratamento de esgotos.

O uso desta ferramenta permite ainda um ganho de tempo no processo seletivo, reduzindo a vasta gama de possibilidades de associações, trazendo variadas opções passíveis de aplicação e relacionadas por ordem de atendimento às necessidades do usuário, inclusive com um pré-dimensionamento envolvendo estimativas de dimensões, volumes, eficiências e qualitativamente os custos aproximados de construção. Desta forma, o processo seletivo é facilitado permitindo uma escolha mais segura e eficiente do sistema de tratamento de efluentes (BARROS, 2013).

2.4.6 Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Águas para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte

Neste trabalho desenvolvido por Paz (2007), foi proposto um modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água constituído por 17 sub-níveis que 'filtram' progressivamente as opções tecnológicas aplicáveis em pequenas comunidades brasileiras, inferiores a 20 mil habitantes.

Os aspectos deste modelo se relacionam ao risco presente na fonte de abastecimento superficial; à eficiência das tecnologias para eliminar ou reduzir o

risco a valores; e ao tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos gerados, aos custos dos sistemas com vazões de projeto entre 10 e 40 L/s (PAZ, 2007).

As conclusões da pesquisa foram relacionadas à aplicabilidade do modelo, restrita a estações de tratamento de água que comprem todos os seus requisitos de domínio, e aos valores de limite das variáveis de risco, que podem conduzir ao engenheiro a uma seleção preliminar das possíveis alternativas de tratamento. Entretanto, somente a partir de estudos de tratabilidade da água e de testes em instalação piloto é possível definir a ETA mais conveniente. As seleções das tecnologias para tratamento, aproveitamento e disposição do resíduo não devem ser avaliadas de forma independente às empregadas na ETA, e os custos calculados pelo modelo dificilmente podem ser comparados com sistemas já existentes. Os resultados propostos por esse modelo variam em função dos dados de entrada, portanto o usuário deve ter consciência da qualidade da informação fornecida para obter resultados satisfatórios (PAZ, 2007).

2.5 PROGRAMAÇÃO EM VISUAL BASIC

Uma linguagem de programação atua como um tradutor entre o usuário e o computador. Para um programador, o conhecimento da linguagem nativa do computador, conhecida como linguagem de máquina, não é necessária. Pode-se utilizar uma linguagem de programação para instruir o computador de maneira mais fácil e simplificada. O compilador, um programa especializado, leva as instruções escritas na linguagem de programação e as converte em linguagem de máquina (MICROSOFT, 2012).

A linguagem *Visual Basic* nasceu de uma das primeiras linguagens de computadores, a Basic, ela mantém-se estruturada em suas extensões de nome de arquivos e convenções de nomenclatura de objetos padrões que possibilitam o acesso e manuseio por outros programadores de forma fácil e segura, sem a necessidade de se conhecer caracteres e definições complexas ou exclusivas para cada tarefa realizada (MARINI, 2001).

O *Visual Basic* possui um ambiente de desenvolvimento integrado IDE (*Integrated Development Environment*) totalmente gráfico, facilitando a construção da interface das aplicações, também conhecido como GUI, *Graphical User Interface*. "*Visual*" refere-se ao método usado para criar o que o usuário vê, ou seja, a interface gráfica do usuário, e "*Basic*" refere-se à linguagem de programação BASIC (*Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code*), a linguagem mais usada por programadores na computação. (MICROSOFT, 2012).

Objetos são elementos definidos por Classes, as quais possuem Propriedades, Métodos e Eventos. Uma janela, um botão e um banco de dados, por exemplo, são objetos. Classes são os moldes dos objetos, definindo suas propriedades, seus métodos e seus eventos. Uma janela é muito diferente de um botão, mas os dois são objetos. Isso ocorre pois são definidos por Classes diferentes (MARINI, 2001).

Uma das vantagens do *Visual Basic* é a sua facilidade do uso para desenvolvimento de aplicativos. Ele dá um bom suporte e produtos, por possibilitar um controle personalizado para qualquer tipo de necessidade, além de oferecer um fácil acesso a banco de dados (MARINI, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A construção do programa computacional, denominado ProgETE, foi dividida em três etapas. A primeira delas foi a definição do escopo do projeto e justificativas, ou seja, quais técnicas de tratamento de esgoto foram adotadas para o programa, seguidas da descrição dos critérios considerados para tal escolha.

A segunda etapa foi a concepção funcional e projeto do sistema. Nesta segunda etapa, foram definidos os modelos matemáticos estabelecidos pela literatura e normas vigentes utilizados para dimensionamento de estações de tratamento.

Em seguida, a terceira etapa consistiu-se da codificação do programa em si.

3.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

No intuito de elaborar um programa funcional e visando auxiliar projetistas, é imprescindível que as técnicas nele dimensionadas sejam as mais usuais aplicadas para o tratamento de esgoto, segundo sua utilidade no contexto atual de recursos utilizados. Foram escolhidas as técnicas mais frequentes para o sistema existente, de maneira geral. Além disso, foi analisada a importância de cada uma delas em relação à realidade do país.

Após análise dos fatores acima citados, foram escolhidas as seguintes técnicas de tratamento para o programa computacional:

- Fossas sépticas e sumidouro: além de ser uma realidade do Brasil, é a alternativa mais utilizada para regiões desprovidas de rede de esgoto;
- Tratamento preliminar: grade e desarenador;
- Tratamento primário: decantador primário;
- Tratamento secundário: sistema australiano (lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa) e reator UASB;
- Tratamento terciário: lagoas de maturação em série.

3.2 CONCEPÇÃO E PROJETO

Na fase de concepção e projeto do ProgETE, foram estabelecidos os requisitos e diretrizes essenciais para o funcionamento do programa computacional, projeto de interface e modelagem das informações. Foi utilizado um conjunto

coerente e coordenado de métodos de dimensionamento, de modo a evitar a subjetividade na execução do programa.

Será apresentado um roteiro, um processo dinâmico e interativo para desenvolvimento estruturado do *software*. Todos os métodos numéricos de dimensionamento, fórmulas e tabelas que foram inseridas no programa estão descritos a seguir.

3.2.1 Tanque Séptico e Sumidouro

Para o dimensionamento do volume útil de tanques sépticos, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$V = 1000 + N(C.T + K.Lf)$$

Em que 'V' é o volume útil em litros; 'N' é o número de contribuintes, ou população equivalente; 'K' é a taxa de acumulação de lodo em dias, de acordo com o intervalo entre limpezas a temperatura do mês mais frio (Tabela 4); 'T' é o período de detenção em dias (Tabela 4); 'C' é a contribuição de esgotos em litros por pessoa por dia (Tabela 5); e 'Lf' é a contribuição do lodo fresco em litros por pessoa por dia (Tabela 6).

Tabela 4: Taxa de acumulação total de lodo K (dias)

Intervalo entre limpezas (anos)	Temperatura ambiente (°C)		
	<10	10<T<20	>20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009).

Tabela 5: Período de detenção (T) em função da vazão afluyente (NC)

Contribuição (NC) Litros/dia	Período de detenção	
	horas	dias
Até 1500	24	1,00
1501 a 3000	22	0,92
3001 a 4500	20	0,83
4501 a 6000	18	0,75
6001 a 7500	16	0,67
7501 a 9000	14	0,58
Mais que 9000	12	0,50

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009).

Tabela 6: Contribuições unitárias de esgotos (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédios e de ocupantes (Litros/dia)

Parâmetros inorgânicos	Unidade	Contribuição C	Lodo fresco Lf
Ocupantes permanentes:			
- residência padrão alto	Pessoa	160	1,00
- residência padrão médio	Pessoa	130	1,00
- residência padrão baixo	Pessoa	100	1,00
- hotel	Pessoa	100	1,00
- alojamento provisório	Pessoa	80	1,00
Ocupantes temporários:			
- fábricas	Operários	70	0,30
- escritórios	Pessoa	50	0,20
- ed. públicos e comerciais	Pessoa	50	0,20
- escolas e locais de longa permanência	Pessoa	50	0,20
- bares	Pessoa	6	0,10
- restaurantes	Refeição	25	0,10
- cinemas, teatros, locais de curta permanência	Lugar	2	0,02
- sanitários públicos	Baciasanit.	480	4,00

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009).

Segundo a NBR 7229/1993, as medidas internas mínimas devem observar as informações da Tabela 7 e os dados abaixo:

- a) profundidade útil: varia entre os valores mínimos e máximos recomendados na Tabela 7, de acordo com o volume útil;
- b) diâmetro interno mínimo: 1,10 m;
- c) largura interna mínima: 0,80 m;
- d) relação comprimento/largura (para tanques prismáticos retangulares): mínimo 2:1; máximo 4:1.

Tabela 7: Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6	1,20	2,20
Entre 6 e 10	1,50	2,50
Acima de 10	1,80	2,80

Fonte: NBR 7229 (1993).

Pode-se observar a configuração final do Tanque Séptico na Figura 10.

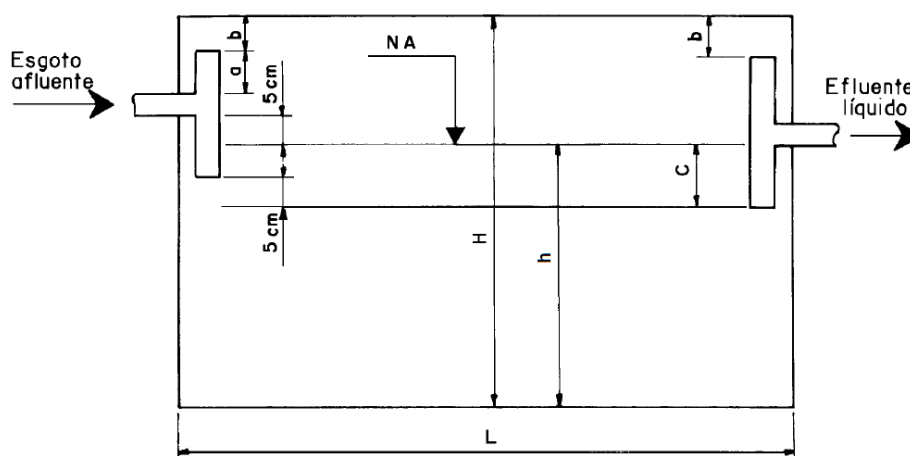


Figura 10: Corte Tanque Séptico

Fonte: NBR 7229 (1993)

Para o dimensionamento de sumidouros, de acordo com a NBR 13969/1997, a altura útil deve ser determinada de modo a manter distância vertical mínima de 1,50 m entre o fundo do poço e o nível máximo aquífero. O menor diâmetro interno do sumidouro deve ser de 0,30 m. O dimensionamento de sumidouros foi calculado a partir de:

$$C_i = \frac{490}{(t + 2,5)}$$

Em que 'C_i' é o coeficiente de infiltração; e 't' é o tempo de infiltração. Tem-se ainda que:

$$A_i = \frac{V}{C_i}$$

Em que 'A_i' é a área de infiltração; e 'V' é o volume de contribuição diária.

Essa área de infiltração é a superfície que está em contato com o solo, ou seja, a soma da área do fundo com a área das laterais do sumidouro, admitindo as seguintes fórmulas, dependendo do formato do sumidouro.

$$\text{Circular: } A = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh$$

Em que 'd' é o diâmetro do sumidouro e a 'h' a profundidade.

$$\text{Retangular: } A = ab + 2(a + b)h$$

Em que 'a' e 'b' são largura e comprimento, e 'h' a profundidade do sumidouro.

3.2.2 Tratamento Preliminar

3.2.2.1 Gradeamento

O espaçamento entre as barras no gradeamento é que define a quantidade de material será retida. Quanto menos espaçado, mais material será retido nessa primeira etapa, e é determinado dependendo do da necessidade de retenção do material. Tal espaçamento foi classificado de acordo com a Tabela 8 (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Tabela 8: Espaçamento entre barras

Tipo de grade	Milímetros
Grades grosseiras	40 a 100
Grades médias	20 a 40
Grades finas	10 a 20
Grades ultrafinas ou peneiras	3 a 10

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA(2009)

As espessuras das barras também variam conforme a necessidade de retenção do material, mas o fator que mais influencia é que as barras devem ser

resistentes o suficiente para suportar os impactos dos resíduos que nela colidem. A Tabela 9 apresenta as dimensões mais usuais nas barras, que foram utilizadas no programa (JORDÃO, PESSÔA, 2009).

Tabela 9: Dimensões das barras de gradeamento

Tipo de grade	Milímetros
Grade grosseira	9,5 X 50,0
	9,5 X 63,5
	12,7 X 38,1
	12,7 X 50,0
Grade média	7,9 X 50,0
	9,5 X 38,1
	9,5 X 50,0
Grade fina	6,4 X 38,1
	7,9 X 38,1
	9,5 X 38,1

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009)

Outra característica das barras de gradeamento é em relação à inclinação que elas são soldadas, mas isso se diferencia devido ao tipo de limpeza que é empregada nas barras, no caso de grades com limpeza manual, as barras são mais inclinadas, pois isso facilita a operação, já as grades com limpeza mecanizada podem ser inclinadas ou verticais (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

O dimensionamento dos componentes da etapa de gradeamento no programa consistiu em selecionar o tipo de grade que será empregada, bem como dimensionar o canal onde a grade será instalada.

Para selecionar o tipo de grade, necessita-se saber qual o nível de remoção desejado, determinando assim qual deve ser o espaçamento entre as barras, e conseqüentemente a espessura destas.

Com essas informações, pode-se então calcular qual a eficiência da grade, por meio da seguinte fórmula:

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

Em que 'E' é a eficiência da grade; 'a' o espaçamento entre as barras; e 't' a espessura das barras.

Porém para o dimensionamento final do gradeamento, é necessário saber qual a seção total do canal, que seria a soma da área ocupada pelas barras com a área livre entre as barras, que é a área de passagem do efluente, também chamada de área útil. Essa área foi dimensionada pela relação com a vazão do projeto, aliada com a velocidade de passagem do efluente, por meio da seguinte fórmula:

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

Em que 'Q' é a vazão do projeto; 'v' a velocidade de passagem; e 'Au' a área desejada.

Como já dito anteriormente, de acordo com Jordão e Pessôa (2009), a seção total do canal é a soma da área útil com a área das barras, que foi obtida pela relação dessa área útil com a eficiência da grade, dada pela fórmula abaixo:

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

Nessa etapa também calcula-se a perda de carga no final da grade, que é dada pela seguinte fórmula, de acordo com Metcalf (2003):

$$h = \frac{1}{C} \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2g} \right)$$

Em que 'C' é um coeficiente de perda de carga, adotado como 0,7. Outra constante presente na fórmula é a constante da gravidade, cujo valor adotado foi de 9,81 m/s². A velocidade à montante da grade é dada por 'v' e à jusante 'v₀'.

3.2.2.2 Remoção de Areia

No desarenador é necessário um controle para que a velocidade seja constante no valor de 0,30m/s, valor padronizado pela Norma Brasileira. Esse controle é feito através de uma Calha Parshall e de um rebaixo entre o desarenador e essa Calha Parshall.

Primeiramente a escolha da Calha Parshall é dada pela vazão máxima, de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10: Calhas Parshall

Dimensão	W	n	K
3"	0,076	1,547	0,176
6"	0,152	1,580	0,381
9"	0,229	1,530	0,535
1'	0,305	1,522	0,690
1 ½'	0,457	1,538	1,054
2'	0,610	1,550	1,426
3'	0,915	1,566	2,182
4'	1,220	1,578	2,935
5'	1,525	1,587	3,728
6'	1,830	1,595	4,515
7'	2,135	1,601	5,306
8'	2,440	1,606	6,101

Fonte: Adaptado de METCALFe EDDY (2003)

Também tabelados, são atribuídos os valores de três constantes, 'W', 'n' e 'K' para cada tamanho de Calha Parshall. Essas constantes são necessárias para o cálculo da altura do líquido para as três vazões conhecidas: vazão máxima, vazão média e vazão mínima.

A altura do líquido é dada por:

$$h = \left(\frac{Q}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Com isso encontramos valores de 'h' para as vazões máxima, média e mínima. Agora então calculamos o valor do rebaixo entre o desarenador e a Calha Parshall, dado por:

$$z = \frac{Q_{max} \cdot h_{min} - Q_{min} \cdot h_{max}}{Q_{max} - Q_{min}}$$

Pode-se observar a configuração do desarenador pela Figura 11.

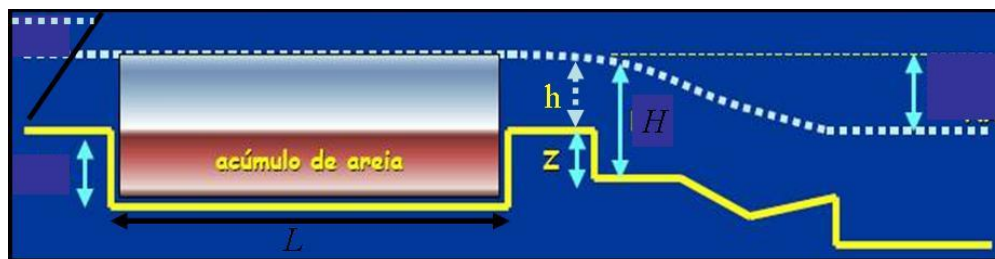


Figura 11: Corte Desarenador
 Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009)

Com o valor de 'z' conhecido, calculamos os valores da largura e comprimento, respectivamente, da seguinte forma:

$$b = \frac{Q_{med}}{v \cdot (h_{med} - z)}$$

$$L = 22,5 \cdot (h_{med} - z)$$

O valor adotado para 'v' é 0,3m/s, como mencionado anteriormente.

Para o comprimento foi usado o valor de 22,5 que foi adotado pelo fato de que o tamanho médio das partículas a serem retidas nessa etapa é de 0,2 mm, que possuem o valor médio de velocidade de sedimentação de 0,02 m/s.

Ou seja, com as velocidades de deslocamento vertical e horizontal, pode-se então fazer uma relação entre o comprimento e altura do desarenador. Como o valor da velocidade no eixo horizontal é 15 vezes maior que a velocidade do eixo vertical, o comprimento deve ser 15 vezes maior que a altura, porém adiciona-se um fator de segurança, consequência do efeito da turbulência. O fator de segurança comumente utilizado é de 50%, com isso o valor do comprimento deve ser 22,5 vezes maior que a altura.

3.2.3 Tratamento Primário

Para iniciar o dimensionamento do decantador primário precisa-se saber o valor da taxa de escoamento superficial, que de acordo com a NBR 12209/2011 deve atender aos seguintes critérios:

Taxa de escoamento superficial deve ser igual ou inferior a:

- 60m³/m².dia quando não precede tratamento biológico;
- 80m³/m².dia quando precede processo de filtração biológico;
- 120m³/m².dia quando precede processo de lodos ativados.

Esse valor também pode ser obtido por meio do gráfico da taxa de escoamento superficial pelo percentual de remoção de DBO, apresentado na Figura 12:

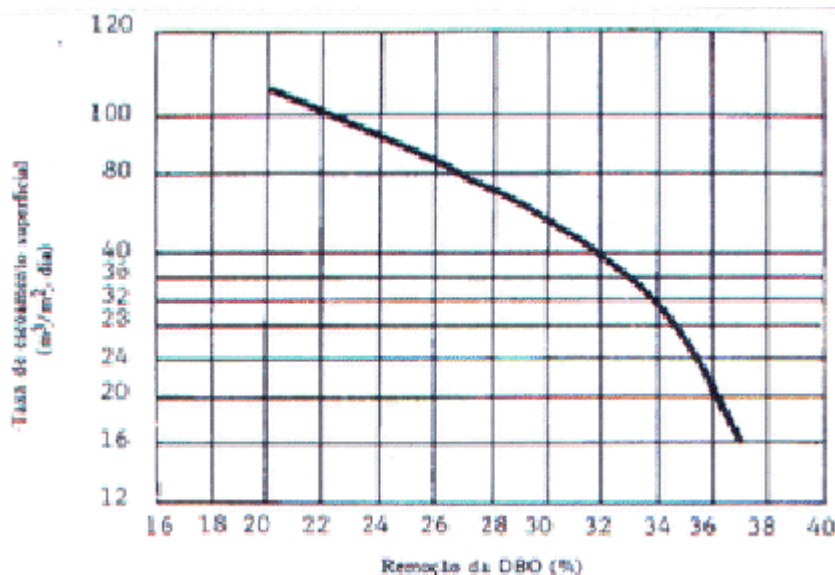


Figura 12: Relação taxa escoamento superficial x remoção DBO
 Fonte: JORDÃO; PESSOA, 2009

Com o valor da vazão e dessa taxa de escoamento superficial, calculamos então a área pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{Q_{max}}{v}$$

Em que 'v' é o valor da taxa de escoamento superficial.

A quantidade de decantadores está relacionada diretamente com a vazão máxima, a norma recomenda que quando a estação de tratamento de esgoto tiver vazão de dimensionamento superior a 250L/s, deve-se ter mais de um decantador primário.

Para o cálculo da área de cada decantador, basta dividir o valor total de área encontrado pelo número de decantadores adotado.

Com essas informações agora calcula-se as dimensões dos decantadores, que podem ser cilíndricos ou prismáticos retangulares.

Segundo Jordão e Pessoa (2009), para decantadores primários com geometria circular, o diâmetro deve estar entre 3 e 60 m, não se recomendando porém unidades com grandes diâmetros (normalmente entre 10 a 40 m). A profundidade lateral deve estar compreendida entre 2,5 a 4,0 m, sendo usual 3,0 a

3,5 m para esgoto primário apenas. A inclinação do fundo deve ser de 8 a 16%, sendo típico de 8%.

Ainda segundo Jordão e Pessoa (2009), a relação entre comprimento e profundidade para decantadores de geometria retangular deve ser menor ou igual a 25. A profundidade lateral deve estar entre 2,5 e 4,0. A relação entre comprimento e largura deve estar entre 3 e 10. A largura deve ser de 3 a 25 m, de acordo com o fabricante; tipicamente entre 5 e 10 m. O comprimento deve estar entre 10 a 90 m, porém não se recomenda unidades tão compridas; normalmente entre 25 a 40 m.

Todas as condições acima citadas foram utilizadas como critérios. O dimensionamento do decantador primário foi feito a partir das seguintes fórmulas:

3.2.4 Tratamento Secundário

3.2.4.1 Sistema Australiano

O sistema australiano é uma combinação de duas lagoas, a lagoa anaeróbia sucedida por uma lagoa facultativa.

Para o dimensionamento do volume total da lagoa anaeróbia é necessário o valor da carga de DBO afluente da lagoa e a taxa de aplicação volumétrica, calculado pela fórmula:

$$V = \frac{L}{L_v}$$

Em que 'L' é a carga e 'L_v' a taxa volumétrica.

Como o valor da taxa volumétrica interfere no cálculo do volume, deve atender para que o tempo de detenção hidráulica na lagoa anaeróbia seja entre 3 e 6 dias.

Para o dimensionamento das dimensões da lagoa, deve-se adotar um valor para a profundidade, que deve estar entre 3,5m e 5m. Já a relação comprimento pela largura nas lagoas anaeróbias é de valor 1.

Para a lagoa facultativa, é necessário como dado inicial a carga de DBO efluente da etapa anterior, ou seja, da lagoa anaeróbia, e também de uma outra taxa, a taxa de aplicação superficial, que tem como variável dependente a temperatura média do líquido no mês mais frio, e é calculada pela fórmula:

$$L_s = 350 (1,107 - 0,002 \cdot T)^{(T-25)}$$

Logo, a área é dada por:

$$A = \frac{L}{L_s}$$

'L' é a carga e 'L_s' é a taxa de aplicação superficial.

A relação entre comprimento e largura deve ser de 2 a 4, e a profundidade deve estar entre 1,5m e 3m, desde que o volume total da lagoa se adeque ao tempo de detenção hidráulica, que deve estar entre 15 e 45 dias. Um modelo do Sistema Australiano é mostrado na Figura 13.

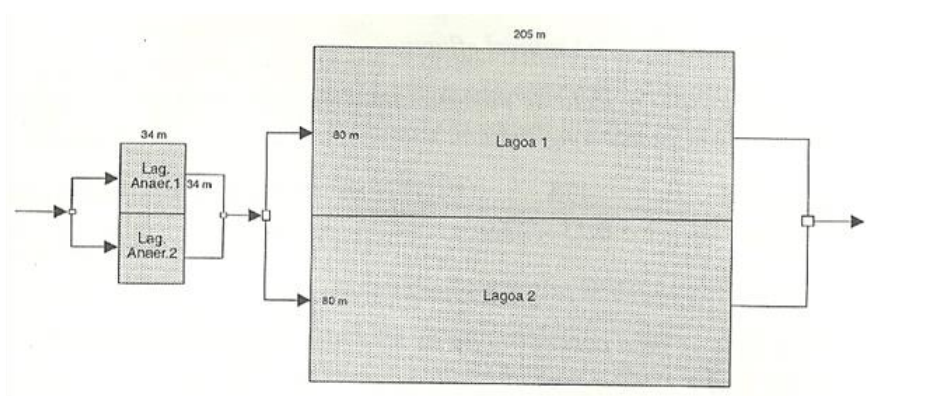


Figura 13: Exemplo de dimensionamento de Sistema Australiano
Fonte: Sperling (1996)

3.2.4.2 Reator UASB

Outro método para o tratamento secundário é o reator UASB, nessa etapa é o usuário que entra com o valor do tempo de detenção hidráulica, valores descritos conforme Tabela 11.

Tabela 11: Tempo de detenção hidráulico

Temperatura (°C)	Tempo médio (horas)
15 – 18	≥10
18 – 22	≥8
22 – 25	≥7
> 25	> 6

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (2007)

Fixado o tempo de detenção hidráulico, obtém-se imediatamente o volume do reator de acordo com a fórmula:

$$V = Q \times t$$

Apesar de não constar nenhuma restrição quanto ao volume máximo dos reatores, recomenda-se que os valores não ultrapassem 2500m³. Dependendo do volume total necessário, adota-se então um maior número de reatores.

A profundidade útil do reator UASB foi adotada entre 4m e 5m para o programa.

Com os dados de volume e profundidade, calcula-se então a área necessária para os reatores.

$$A = \frac{V}{H}$$

3.2.5 Tratamento Terciário

A forma de tratamento terciário adotado pelo programa foi a de lagoas de maturação em série. Os parâmetros sugeridos pelo programa são de no mínimo três lagoas e no mínimo três dias de detenção em cada lagoa.

Com essas informações tem-se o volume total necessário pela fórmula:

$$V = t \cdot Q \cdot n$$

Em que 't' é o tempo de detenção, 'Q' é a vazão e 'n' o número de lagoas.

A profundidade recomendada para as lagoas de maturação é de 0,8m até 1,5m.

Com cálculo geométrico descobre-se a área para cada uma das lagoas de maturação, cuja geometria é quadrada, ou seja, relação entre o comprimento e a largura é 1.

Para o cálculo de eficiência da lagoa maturação, usa-se os valores de entrada e saída de coliformes fecais. O número de saída de coliformes fecais é obtido pela fórmula:

$$N = \frac{N_0}{\left(1 + K_b \cdot \frac{t}{n}\right)^n}$$

3.3 CODIFICAÇÃO DO PROGRAMA

A terceira etapa de metodologia do projeto, codificação do programa computacional, foi realizada utilizando-se a linguagem de programação *Visual Basic*. É uma linguagem de programação produzida pela empresa *Microsoft*, e é parte integrante do pacote *Visual Studio*, que permite criar programas do *Microsoft Windows* de maneira rápida e simplificada.

Foi utilizado o programa *Microsoft Visual Basic 2010 Express*, ferramenta específica para desenvolvimento de *softwares* na plataforma *Microsoft.NET Framework*.

Foram dadas ao usuário duas opções de dimensionamento na tela inicial. Ele pode optar pelo dimensionamento de tanques sépticos e sumidouros ou tratamento completo.

A solução computacional consistiu-se basicamente na entrada dos dados característicos do sistema estudado pelo usuário, obtenção dos resultados para dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto, através dos modelos matemáticos apresentados anteriormente, e a saída dos dados na interface do programa, de forma clara e objetiva.

O primeiro passo para a programação é a declaração das variáveis a serem utilizadas na função específica. A título de exemplo, na Figura 14 é mostrada a declaração de variáveis para o cálculo das vazões de projeto. Neste caso, o usuário entra com os dados de população (armazenado na variável P) e de consumo de água per capita (armazenado na variável q). As demais variáveis apresentadas são os dados de saída da função, ou seja, vazões mínima, média e máxima.

```
Dim P As Double 'população
Dim q As Double 'consumo per capita
Dim Q_max As Double
Dim Q_med As Double
Dim Q_min As Double
```

Figura 14: Declaração de variáveis para cálculo da população

Fonte: Autoria própria

Após a declaração das variáveis, é feita a conversão das fórmulas de cálculo de vazões em linguagem de programação. Na Figura 15 é mostrada a função que calcula as vazões para o projeto, denominada `calcula_pop()`.

```

Sub calculo_pop()

    If IsNumeric(txtbox_pop.Text) Then
        P = txtbox_pop.Text
    End If

    If IsNumeric(txtbox_q.Text) Then
        q = txtbox_q.Text
    End If

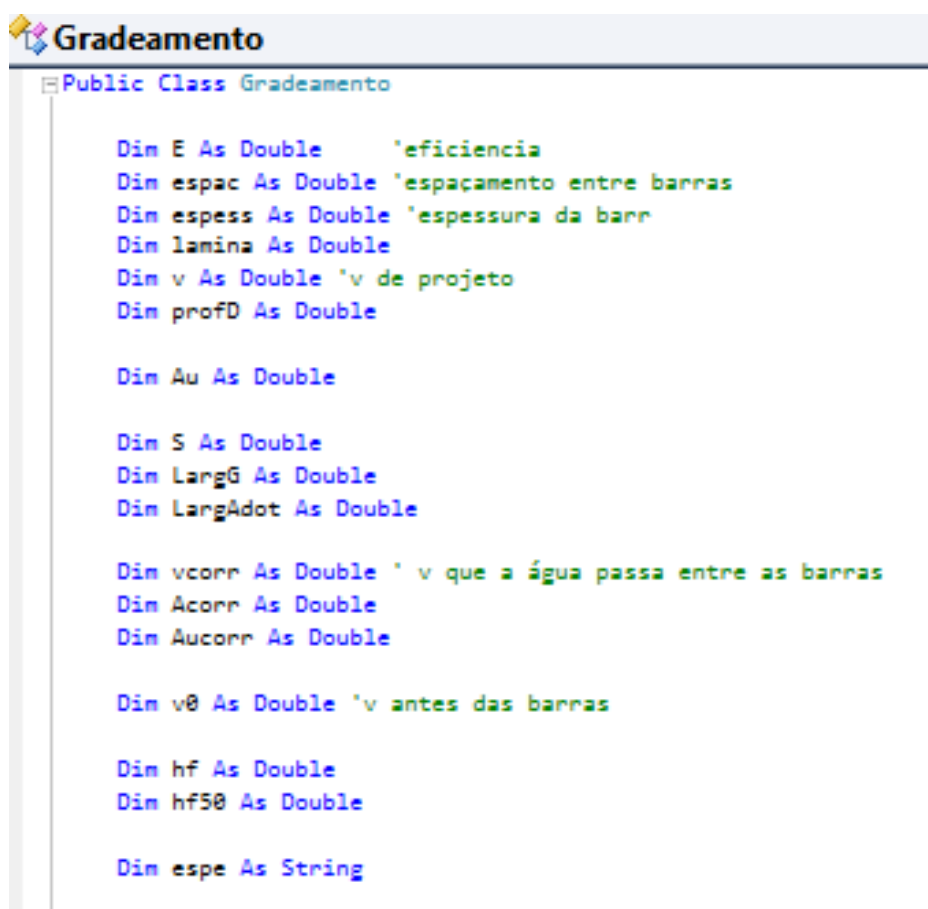
    Q_max = (0.8 * P * 1.2 * 1.5 * q) / 86400
    Q_med = (0.8 * P * q) / 86400
    Q_min = (0.8 * P * q * 0.5) / 86400

End Sub

```

Figura 15: Código para cálculo das vazões
 Fonte: Autoria própria

Ainda a título de exemplo, será apresentada a codificação do dimensionamento do Gradeamento. Na Figura 16 é mostrada como foram declaradas as variáveis utilizadas.



```

Gradeamento
Public Class Gradeamento

    Dim E As Double 'eficiencia
    Dim spac As Double 'espaçamento entre barras
    Dim espess As Double 'espessura da barr
    Dim lamina As Double
    Dim v As Double 'v de projeto
    Dim profD As Double

    Dim Au As Double

    Dim S As Double
    Dim LangG As Double
    Dim LangAdot As Double

    Dim vcorr As Double ' v que a água passa entre as barras
    Dim Acorr As Double
    Dim Aucorr As Double

    Dim v0 As Double 'v antes das barras

    Dim hf As Double
    Dim hf50 As Double

    Dim espe As String

```

Figura 16: Declaração de variáveis para cálculo do gradeamento
 Fonte: Autoria própria

Na Figura 17 é mostrado o código elaborado para realizar o dimensionamento da etapa de Gradeamento. Este cálculo é executado pela função `calcula_grad()`.

```

Gradeamento - calcula_grad

Sub calcula_grad()
    updi_espac.Minimum = 10
    updi_espac.Maximum = 100

    If cmbbx_espess.SelectedItem = "9,5 x 50,0 mm" Or cmbbx_espess.SelectedItem = "9,5 x 63,5 mm" Or cmbbx_espess.SelectedItem = "9,5 x 38,1 mm" Then
        espess = 9.5
    End If

    If cmbbx_espess.SelectedItem = "12,7 x 38,1 mm" Or cmbbx_espess.SelectedItem = "12,7 x 50,8 mm" Then
        espess = 12.7
    End If

    If cmbbx_espess.SelectedItem = "7,9 x 50,8 mm" Or cmbbx_espess.SelectedItem = "7,9 x 38,1 mm" Then
        espess = 7.9
    End If

    If cmbbx_espess.SelectedItem = "6,4 x 38,1 mm" Then
        espess = 6.4
    End If

    espac = 10
    espac = updi_espac.Value

    If IsNumeric(txtbox_veloc_projeto.Text) Then
        v = txtbox_veloc_projeto.Text
    End If

    E = (espac / (espess + espac))

    Au = (Q_max / 1000) / v

    S = Au / E

    If IsNumeric(txtbox_altura_lamina.Text) Then
        lamina = txtbox_altura_lamina.Text
    End If

    LangG = S / lamina

    If LangG > -1 And LangG < 2000 Then
        lbl_largura_calculo.Text = "A largura de cálculo é: " & Format(LangG, "0.##") & " m"
    Else
        lbl_largura_calculo.Text = ""
    End If

    If IsNumeric(txtbox_largura_adotada.Text) Then
        LangAdot = txtbox_largura_adotada.Text
    End If

    Aconn = lamina * LangAdot

    Auconn = E * Aconn

    vconn = (Q_max / 1000) / Auconn

    v0 = (Q_max / 1000) / Aconn

    hf = (1 / 0.7) * (((vconn ^ 2) - (v0 ^ 2)) / (2 * 9.81))
    hf50 = (1 / 0.7) * (((vconn * 2) ^ 2) - (v0 ^ 2)) / (2 * 9.81)

```

Figura 17: Código para dimensionamento do Gradeamento
 Fonte: Autoria própria

Para cada etapa do tratamento de esgoto dimensionada neste programa é seguido o mesmo raciocínio apresentado acima, ou seja, em formulários diferentes são declaradas todas as variáveis a serem utilizadas. Em seguida, é desenvolvida uma função equivalente que efetua os cálculos demonstrados no tópico 3.2 do presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de criar um programa funcional e prático que auxilie no planejamento de processos de decisão no dimensionamento de estações de tratamento de esgoto e também como uma possibilidade de incrementar aulas didáticas relacionadas com o tema, diversas ferramentas de programação foram aplicadas no desenvolvimento deste programa computacional.

Através de uma interface clara e de simples compreensão, o usuário pode facilmente fornecer os dados solicitados pelo programa e alterar os dados de entrada a qualquer momento, no intuito de comparar resultados finais de acordo com alterações de parâmetros iniciais de projeto.

Em todas as telas de interação há botões que permitem ao usuário seguir para o próximo passo ou então voltar a página de apresentação.

4.1 TELA DE APRESENTAÇÃO

A tela de apresentação do ProgETE mostra o título do trabalho, bem como o nome dos autores do projeto, do professor orientador e o nome da instituição de ensino, e demais informações introdutórias, como se pode observar na Figura 18.

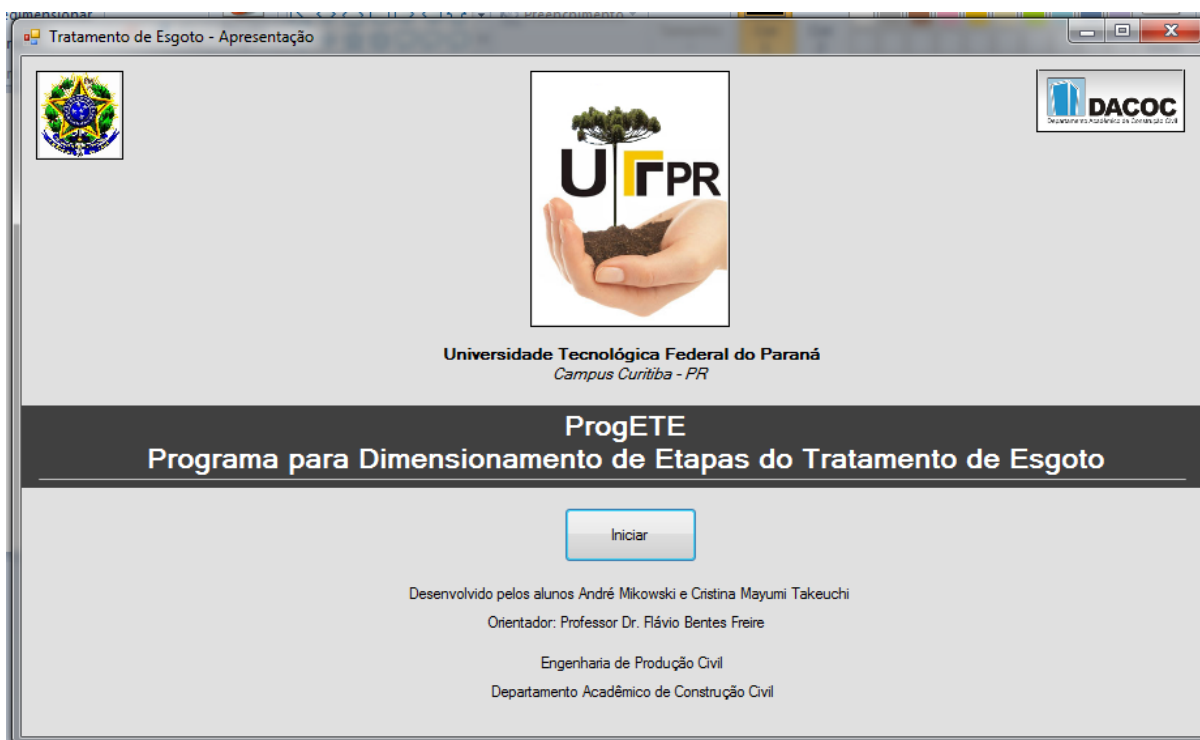


Figura 18: Tela de apresentação
Fonte: Autoria própria

4.2 TELA INICIAL

A tela inicial do programa, denominada “Home”, apresenta duas opções para o usuário, conforme a Figura 19. A primeira delas é referente à opção do Tratamento Estático, e a outra é referente ao Tratamento Completo, que abrange algumas das etapas de tratamento de esgoto. Esta tela permite ao usuário escolher qual dos dois tratamentos ele deseja seguir.

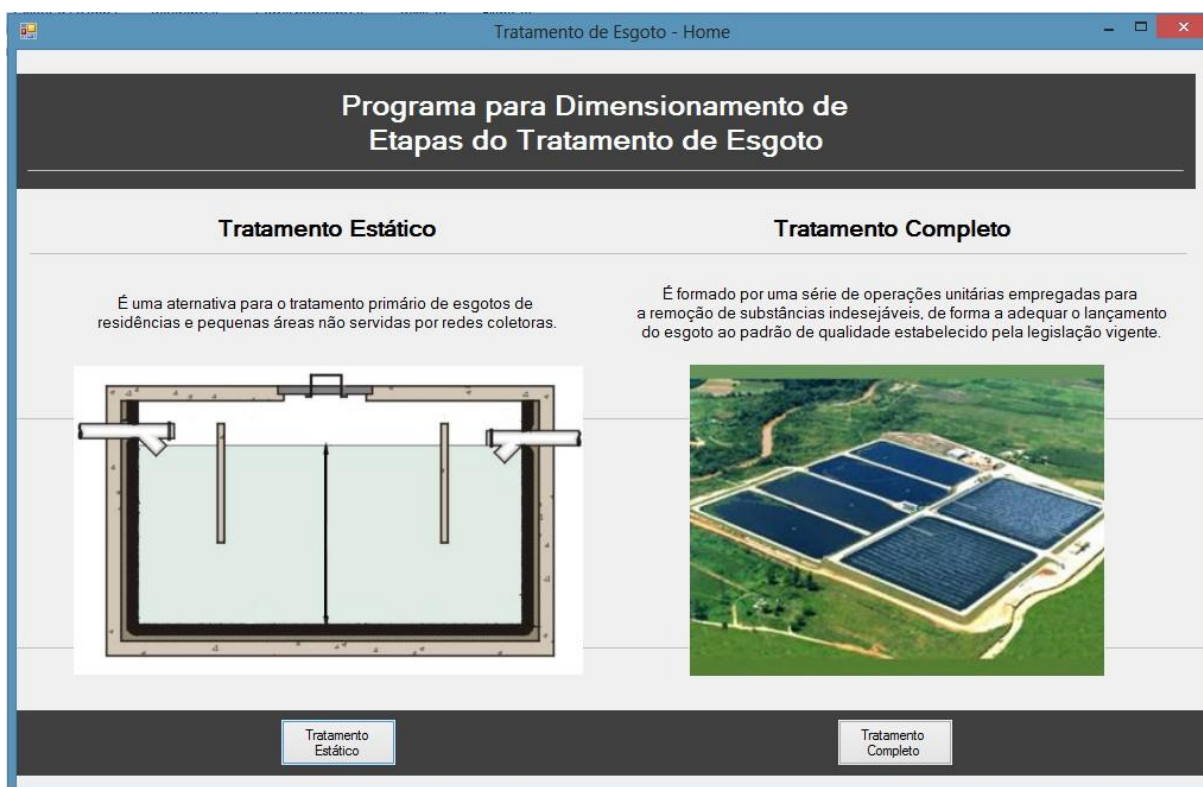


Figura 19: Tela inicial
Fonte: Autoria própria

4.3 TRATAMENTO ESTÁTICO

4.3.1 Tanque Séptico

Logo após o usuário selecionar a opção de Tratamento Estático, a tela de Tanque Séptico é exibida. Na Figura 20, mostra-se o resultado exibido pelo programa, obtido através de uma simulação utilizando-se os dados a seguir:

Tipo de prédio: Residência de alto padrão

Número de contribuintes: 20

Intervalo entre limpezas: 1 ano

Temperatura Ambiente: 10° C a 20° C

Profundidade Útil: 1,5m

Distância a e b: 5cm (Medida a e b mostrada no desenho)

Altura Interna: 1,6m

Geometria do Tanque: Prismático Retangular

Comprimento: 3m (Valor mínimo sugerido pelo programa é de 2,58 m)

Largura: 1,5m (Valor sugerido pelo programa entre 1,1m e 1,5m)

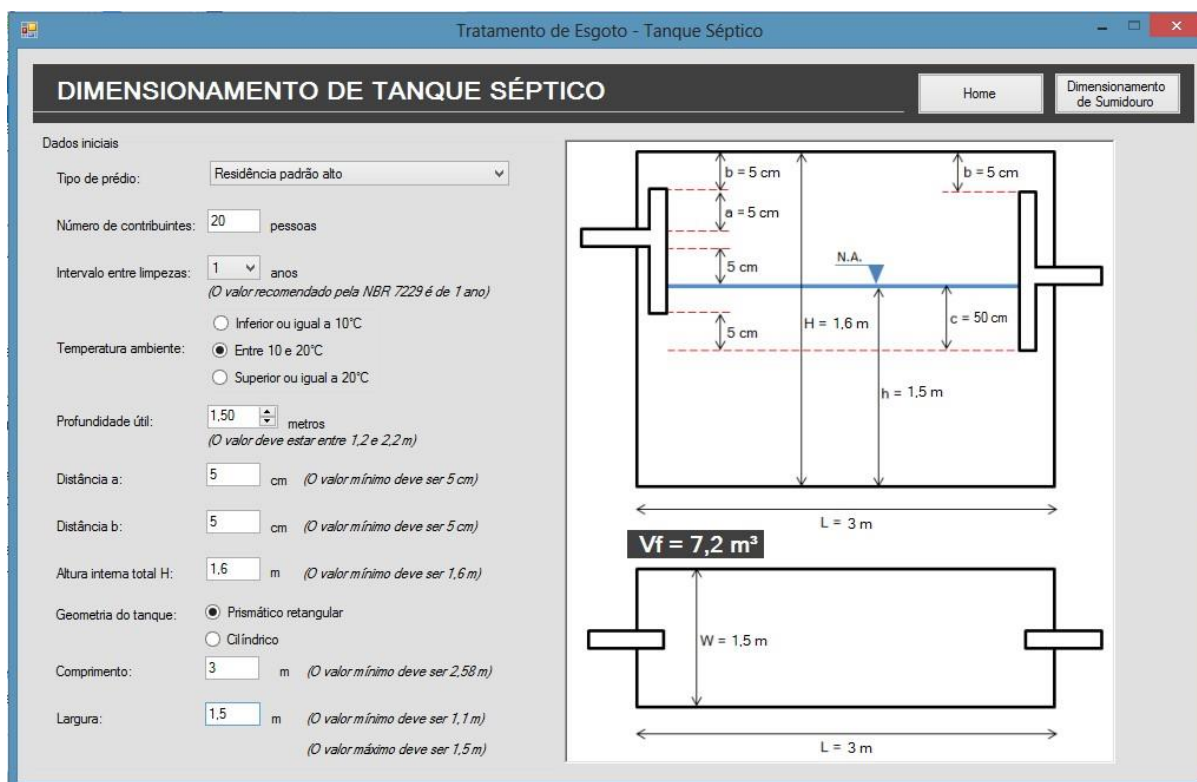


Figura 20: Tanque séptico retangular

Fonte: Autoria própria

Caso a geometria do tanque seja diferente, foram utilizados os dados abaixo:

Geometria do Tanque: Circular

Diâmetro: 2,10 m (Valor mínimo sugerido pelo programa é de 2,05 m)

Na Figura 21, mostra-se o resultado exibido pelo programa.

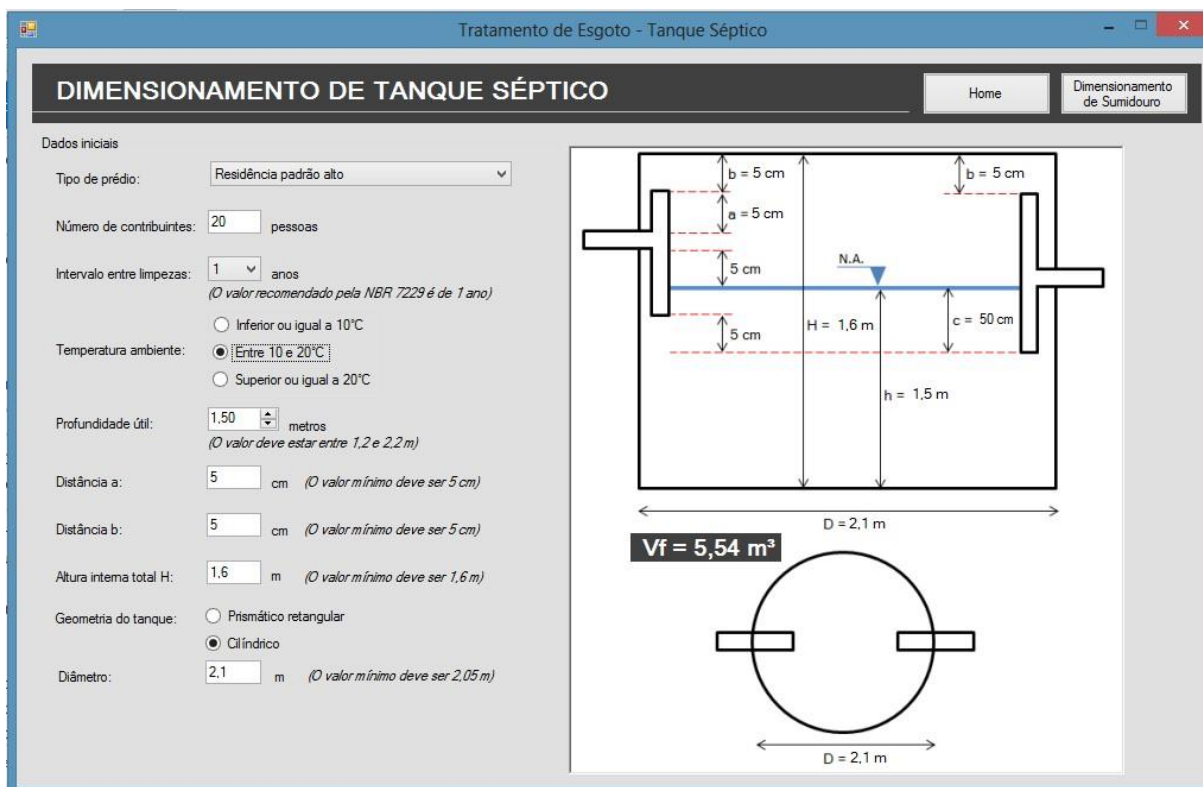


Figura 21: Tanque séptico circular

Fonte: Autoria própria

Pode-se verificar pela Figura 20 e Figura 21 que o programa calcula e imprime o volume final da fossa séptica e imprime também diretamente no desenho a cota de medida em corte e em planta, para que o usuário possa melhor compreender quais são as medidas que ele está dimensionando a cada passo.

Além disso, pelas relações mínimas e máximas estabelecidas por norma entre comprimento e largura do tanque, e também pelas relações de volume útil, o programa calcula o intervalo de dados possíveis que podem ser digitados de modo a atender a norma vigente.

4.3.2 Sumidouro

Logo após o dimensionamento do Tanque Séptico, o programa segue para a etapa de dimensionamento do Sumidouro. Na Figura 22, mostra-se a configuração do programa caso o usuário opte por um sumidouro prismático retangular. Os dados utilizados para esta simulação foram os seguintes:

Tempo de infiltração - 5 minutos

Profundidade da superfície do aquífero – 10m

Profundidade Sumidouro – 6m (Valor máximo sugerido pelo programa de 8,5m)

Geometria do Sumidouro -Prismático retangular

Comprimento - 2,5 m

Largura - 1,4 m

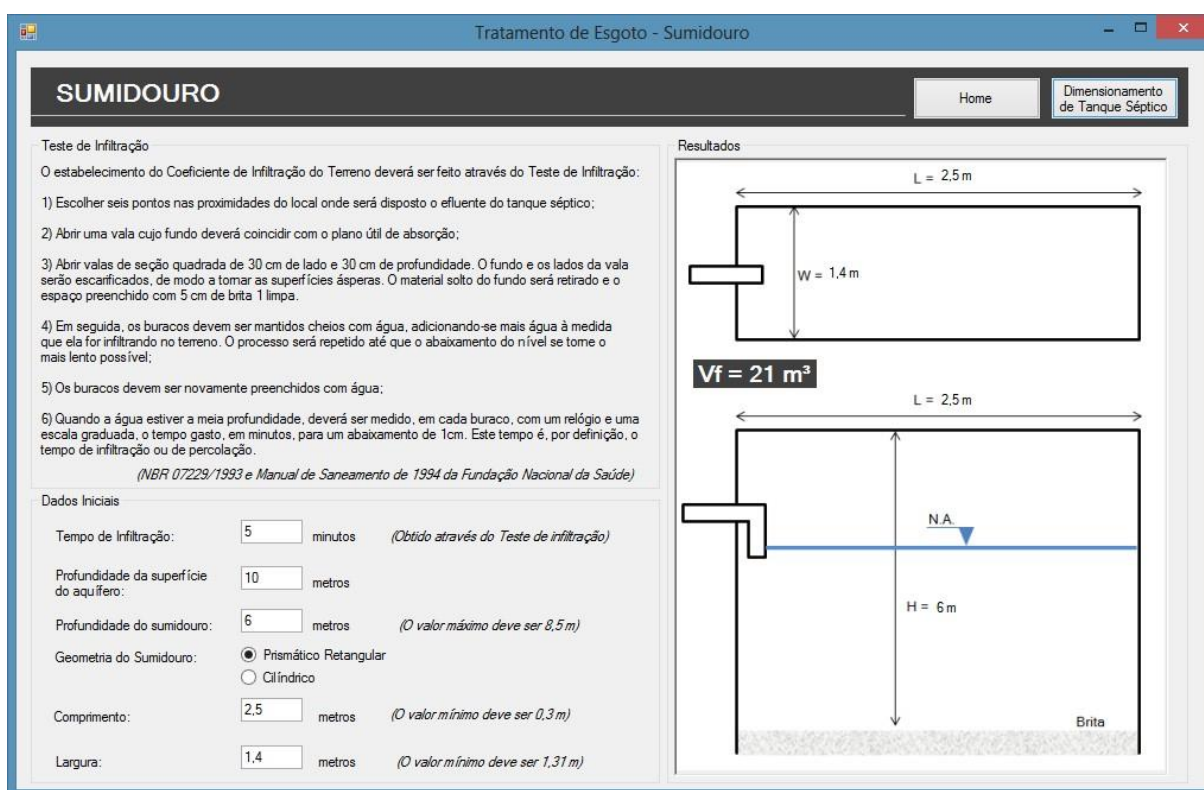


Figura 22: Sumidouro prismático retangular

Fonte: Autoria própria

Já na Figura 23, observa-se a configuração da tela caso o usuário opte por um sumidouro cilíndrico. Os dados utilizados para esta simulação foram os seguintes:

Geometria do Sumidouro - Cilíndrico

Diâmetro - 2,4m (Valor mínimo sugerido pelo programa de 2,37m)

SUMIDOURO

Home | Dimensionamento de Tanque Séptico

Teste de Infiltração

O estabelecimento do Coeficiente de Infiltração do Terreno deverá ser feito através do Teste de Infiltração:

- 1) Escolher seis pontos nas proximidades do local onde será disposto o efluente do tanque séptico;
- 2) Abrir uma vala cujo fundo deverá coincidir com o plano útil de absorção;
- 3) Abrir valas de seção quadrada de 30 cm de lado e 30 cm de profundidade. O fundo e os lados da vala serão escarificados, de modo a tomar as superfícies ásperas. O material solto do fundo será retirado e o espaço preenchido com 5 cm de brita 1 limpa.
- 4) Em seguida, os buracos devem ser mantidos cheios com água, adicionando-se mais água à medida que ela for infiltrando no terreno. O processo será repetido até que o abaixamento do nível se tome o mais lento possível;
- 5) Os buracos devem ser novamente preenchidos com água;
- 6) Quando a água estiver a meia profundidade, deverá ser medido, em cada buraco, com um relógio e uma escala graduada, o tempo gasto, em minutos, para um abaixamento de 1cm. Este tempo é, por definição, o tempo de infiltração ou de percolação.

(NBR 07229/1993 e Manual de Saneamento de 1994 da Fundação Nacional da Saúde)

Dados Iniciais

Tempo de Infiltração: minutos *(Obtido através do Teste de infiltração)*

Profundidade da superfície do aquífero: metros

Profundidade do sumidouro: metros *(O valor máximo deve ser 8,5 m)*

Geometria do Sumidouro: Prismático Retangular Cilíndrico

Diâmetro: metros *(O valor mínimo deve ser 2,37metros)*

Resultados

$D = 2,4\text{ m}$

$V_f = 4,52\text{ m}^3$

$D = 2,4\text{ m}$

$H = 6\text{ m}$

N.A.

Brita

Figura 23: Sumidouro circular

Fonte: Autoria própria

No início da tela, pode-se observar que há uma breve explicação de como é o funcionamento do Teste de Infiltração do Terreno. Isto é feito pois o usuário deverá entrar com o dado resultante deste teste logo no início da tela.

Pode-se verificar pelas imagens que o programa calcula o volume final do sumidouro e imprime direto no desenho a cota de medida em corte e em planta, para que o usuário possa melhor compreender quais são as medidas que ele está dimensionando a cada passo, como no item acima.

Assim como na tela de Tanque Séptico, aqui o programa também compreende a limitação de valores de acordo com os parâmetros de comprimento e largura, e também considerando que as dimensões do sumidouro devem atender ao volume útil previamente calculado.

4.4 TRATAMENTO COMPLETO

Caso o usuário selecione a opção de Tratamento Completo, ele seguirá para o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto, que é subdividido em diversas etapas.

Primeiramente o usuário fornece dados característicos do município a ser estudado, que incluem população a ser atendida pela estação de tratamento de esgoto e o consumo de água per capita. Assim, o programa imprimirá os resultados para vazão mínima, média e máxima.

4.4.1 Tratamento Preliminar

A primeira etapa do Tratamento Preliminar é o Gradeamento. Os dados considerados para esta simulação foram:

População - 25000 habitantes

Consumo de água per capita - 200 L/dia

Espaçamento entre barras - 20 mm

Espessura das barras - 9,5mm x 50mm

Velocidade máxima de projeto - 0,4m/s

Altura lâmina d'água - 0,4m

Largura - 0,8 m (Valor sugerido pelo programa de 0,77m)

Para estes dados, o programa calcula os seguintes resultados:

Vazão mínima: 23,15 L/s

Vazão média : 46,3 L/s

Vazão máxima: 83,33 L/s

Perda de carga na grade - 0,0058m

Perda de carga para grade suja (50%) - 0,038m

Os detalhes do dimensionamento citado acima estão demonstrados na Figura 24.

Tratamento Preliminar

GRADEAMENTO Home Próximo

Dados do município

População: habitantes

Consumo de água per capita: L/hab.dia

Coefficiente de retorno adotado: 0,8

Resultados das vazões

Vazão mínima: 23,15 L/s

Vazão média: 46,3 L/s

Vazão máxima: 83,33 L/s

Dados Iniciais

Espaçamento entre barras: mm *(O valor deve estar entre 10 e 100 mm)*

Espessura das barras: mm

Velocidade máxima no canal: m/s

Altura da lâmina d'água: m

A largura de cálculo é: 0,77 m

Largura adotada: m

Resultados do Gradeamento

Tipo de grade: Grade Média

Seção do canal: 0,32 m²

Largura do canal: 0,8 m

Perda de carga na grade: 0,0058 m

Perda de carga na grade (suja): 0,038 m

Figura 24: Gradeamento

Fonte: Autoria própria

Logo após, tem-se o dimensionamento do Desarenador, como demonstrado na Figura 25. Para esta simulação foram adotados os dados abaixo:

Rebaixo z - 0,09m (Programa sugere valor de 0,09m)

Largura adotada - 0,9m (Valor sugerido de 0,89m)

Comprimento – 4m (Valor sugerido de 3,9m)

Além desses dados, o programa imprime o valor da Calha Parshall de 6".

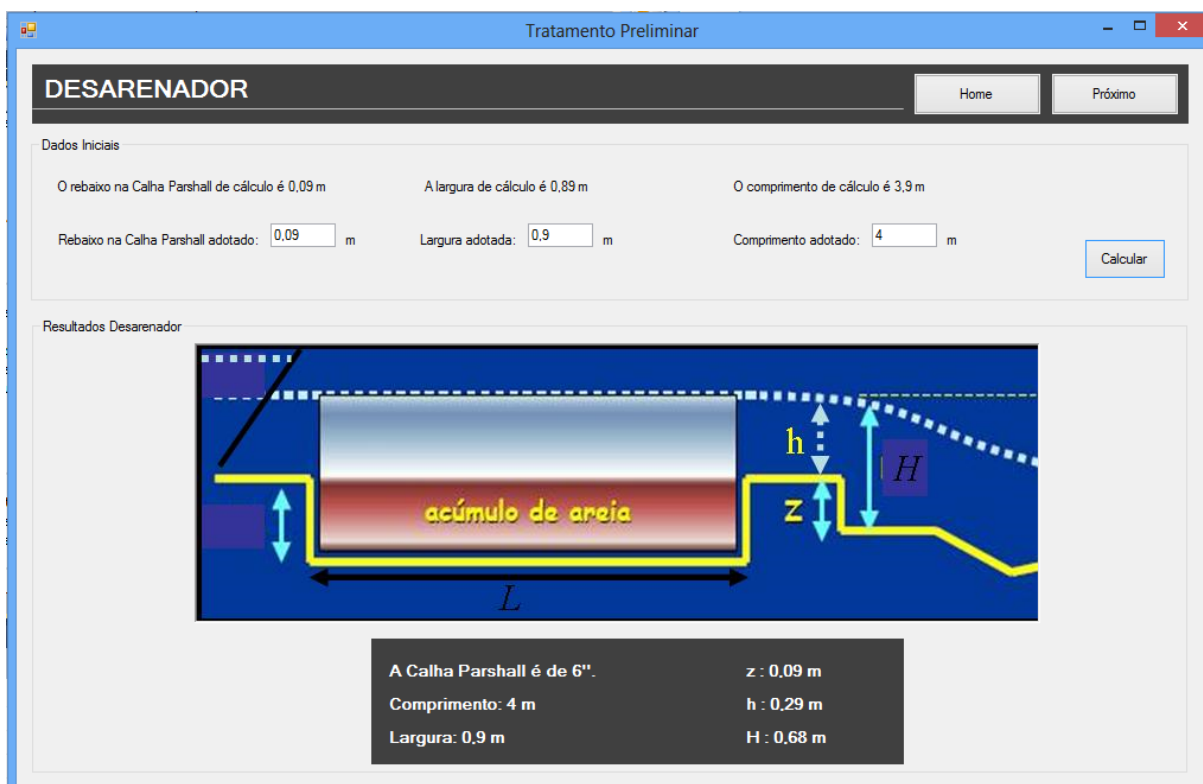


Figura 25: Calha Parshall e desarenador
 Fonte: Autoria própria

4.4.2 Tratamento Primário

Para esta etapa, será dimensionado o Decantador primário, como representado na Figura 26. No programa são mostrados os valores apresentados pela norma e o usuário analisa os dados de um gráfico fornecido pelo programa da taxa de escoamento superficial x remoção DBO (%), e insere todos os dados requisitados. Os dados utilizados para esta simulação foram:

Taxa escoamento superficial – $60\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Remoção DBO - 30%

Número de decantadores - 1

Concentração DBO - 600 mg/L

Geometria - Cilíndrico

Profundidade – 4m (Programa informa que o valor deve estar entre 2,50m e 4,00m)

Inclinação do fundo - 10% (Valores usuais entre 8% e 16%)

Diâmetro adotado - 12,5m (Valor sugerido pelo programa de 12,36m)

Tratamento Primário

DECANTADOR PRIMÁRIO

Home
Proximo

Dados iniciais

ABNT NBR 12290/92
A taxa de escoamento superficial deve ser menor ou inferior a:

a) 60 m³/m².dia Quando não precede tratamento biológico;
b) 80 m³/m².dia Quando precede processo de filtração biológica;
c) 120 m³/m².dia Quando precede processo de lodos ativados.

Taxa de escoamento superficial: m³/m².dia

Remoção de DBO: %

Dados iniciais

Número de decantadores: decantadores (O valor mínimo deve ser de 1)

Concentração DBO do afluente: mg/L

Geometria do decantador: Prismático retangular
 Cilíndrico

Profundidade lateral: m (O valor deve estar entre 2,5 e 4 metros)

Inclinação do fundo: % (O valor deve estar entre 8 e 16%)

O diâmetro de cálculo é: 12,36 m

Diâmetro: m

Resultados por unidade de decantador

Profundidade do decantador: 4 m

Concentração de saída: 420 mg/L **Diâmetro do decantador: 12,5 m**

Volume total do decantador: 516,44 m³

Figura 26: Decantador primário

Fonte: Autoria própria

Neste caso, foi escolhida geometria cilíndrica para o Decantador Primário. Porém, se o usuário preferir, ele pode alterar a geometria para prismática retangular, e redimensionar o decantador da maneira que preferir.

Caso o usuário não deseje utilizar o decantador primário, ele deve preencher apenas o campo 'Concentração DBO do afluente' com o valor adotado, com 0 (zero) no campo 'Remoção de DBO'.

4.4.3 Tratamento Secundário

Para o tratamento secundário, foram dadas ao usuário duas opções diferentes de dimensionamento, que não podem ser usadas simultaneamente para evitar o uso de tecnologias que são de certa forma análogas no que tange a eliminação de matéria orgânica. Essas opções são: Lagoa Facultativa e Reator UASB, como representado na Figura 27.



Figura 27: Escolha do tratamento secundário

Fonte: Autoria própria

A tela para o dimensionamento de Sistema Australiano está ilustrada na Figura 28. Os dados da simulação para Sistema Australiano foram:

Temperatura média do líquido - 18°C

Taxa de Aplicação Volumétrica - 0,1 kgDBO/m³.dia

O programa informa o tempo de detenção, que nesse caso foi de 4,2 dias.

Caso o valor calculado seja menor que 3 ou maior que 6 dias, o programa informa que o valor encontrado está fora do usual e sugere que altere o valor da taxa de aplicação volumétrica.

Profundidade lagoa anaeróbia - 4 (Programa informa que valor deve estar entre 3,5m e 5m)

Eficiência - 45%

Número de Lagoas Anaeróbias - 2

Profundidade lagoa facultativa - 3 (Programa informa valor entre 1,5m e 3m)

Número de lagoas facultativas - 2

Relação Comprimento/Largura - 2,5 (Entre 2 e 4)

Eficiência - 80%

Então o programa imprime os seguintes resultados na tela:

Volume de cada lagoa anaeróbia: 15.120m³

Dimensão Lagoa: 61,48m x 61,48m

Tempo de retenção lagoa facultativa: 32 dias
 Comprimento cada lagoa facultativa: 309,85m
 Largura da lagoa: 123,94m

Figura 28: Sistema australiano
 Fonte: Autoria própria

Na Figura 29, tem-se a tela para a escolha de Reator UASB. Os dados selecionados para a simulação foram:

Concentração média DQO - 600 mg/L
 Tempo de retenção hidráulica - 10 horas (TDH mínimo de 8h)
 Número de reatores - 2 reatores (Valor sugerido de 2)
 Profundidade – 4m (Programa informa valor entre 4m e 5m)
 Então o programa informa que área mínima de cada reator é 208,33m²
 Largura – 15m
 Comprimento – 14m

REATOR UASB

Home Próximo

Dados iniciais

Temperatura: °C

Concentração média de DQO: mg/L

Tempo de detenção hidráulica: horas *(O valor mínimo deve ser de 8 h)*

Número de módulos de reatores: unidades
(O valor mínimo deve ser de 2 reator(es))

Profundidade: m *(O valor deve estar entre 4 e 5 m)*

A área mínima de cada reator é 208,33 m²

Largura: m

Comprimento: m *O valor mínimo é 13,89 m*

Resultados Reator UASB

Largura : 15 m

Comprimento: 14 m

Área: 420 m²

Volume: 1680 m³

TDH: 10,08 horas

DBO de saída: 92,6 mg/L

DQO de saída: 181,74 mg/L

Eficiência: 77,95%

Figura 29: Reator UASB
Fonte: Autoria própria

4.4.4 Tratamento Terciário

Por fim, para a última etapa do tratamento de esgoto, está dimensionada a Lagoa de maturação, conforme apresentado na Figura 30. Os dados para esta simulação foram:

Quantidade de lagoas - 3

Tempo de detenção em cada lagoa - 3 dias

Profundidade – 1m (Entre 0,8m a 1,5m)

Lado de cada lagoa – 85m (Programa sugere valor mínimo de 84,85m)

Tratamento Terciário

LAGOA DE MATURAÇÃO EM SÉRIE

Home Fechar

Dados iniciais

Concentração de coliformes fecais no esgoto bruto: CF/100 ml

Coefficiente de caimento bacteriano: 1/dia

Quantidade de lagoas em serie: lagoas
(Ideal: mais de 3 lagoas)

Tempo de detenção em cada lagoa: dias
(Indicado: mais de 3 dias)

Profundidade: m
(O valor deve estar entre 0,8 e 1,5 m)

Lado da lagoa: m
(O valor mínimo de cada lagoa deve ser de 84,85 m)

Calcula

Resultados

Lado de cada lagoa: 85 m

Profundidade de cada lagoa: 1 m

Área de cada lagoa: 7200 m²

Volume de cada lagoa: 7200 m³

Eficiência: 93,6 %

Figura 30: Lagoas de maturação
Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÕES

Este trabalho foi proposto com o objetivo inicial de desenvolver um sistema informatizado para contribuir com a tomada de decisão no projeto de estações de tratamento de esgoto. Através do estudo do tema e da literatura, foi possível identificar claramente as unidades usuais no tratamento de esgoto sanitário, sobretudo no que diz respeito ao nível secundário, uma vez que inúmeras opções são possíveis.

Foram escolhidas algumas dessas unidades para a elaboração do ProgETE. Todas as variáveis que interferem no dimensionamento das unidades escolhidas foram identificadas e estudadas, possibilitando seu equacionamento matemático. Constatou-se que é simples o equacionamento necessário para um dimensionamento inicial das unidades de tratamento, o que contribui para a universalização do atendimento.

Por fim, foi elaborado o programa para dimensionar as etapas de tratamento de esgoto escolhidas. O programa computacional atingiu os objetivos de maneira satisfatória, contando com dois módulos que abrangem as mais diversas funções. A linguagem escolhida se mostrou apropriada para o problema, com uma interface simples e de fácil visualização, o que permite ao usuário uma consulta rápida e objetiva.

Nas simulações, para uma mesma condição de entrada, um reator UASB resultaria em uma economia de 99,5% de área ao ser comparado com o sistema australiano de lagoas.

O desenvolvimento do presente trabalho é coerente com a atual situação do Brasil, pois buscou abranger as técnicas de tratamento de esgoto mais usuais no contexto atual. Porém, como qualquer programa computacional, a qualidade dos dados de saída está vinculada à qualidade dos dados de entrada. Sendo assim, o programa elaborado exige que o usuário tenha conhecimento apropriado sobre o assunto para que os dados de saída tenham um resultado satisfatório.

Se o ProgETE for corretamente utilizado, ele terá muito a contribuir com os futuros dimensionamentos de estações de tratamento de esgoto, principalmente no que tange à tomada de decisão em parâmetros de projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Construção e Instalação de Fossa Séptica e Disposição de Efluentes Finais**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** - definições. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos no sistema coletor público de esgoto sanitário** - definições. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

BANCO DO NORDESTE. **Manual de impactos ambientais**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.

BARROS, H. B. **Sistema Auxiliar para Seleção de Projetos de Estações de Tratamento de Esgoto Compactas**. 2013. Dissertação (Doutorado em Saneamento) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRASIL. Lei Federal nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. **Política Nacional de Saneamento Básico**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de janeiro de 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em 24 mai. 2012.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CASTRO, A. V.; NAZÁRIO, P. L.; SILVA, F. C. F. **Sistema Informatizado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Águas Superficiais**. 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 25 mai.2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE JUNDIAÍ. **Tratamento de Esgoto**. Disponível em <<http://www.saneamento.com.br/?Id=PaginaMenu&IdMenu=2&IdSubMenu=40>>. Acesso em 24 abr. 2013

COSTA, R.H.R.; MEDRI, W. **Modelling and optimisation of stabilisation ponds for the treatment of swine wastes: organic matter evaluation**. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.45, n.3, p.385-92, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5ª Ed. Rio de Janeiro, 940p, 2009.

LIBÂNIO, P. A.; CHERNICHARO, C. A.; NASCIMENTO, N. A dimensão da qualidade da água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública - **Engenharia Sanitária e Ambiental**; v. 10, n. 3, p. 219-228, jul/set. 2005.

MACHADO, M. B.; FURLAN, L. T.; FURLAN, M. L.; TOMAZ E.; NUNHES; J. R. Software para modelagem de dispersão de efluentes em rios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**; v. 13, n. 3, p. 291-297, jul. 2008.

MARINI, A.J. **Desenvolvimento de Programa Computacional para Projeto de Sistemas Fotovoltaicos no Suprimento de Eletricidade a Pequenas Comunidades Rurais**; p3, jan. 2001.

MASSUKADO, L. M.; ZANTA, V. M. Simgere – Software para avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares - **Engenharia Sanitária e Ambiental**; v. 11, n. 2, p. 133-142, jun. 2006.

MENDES, A. G.; MEDEIROS K. R.; FARIAS S. F.; LESSA F. D.; CARVALHO, C. N.;DUARTE, P. O. Sistema de informações hospitalares: fonte complementar na vigilância e monitoramento das doenças de veiculação hídrica - **Inf. Epidemiol.Sus**;v. 9 n. 2, jun.2000.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse**, 4a ed. McGraw-Hill, 2003.

MICROSOFT. **Biblioteca MSDN**. 2012. Disponível em <<http://msdn.microsoft.com/library>>. Acesso em 29 mai. 2012

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº357/2005**. Brasília DF, nº 053, de 17 de março de 2005.Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/Conama/res/res05/res35705.pdf>>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº430/2005**. Brasília DF, nº 092, de 13 de maio de 2011.Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/Conama/res/res11/res43011.pdf>>

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 2006.

MOTA, F. S.; VON SPERLING, M. (Coordenadores). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção – Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro, 2009.

OLIVEIRA, S. M. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos**. 2006. 232 f. Tese (Pós-graduação em Saneamento) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PÁDUA, V. L. (Coordenador). **Água: Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano – Projeto PROSAB**. Rio de Janeiro, 2009.

PAZ, L. P. S. **Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. 2007. Tese (Doutorado Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

SANEPAR. **Manual de Projetos Hidrossanitários**. Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br>>. Acesso em 14 fev. 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO - SNIS. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, C. M. de; QUEIROZ, D. M. de; ALBANEZ, J. R. Programa Computacional para análise e dimensionamento de sistemas para tratamento de dejetos em suinocultura. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Goiânia, 2003. **Anais Eletrônicos**. Goiânia: CONBEA, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n2/30473.pdf>>. Acesso em 25 mai. 2012.

VELA, F. J. **Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais e periodicamente aerado**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. In: **Lagoas de estabilização**. 1a ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v.3, 134 p, 1996.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. In: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3a ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v.1, 452 p, 2005.