

RAFAEL ANTONIO ZANIN

**SELEÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO
UTILIZANDO ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

JOINVILLE

2011

RAFAEL ANTONIO ZANIN

**SELEÇÃO DE PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO
UTILIZANDO ANÁLISE MULTICRITÉRIO**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Processos na Universidade da Região de Joinville.

Professora Orientadora: Therezinha Maria Novais de Oliveira

Professora Co-orientadora: Virgínia Grace Barros

JOINVILLE

2011

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

Z31s	<p>Zanin, Rafael Antonio Seleção de processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise multicritério / Rafael Antonio Zanin ; orientadora Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira ; co-orientadora Dra. Virgínia Grace Barros – Joinville: UNIVILLE, 2011.</p> <p>121f. : il. ; 30 cm</p> <p>Dissertação (Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville</p> <p>1. Recursos hídricos. 2. Esgoto sanitário - Tratamento. 3. Esgoto sanitário - Poluição. 4. AHP (Analytic Hierarchy Process) I. Oliveira, Therezinha Maria Novais de. II. Barros, Virgínia Grace. III. Título.</p> <p>CDD 628.3</p>
------	---

Termo de Aprovação

“Seleção de Processos de Tratamento de Esgoto Sanitário Utilizando Análise Multicritério”

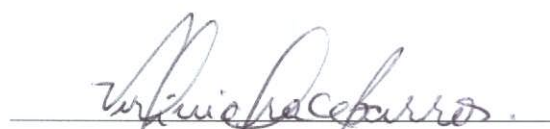
por

Rafael Antonio Zanin


Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira
Orientadora (UNIVILLE)

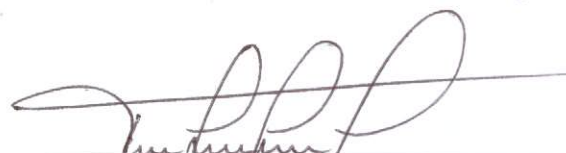


Prof. Dra. Virgínia Grace Barros
Co-Orientadora (UNIVILLE)

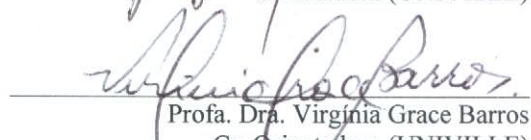


Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

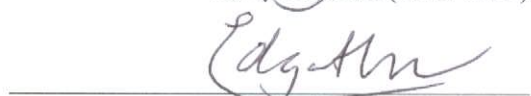
Banca Examinadora:



Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Virgínia Grace Barros
Co-Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Edgar Augusto Lanzer
(SOCIESC)



Prof. Dra. Noeli Sellin
(UNIVILLE)

Joinville, 29 de julho de 2011.

À minha família pelo incentivo dado a minha vida acadêmica, pelo apoio, amor e paciência aos momentos dedicados a realização deste trabalho.

À minha namorada Alexsandra pelo apoio incondicional para finalizar esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que me auxiliaram na consolidação desta etapa da minha formação acadêmica:

Aos meus pais, Antonio e Sonia, por serem os maiores apoiadores para realização deste mestrado.

A minha Professora Orientadora Therezinha Maria Novais de Oliveira e Professora Co-orientadora Vírgina Grace Barros, pelo incentivo, dedicação, paciência e grande auxílio na realização do presente trabalho.

A todos os professores do curso de Mestrado em Engenharia de Processos, pela dedicação e atenção dispensada.

A minha namorada Alexsandra pela paciência, compreensão e incentivo / apoio para que este trabalho fosse concluído.

A Deus pela vida.

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - Analytic Hierarchy Process (Processo de Análise Hierárquica)

CI – Custo de Implantação

COM – Custo de Operação e Manutenção

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DAEAV – Departamento de água e esgoto de Valinhos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ELECTRE - *Élimination et Choix Traduisant la Réalité*

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Índice de Consistência

ICA – Índice de Consistência Aleatório

MCIDADES – Ministério das Cidades

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl

PC – Potência Consumida

Pt – Fósforo Total

QC – Quociente de Consistência

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS – Total de Sólidos Suspensos

UASB – Reator de Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

VL – Volume de lodo líquido a ser tratado

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Períodos característicos da trajetória histórica do saneamento no Brasil e principais aspectos presentes.....	12
Tabela 2 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2008, segundo região geográfica.....	14
Tabela 3 - Estados de oxidação comuns do nitrogênio.....	20
Tabela 4 - Formas predominantes do nitrogênio.....	21
Tabela 5 - Principais características dos sistemas de lodos ativados utilizados para o tratamento de esgotos domésticos.....	27
Tabela 6 - Principais características dos Biodiscos.....	29
Tabela 7 - Principais características dos reatores UASB.....	30
Tabela 8 - Principais características dos sistemas de lagoas.....	31
Tabela 9 - Métodos da família Electre.....	38
Tabela 10 - Aplicação dos métodos PROMETHEE em relação ao tipo de problema.....	40
Tabela 11 - Escala de comparação de pares AHP (escala de Saaty).....	43
Tabela 12 - Matriz de comparação entre os pares de critérios.....	44
Tabela 13 - ICAs em função da ordem da matriz.....	45
Tabela 14 - Municípios, total e com tratamento do esgoto sanitário realizado nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões.....	50
Tabela 15 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 1.....	54
Tabela 16 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 1.....	56
Tabela 17 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 2.....	58
Tabela 18 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 2.....	59
Tabela 19 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 3.....	61
Tabela 20 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 3.....	62
Tabela 21 - Índice de Consistência e Quociente de Consistência nos três cenários.....	66
Tabela 22 - Área demandada, custo de implantação e custo anual de operação e manutenção das alternativas estudadas.....	79
Tabela 23 - Eficiência mínima e máxima esperada das alternativas estudadas.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais problemas globais afetando serviços dos ecossistemas aquáticos e disponibilidade de água e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.....	7
Figura 2 - Grade Grossa.....	25
Figura 3 - Esquema da etapa biológica do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo..	27
Figura 4 - Sistema de tratamento com Biodisco.....	28
Figura 5 - Desenho esquemático de um reator UASB.....	30
Figura 6 - Esquema Geral do AHP.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de municípios com rede coletora de esgoto em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação.....	15
Gráfico 2 – Percentual de municípios com tratamento de esgoto em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação.....	16
Gráfico 3 – Influência dos critérios avaliados no cenário 1.....	55
Gráfico 4 – Ordenação final no cenário 1.....	56
Gráfico 5 – Influência dos critérios avaliados no cenário 2.....	58
Gráfico 6 – Ordenação final no cenário 2.....	60
Gráfico 7 – Influência dos critérios avaliados no cenário 3.....	62
Gráfico 8 – Ordenação final no cenário 3.....	63

RESUMO

A água se destaca por ser fundamental nas atividades humanas. No entanto, sua disponibilidade está cada vez mais limitada por diversos fatores sociais, econômicos e ambientais. O uso dos recursos hídricos tem se intensificado e como consequência há um aumento progressivo da geração de efluentes, especialmente esgoto sanitário. Segundo dados do IBGE (2010), 71,5% dos municípios lançam o esgoto nos corpos receptores sem qualquer tratamento. Desta forma, percebe-se a necessidade de implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). No entanto, devido a grande quantidade de alternativas de tratamento e complexidade na escolha da melhor alternativa, os métodos multicritério de apoio a decisão aparecem como uma opção para que estas diversidades sejam integradas. Neste trabalho, o método multicritério utilizado foi o AHP (Analytic Hierarchy Process), visando ordenar as alternativas de tratamento de esgoto considerando três cenários diferentes: a) alternativas de baixo custo atendendo critérios de legislação; b) reúso da água para fins de irrigação de jardins; e c) valorização do lodo gerado pelas alternativas. Foram analisados 6 alternativas de tratamento de esgoto, definidas com base em relatório do IBGE(2010) de sistemas mais usados no país. Os critérios utilizados foram técnicos, econômicos e ambientais. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a aplicação de análise multicritério, para realizar a seleção de alternativas de tratamento de esgoto, mostrou-se pertinente e se constitui em ferramenta muito importante a ser usada por prefeituras em suas tomadas de decisão.

Palavras-chave: análise multicritério, tratamento de esgoto doméstico, AHP

ABSTRACT

The water is fundamental for human activities. However, the availability is increasingly limited by social, economic and environmental factors. The use of water resources has intensified and as a consequence there is a progressive increase in the generation of effluent, particularly domestic sewage. According to the IBGE (2010) 71.5% of municipal discharges sewage into water-bodies without any treatment. Thus, it's necessary to implement Sewage Treatment Plants (WWTP). However, due to the large number of treatment options and complexity in choosing the best alternative, Multi-Criteria Decision Analysis appears as an option to integrate these differences. The multicriteria method used was AHP (Analytic Hierarchy Process) , to order the alternatives for sewage treatment by considering three different scenarios: a)alternatives with low-cost according to criteria of legislation; b) water reuse for irrigation of gardens, and c) appreciation of the sludge generated by the alternatives. Six alternatives for sewage treatment were analyzed, defined based on a report from the IBGE (2010) systems commonly used in the country. The criteria used were technical, economic and environmental. According to the results obtained, it can be concluded that the application of analysis multicriteria, to perform the selection of alternative sewage treatment, proved to be relevant and is in very important tool to be used by local governments in their decision making.

Keywords: Multi-Criteria Analysis,domestic sewage treatment, AHP

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 RECURSOS HÍDRICOS.....	5
3.1.1 DISPONIBILIDADE: QUANTIDADE E QUALIDADE.....	5
3.1.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS FRENTE AO PROBLEMA DA POLUIÇÃO POR ESGOTOS SANITÁRIOS.....	8
3.2 POLUIÇÃO POR ESGOTO SANITÁRIO.....	11
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO.....	17
3.3.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO.....	18
3.3.2 Nitrogênio e Fósforo.....	19
3.3.2.1 Nitrogênio.....	19
3.3.2.2 Fósforo.....	21
3.3.3 Lodo de Esgoto.....	22
3.3.4 Sólidos Suspensos Totais.....	22
3.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	22
3.4.1 Tratamento Preliminar ou Prévio.....	24
3.4.2 Tratamento Primário.....	25
3.4.3 Tratamento Secundário.....	25
3.4.3.1 Lodos Ativados.....	26
3.4.3.2 Biodisco.....	28
3.4.3.3 Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB).....	29

3.4.3.4 Sistemas de Lagoas.....	31
3.4.4 Tratamento Terciário ou Avançado.....	33
3.5 ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	33
3.5.1 MÉTODOS DA SÉRIE ELECTRE.....	37
3.5.2 MÉTODO DA PROGRAMAÇÃO DE COMPROMISSO – COMPROMISE PROGRAMMING.....	38
3.5.3 PROMETHEE.....	39
3.5.4 Método Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP).....	40
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	47
4.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	47
4.3 DEFINIÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO.....	48
4.4 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS AVALIADOS.....	48
4.5 DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	49
4.6 DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	50
4.7 DETERMINAÇÃO DOS PESOS.....	51
4.8 APLICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 RESULTADOS.....	54
5.1.1 CENÁRIO 1 – Descarte do efluente tratado tendo em vista a legislação vigente e baixos custos.....	54
5.1.2 CENÁRIO 2 – Reúso da água para irrigação de jardins.....	57
5.1.3 CENÁRIO 3 – Valorização do lodo.....	61
5.2 DISCUSSÃO.....	64
5.3 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E QUOCIENTE DE CONSISTÊNCIA.....	65
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	67
REFERÊNCIAS.....	69
ANEXO 1.....	79
APÊNDICE A.....	80

1 INTRODUÇÃO

A água doce se destaca por ser fundamental nas atividades humanas, desde o abastecimento público até a geração de energia. No entanto, sua disponibilidade está cada vez mais limitada por diversos fatores sociais, econômicos e ambientais, tais como: os processos de industrialização, a agricultura e o aumento populacional, que acarretam poluição e escassez deste recurso. Esta situação tende a se agravar, uma vez que a demanda tende a aumentar, segundo estimativas do Banco Mundial (2010), a população que era de 6,5 bilhões em 2005, será de 8 bilhões em 2025.

Devido a este crescimento da população, o uso dos recursos hídricos tem se intensificado e como consequência há um aumento progressivo da geração de efluentes, especialmente os esgotos sanitários. Atualmente, no Brasil, grande parte do esgoto gerado ainda é descartado sem tratamento nos cursos d'água, deste modo comprometendo a qualidade dos recursos hídricos.

No Brasil segundo dados do IBGE (2010), apesar de 55,2% dos municípios brasileiros possuírem rede coletora de esgoto, apenas 28,5% dos municípios brasileiros fazem o tratamento de seu esgoto, ou seja, 71,5% lançam o esgoto nos corpos receptores sem qualquer tratamento.

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitário de países em desenvolvimento como o Brasil, quando existem, têm-se limitado à remoção de matéria orgânica biodegradável com o intuito de evitar a desoxigenação dos corpos receptores. Efetivamente, tais sistemas não promovem uma remoção completa dos poluentes, principalmente de fósforo e nitrogênio, podendo desta forma provocar uma eutrofização dos corpos receptores. (ALÉM SOBRINHO, 1991 *apud* ALÉM SOBRINHO; SAMUDIO, 2000).

Desta forma, percebe-se a necessidade de implantação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). No entanto, surge uma outra questão a ser analisada, qual o sistema de tratamento de esgoto é a melhor alternativa para implantação?

São diversas alternativas em termos de arranjo de sistemas de tratamento, cada qual com seu custo e características, e como as prefeituras, na sua grande maioria, têm escassez de recursos, é necessária a escolha do melhor arranjo de tal forma que: atenda às legislações vigentes para descarte; minimize os custos de implantação, manutenção e operação; avalie os impactos ambientais; e outros critérios que dependerão de cada caso.

Tem-se observado que decidir sobre a escolha de sistemas de tratamento de esgoto é tarefa complexa e dependem de vários critérios e objetivos, que na maioria das vezes são concorrentes. Por exemplo: ao mesmo tempo que um sistema tenha baixo custo de implantação, deve atender aos padrões de emissões de lançamento de esgoto, deve ocupar pequena área para funcionamento e ou ter facilidade operacional. No entanto, como decidir qual o melhor arranjo? Qual o critério e como será mais influente que outro? Para auxiliar na escolha da melhor alternativa, os métodos multicritério de apoio a decisão aparecem como uma opção para que estas diversidades sejam integradas.

Os métodos multicritério, de uma forma geral, atendem a dois princípios básicos: escolher, ordenar ou classificar alternativas, como também incorporam múltiplos aspectos na análise (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001). Trazem consigo a capacidade de agregar na análise todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com a finalidade de possibilitar a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões. Desta forma, permitindo uma organização melhor das informações, evidenciando o conflito entre os objetivos e quantificando, através de grande suporte a modelagem matemática, o grau de compromisso entre eles (GOMES, ARAYA, CARIGNANO, 2004; GOBETTI e BRAGA, 1997 *apud* BRITES, 2008).

Brites (2008) utilizou abordagem multicritério, Compromise Programming, Promethee 2 e Topsis, para selecionar sistemas de reúso de água em irrigação paisagística utilizando dados obtidos em um estudo piloto previamente realizado. O A filtração seguida de cloração mostrou-se como a alternativa que apresentou melhores resultados na análise multicritério.

Neder *et al* (2001) avaliariam cinco processos naturais de pós-tratamento de efluentes de lagoa de estabilização em uma ETE-Piloto no Distrito Federal mediante a utilização de métodos de multicritério. Conclui neste estudo que as alternativas de Filtro de Pedra e Plantas Aquáticas Flutuantes (Aguapé) foram consideradas as mais apropriadas ao pós-tratamento de efluentes de lagoas no caso estudado e que a aplicação de análise multicritério, além de apontar as soluções mais favoráveis ao caso estudado, mostra-se bastante útil para um melhor entendimento do problema, contribuindo para que os tomadores de decisão tenham mais segurança sobre as várias faces do problema que está sendo encarado.

Dantas, Aisse e Garcias (2003) utilizaram a análise multicritério para analisar a viabilidade técnica de 17 sistemas de tratamento de esgoto doméstico em uma comunidade nucleada do Exército Brasileiro na Amazônia. Dentre os sistemas pesquisados, verificou-se que as lagoas de estabilização demonstraram ser excelentes opções para o tratamento das águas residuárias em pequenos núcleos de fronteira.

Neste contexto, o presente trabalho pretende auxiliar futuras tomadas de decisões, facilitando a avaliação e seleção de alternativas de sistemas de tratamento de esgoto considerando critérios técnicos, ambientais e econômicos, utilizando-se de métodos de análise multicritério, já que a remoção de determinados parâmetros tem sido um dos grandes problemas das estações de tratamento de esgoto sanitário, para descarte de efluente em corpo receptor.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Selecionar processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise multicritério.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e apresentar métodos de tratamento de esgoto sanitário e suas respectivas eficiências ambientais, técnicas e econômicas;
- Apresentar a análise multicritério aplicada à seleção de sistemas convencionais e usuais de tratamento de esgoto sanitário;
- Apresentar a análise multicritério aplicada à seleção de sistemas de tratamento de esgoto sanitário no contexto do reúso;
- Apresentar a análise multicritério aplicada à seleção de sistemas de tratamento de esgoto sanitário a um cenário de valorização do lodo gerado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

3.1.1 DISPONIBILIDADE: QUANTIDADE E QUALIDADE

O planeta Terra é constituído, em grande parte, por água, sendo que 70% de sua superfície é coberta por este líquido essencial à vida. Apesar disto, somente uma pequena parcela pode ser usada para o consumo humano, após passar por adequações nas suas características físicas, químicas e biológicas para torná-la potável (BARROS e AMIN, 2008).

Segundo Moraes e Jordão (2002), da quantidade de água existente sobre a terra, 97% são de água salgada (mares e oceanos), 2% de água em forma de geleiras, e mais 1% de água distribuída em lagos, rios e lençóis freáticos de forma desigual pelo planeta. A água, portanto, é um recurso extremamente reduzido.

A distribuição espacial dos recursos hídricos no mundo é muito variável, bem como a distribuição demográfica. O volume total de água de cada país não é de grande importância, pois estão diretamente relacionados com a sua área geográfica. Com uma área de 8.512.000 km² e cerca de 170 milhões de habitantes, o Brasil é hoje o quinto país do mundo, tanto em extensão territorial como em população. Com dimensões continentais, os contrastes existentes quanto ao clima, distribuição da população, desenvolvimento econômico e social, entre outros fatores, são muito grandes, fazendo com que o país apresente os mais variados cenários (SETTI *et al*, 2000).

O Brasil tem uma posição privilegiada perante a maioria dos países quanto ao seu volume de recursos hídricos, já que detêm aproximadamente 12% das reservas

de água doce do planeta. Porém, mais de 73% da água doce disponível do País encontra-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. Portanto, apenas 27% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 95% da população (SETTI *et al*, 2000; MMA, 2006). Para Tundisi (2008), a disparidade entre a disponibilidade e demanda de água no Brasil traz inúmeros problemas econômicos e sociais. Desta forma, ele aponta que saneamento básico, tratamento de esgoto, recuperação de infraestrutura e mananciais devem ser prioridade.

No Brasil, são várias as regiões que apresentam algum tipo de problema hídrico, como a contaminação e a superexploração dos corpos d'água, prejuízos ao meio ambiente e ao homem, além de conflitos entre usuários da água e, por isso, necessitam urgentemente da implementação de um sistema eficaz de gestão de recursos hídricos (MMA, 2006).

Durante muitos anos, a água foi considerada um recurso inesgotável, talvez por este motivo, mal gerido (AISSE, 2006). No entanto, sabe-se que é finita e considerada um bem econômico, porque é vulnerável e essencial para a conservação da vida e do meio ambiente, já que sua indisponibilidade ou escassez pode afetar o desenvolvimento econômico (BORSOI e TORRES, 1997). A água é considerada um fator de desenvolvimento, pois ela é utilizada para inúmeros usos diretamente relacionados com a economia regional, nacional e internacional.

Por outro lado, é um recurso ambiental, uma vez que alterações adversas podem contribuir para degradação da qualidade ambiental (BORSOI e TORRES, 1997). Segundo Tundisi (2008), a água tem posição central em relação a processos como biodiversidade, energia e clima, e problemas de mau uso deste recurso acarretam problemas que afetam os ecossistemas e disponibilidade de água, bem como a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, como pode ser observado na Figura 1.

A água doce se destaca por ser fundamental nas atividades humanas, desde o abastecimento público até a geração de energia. No entanto, sua disponibilidade

está cada vez mais limitada em decorrência dos problemas relacionados ao aumento populacional, que acarretam poluição e escassez deste recurso. Esta situação vem agravando com o passar dos anos, pois nos últimos 60 anos, o consumo de água multiplicou-se por sete enquanto a população dobrou, desta forma causando um desequilíbrio do balanço oferta *versus* demanda (MORAES e JORDÃO, 2002).

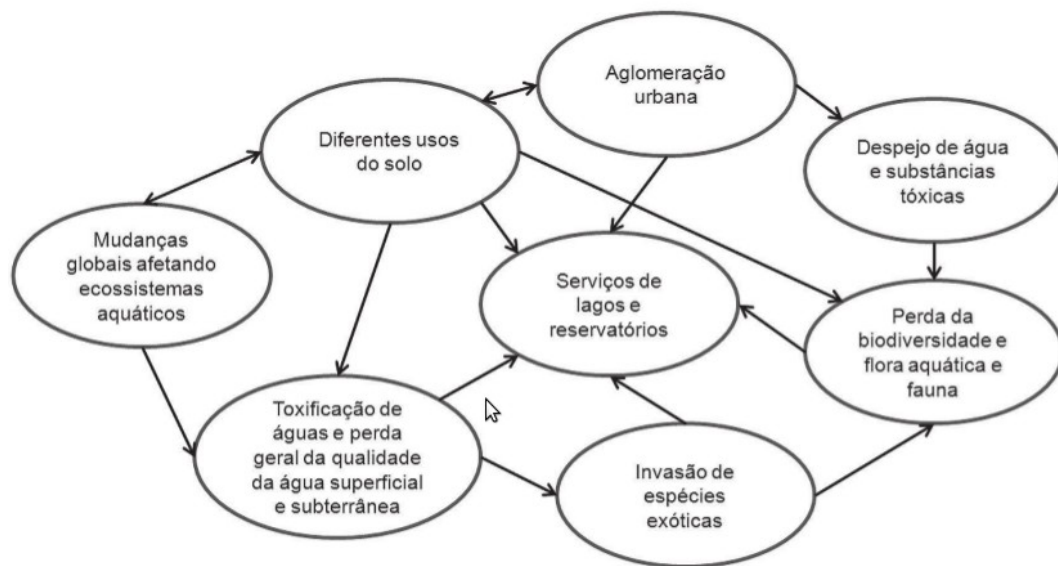


Figura 1 - Principais problemas globais afetando serviços dos ecossistemas aquáticos e disponibilidade de água e qualidade das águas superficiais e subterrâneas.
Fonte: Tundisi, 2008.

Os recursos hídricos vêm sendo degradados rapidamente nas últimas décadas, em virtude do desenvolvimento caótico e desordenado da urbanização, a qual é imposta por políticas industriais e de expansão urbana incompatíveis com o desenvolvimento sustentável e, particularmente, com a proteção e manutenção da qualidade dos corpos d'água (CONSTANZI *et al*, 2005).

O crescimento populacional tem solicitado uma demanda sempre crescente de água de boa qualidade, enquanto a geração de águas residuárias sanitárias e industriais é cada dia maior, fazendo com que a degradação do meio ambiente aumente, quando esses problemas não são equacionados de forma coerente (REALI, 1999).

O homem, desde que tornou-se parte dominante dos sistemas, tem a tendência de causar um desequilíbrio ambiental com suas ações, pois consome os recursos naturais mais rápido do que os sistemas ecológicos podem ser renovados, gera produtos residuais em quantidades residuais maiores do que as que podem ser integradas ao ciclo natural de nutrientes e introduz materiais tóxicos no sistema ecológico (MORAES e JORDÃO, 2002).

Desta forma, devido a escassez deste recurso, surge a necessidade de novas fontes de água, sendo que o reúso de água proveniente de sistemas de tratamento de efluentes tem sido destacado como alternativa para suprir a demanda de água (CONSTANZI *et al.*, 2005).

Hoje, uma destas alternativas tem sido um bom sistema de tratamento de esgoto sanitário, para que ao menos a água chegue aos corpos receptores atendendo aos padrões da legislação.

3.1.2 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA GESTÃO RECURSOS HÍDRICOS FRENTE AO PROBLEMA DA POLUIÇÃO POR ESGOTOS SANITÁRIOS

Desde a década de 30, o Brasil dispõe do Código de Águas – Decreto no 24.643, de 10 de julho de 1934. Entretanto, em vista do aumento das demandas e de mudanças institucionais, tal ordenamento jurídico não foi capaz de incorporar meios para combater o desequilíbrio hídrico e os conflitos de uso, tampouco de promover meios adequados para uma gestão descentralizada e participativa, exigências dos dias de hoje (SETTI *et al.*, 2000).

O Brasil há pouco tempo tem buscado regulamentar o uso dos recursos ambientais, entre eles os recursos hídricos. Conforme dados da Revista Saúde Pública da USP:

“Até 1920, à exceção das secas do Nordeste, a água no Brasil não representou problemas ou limitações. (...). Ao longo da década de 70 e mais acentuadamente na de 80, a sociedade começou a despertar para as ameaças a que estaria sujeita se não mudasse de comportamento quanto ao uso de seus recursos hídricos” (MORAES e JORDÃO, 2002, p.370).

Várias comissões interministeriais foram instituídas para encontrar meios de aprimorar o sistema de uso múltiplo dos recursos hídricos e minimizar os riscos de comprometimento de sua qualidade, principalmente no que se refere às futuras gerações, pois a vulnerabilidade desse recurso natural já havia começado a se fazer sentir (SETTI *et al*, 2000).

Assim, surgiu a necessidade de regulamentar o uso deste recurso. A Constituição Federal de 1988 determina no artigo 225 que todo o cidadão tem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida. Sendo tarefa do Estado e de toda a coletividade o dever de assegurá-lo, porém não relata a forma de assegurar esse direito e efetivá-lo. Montanari (2006) descreve como esse processo iniciou-se no Brasil:

“A legislação brasileira vem evoluindo no que tange aos Recursos Naturais, em consonância com as necessidades surgidas em meio às relações do homem com a natureza. A Carta Magna, a Lei nº. 9.433 de 08 de janeiro de 1997, bem como a Lei Estadual nº. 10.350 de 30 de dezembro de 1994, são os diplomas que norteiam a regulamentação dos recursos hídricos no nosso país” (MONTANARI, 2006, p.04).

Para preencher essa lacuna, foram sancionadas a Lei no 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentou o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e outras providências, e a Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000, que criou a Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal encarregada da implementação dessa Política e da coordenação desse Sistema.

Segundo Setti *et al* (2000), a lei trata-se de um documento atual, avançado e importante para a ordenação territorial, em seu sentido mais amplo, caracterizada por uma descentralização de ações, contra uma concentração de poder, claramente ressaltados no texto da referida lei, que proclama os princípios básicos praticados

hoje em todos os países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos, quais sejam:

- adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento;
- usos múltiplos da água;
- reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável; e
- gestão descentralizada e participativa.

Ainda são aspectos relevantes da Lei no 9.433/97, os cinco instrumentos essenciais à boa gestão do uso da água:

- Plano Nacional de Recursos Hídricos, que é o documento programático para o setor e são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País.
- Outorga de direito de uso dos recursos hídricos, que é um instrumento pelo qual o usuário recebe autorização, concessão ou permissão para fazer uso da água;
- Cobrança pelo uso da água, essencial para criar as condições de equilíbrio entre as forças da oferta (disponibilidade de água) e da demanda;
- Enquadramento dos corpos de água em classes de uso, que permite fazer a ligação entre a gestão da quantidade e a gestão da qualidade da água;
- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, encarregado de coletar, organizar, criticar e difundir a base de dados relativa aos recursos hídricos, seus usos, o balanço hídrico de cada manancial e de cada bacia, provendo gestores, usuários, sociedade civil com as condições necessárias ao processo decisório.

Essas medidas de caráter legal e institucionais não serão, entretanto, suficientes para manter o equilíbrio entre demanda e oferta de água, especialmente em grandes conurbações, com perspectivas de crescimento populacional e industrial, onde a disponibilidade de recursos hídricos já é insuficiente mesmo nas condições atuais (HESPANHOL, 2008).

Embora perceba-se que ocorreram avanços no saneamento brasileiro, ainda há muito por fazer. Assim, vê-se a importância da escolha correta de um sistema de tratamento.

3.2 POLUIÇÃO POR ESGOTO SANITÁRIO

Para entender a situação atual do saneamento brasileiro, é fundamental analisar de que maneira esta questão foi tratada ao longo do tempo. Basicamente, são identificados cinco distintos períodos na trajetória dos modelos para o saneamento no Brasil, conforme caracterizados na Tabela 1 (MMA, 2006).

Através da Tabela 1 pode-se perceber que as ações assumidas pelo Estado variaram, e em geral foram consequência de fatores externos que não propriamente o saneamento (MMA, 2006). Nesse sentido Rezende e Heller (2002) afirmam que na maioria das vezes as ações de saneamento foram regidas por interesses econômicos.

A partir da década de 1970, a área de saneamento foi reestruturada com a implementação do PLANASA – Plano Nacional de Saneamento. Rezende e Heller (2002) relatam que este plano foi um divisor de águas na história do saneamento, pois houveram investimentos até então nunca realizados, assim permitindo a ampliação dos sistemas de saneamento, com destaque para o aumento da cobertura por abastecimento de água principalmente nas regiões Sul e Sudeste.

Esse plano, ainda exerce importante influência na organização da área no Brasil, determinou significativas mudanças institucionais, tendo como resultados a transferência de grande parte dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, do nível municipal para as companhias estaduais de saneamento básico (CESB), por meio de contratos de concessão (em função da imposição por parte dos agentes financiadores para liberação dos recursos), e o estabelecimento de uma fonte de financiamento público através do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS (MMA, 2006).

Tabela 1 - Períodos característicos da trajetória histórica do saneamento no Brasil e principais aspectos presentes.

Característica	Período				
	1o – séc XVI a meados do séc. XIX	2o – 1850-1910	3o – 1910-1950	4o – 1950-1969	5o – a partir da década de 1970
Relação saneamento-saúde	<ul style="list-style-type: none"> • Forte: indígenas • Fraca: europeus 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte: interdependência sanitária elites (reformas urbana e sanitária) • Fraca: massas populares 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte: população urbana • Crescente para a população dos sertões: educação sanitária 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraca: coletivo (saneamento para viabilizar a produção) • Dicotomia saneamento - saúde • Assistencialismo x prevenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraca: coletivo • Saneamento: predominância nos centros urbanos, com fragmentação das ações • Saúde: assistencialismo
Caráter das ações	<ul style="list-style-type: none"> • Individual • Coletivo: restrito às cidades mais ricas (câmaras municipais e irmandades religiosas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coletivo: em função do crescimento das cidades e das epidemias • Individual: massas populares 	<ul style="list-style-type: none"> • Coletivo: “coletivização do bem-estar”; “o Brasil é um imenso hospital” (dec. 1910) • Autossustentação tarifária. • Serviços autárquicos municipais: nova realidade (dec. 1940) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coletivo: ampliação da autossustentação tarifária • Caráter industrial 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragmentação da visão de saneamento. • Abastecimento de água e esgotamento sanitário: PLANASA → estados (CESB) • Coleta e disposição do lixo, drenagem e controle de vetores: municípios
Processo econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Economia voltada para o atendimento ao mercado externo • Produção de subsistência • Colônia de exploração, não impedindo processo de acumulação interna 	<ul style="list-style-type: none"> • Cafeicultura: divisas aplicadas em reformas urbanas na região Sudeste • Crescimento do mercado interno: hegemonia inglesa → produtos industrializados, setores de energia, ferrovias e saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Primeiras indústrias: expansão urbana (Sudeste) • Consolidação da influência dos EUA na economia nacional: ações em áreas de interesse • Financiamentos visando o retorno dos investimentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento industrial (substituição de importações) e do processo de urbanização • Brasil: mercado consumidor dos EUA – tecnologia e produtos para aplicação em sistemas de saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento acelerado da economia (1968-74): milagre econômico → PLANASA • Pós-milagre: inflação e recessão (década de 1980) • Investida neoliberal: redução do papel do Estado na economia, privatização de estatais, prevalência do capital especulativo e desemprego em massa

Continua

Processo político	<ul style="list-style-type: none"> • Predominância do poder local para o atendimento dos interesses da metrópole • Relação direta com a metrópole: os poderes locais quase não se interrelacionavam. 	<ul style="list-style-type: none"> • Predomínio do poder local • Penetração do Estado no poder local: combate às epidemias • Serviços de saneamento assumidos pelo Estado e transferidos à iniciativa privada 	<ul style="list-style-type: none"> • Centralização do poder público: ações realizadas pelo Estado • Hegemonia norte-americana no Brasil e influência sobre a política nacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Transição política: democracia → ditadura (apoio dos EUA) • Continuidade na política de saneamento: estatização • Autossustentação tarifária • Declarada a incapacidade dos municípios para a gestão do saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Ditadura: facilitação da implantação do PLANASA • Redemocratização e Constituição de 1988: maior descentralização • Neoliberalismo: prioridades econômicas e desmobilização das ações. sociais → fere princípios constitucionais
Processo social	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes proprietários de terra • Índios, escravos e imigrantes: “povoar para não perder!” 	<ul style="list-style-type: none"> • Interdependência sanitária: proteção para as elites e opressão às massas populares • Revolta das massas populares: Revolta da Vacina • Manifestações contra a atuação da iniciativa privada 	<ul style="list-style-type: none"> • Liga Pró-saneamento (elites): contra o “industrialismo parasitário”, favorável à “vocaç�o agrícola” • Exist�ncia generalizada de endemias na popula�o dos “sert�es” 	<ul style="list-style-type: none"> • Invers�o na distribui�o da popula�o: aumento das demandas por saneamento nas zonas urbanas • Aumento do éxodo rural: ilus�o com a melhoria nas condi�oes de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • PLANASA: atendimento �s popula�oes urbanas • Desqualifica�o da educa�o e saúde públicas • Aprofundamento dos desn�veis sociais, dos desequil�brios e marginaliza�o das áreas rurais e periferias urbanas
Processo cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Miscigena�o étnica: forma�o de uma identidade sanitária nacional • Colônia de explora�o: “transitoriedade, precariedade e provisoriabilidade” • Colônia de povoamento: aumento nos padrões de conforto 	<ul style="list-style-type: none"> • Elites: hábitos refinados → influência europeia • Massas populares: excluídas • Cidades: povo – hábitos precários de higiene • Sertões: a�oes individuais → isolamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elites: alvo de melhorias em saneamento (�reas de interesse e retorno dos investimentos) • Massas populares: – trabalhadores: acesso ao saneamento e � saúde; – excluídos (principalmente no Nordeste): �xodo rural → fuga da seca 	<ul style="list-style-type: none"> • Classes sociais abastadas: novos padrões de consumo → as a�oes de saneamento tornam-se direito • Excluídos: padrões de higiene relacionados � precariedade do modo de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Imposi�o de novos padrões de conforto, de qualidade de vida e de consumo; maior conscientiza�o da popula�o envolvendo os direitos de cidadania

Fonte: MMA, 2006.

É importante ressaltar que a estatística de acesso à rede coletora de esgoto refere-se apenas à existência do serviço no município, sem considerar a extensão da rede, a qualidade do atendimento, o número de domicílios atendidos, ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado. Considera-se o município em que pelo menos um distrito (mesmo que apenas parte dele) tem tratamento de esgoto.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento em 2008 (MCIDADES, 2008) apontam que as redes de esgotos cresceram cerca de 7,8 mil quilômetros, representando um acréscimo de 4,2% em relação a 2007, e o volume de esgoto coletado cresceu 3,4%.

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos índices de atendimento para todo o conjunto de prestadores de serviços participantes do SNIS em 2008 (MCIDADES, 2008), de acordo com as regiões geográficas brasileiras. Os dados evidenciam um elevado aumento pelos serviços de água, com índice nacional de 94,7%, e para a coleta de esgoto de 50,6%. É importante ressaltar que, no SNIS, o volume de esgotos é estimado como sendo o mesmo valor do volume de água consumido. Quando comparado com 2007, o índice de tratamento de esgotos aumentou 2,1%.

Tabela 2 - Níveis de atendimento com água e esgotos dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2008, segundo região geográfica.

Regiões	Índice de atendimento (%)				Índice de tratamento de esgotos gerados(%)
	Água		Coleta de esgotos		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,6	72	5,6	7	11,2
Nordeste	68	89,4	18,9	25,6	34,5
Sudeste	90,3	97,6	66,6	72,1	36,1
Sul	86,7	98,2	32,4	38,3	31,1
Centro-Oeste	89,5	95,6	44,8	49,5	41,6
Brasil	81,2	94,7	43,2	50,6	34,6

Fonte: MCIDADES, 2008.

No entanto, não basta que o esgoto seja coletado, é necessário realizar o seu tratamento para que não polua os recursos hídricos e não haja a proliferação de doenças.

Apesar de 55,2% dos municípios brasileiros possuírem rede coletora de esgoto (Gráfico 1), apenas 28,5% dos municípios brasileiros fazem o tratamento de seu esgoto, como demonstra o Gráfico 2. O não tratamento do esgoto impacta negativamente na qualidade de nossos recursos hídricos.

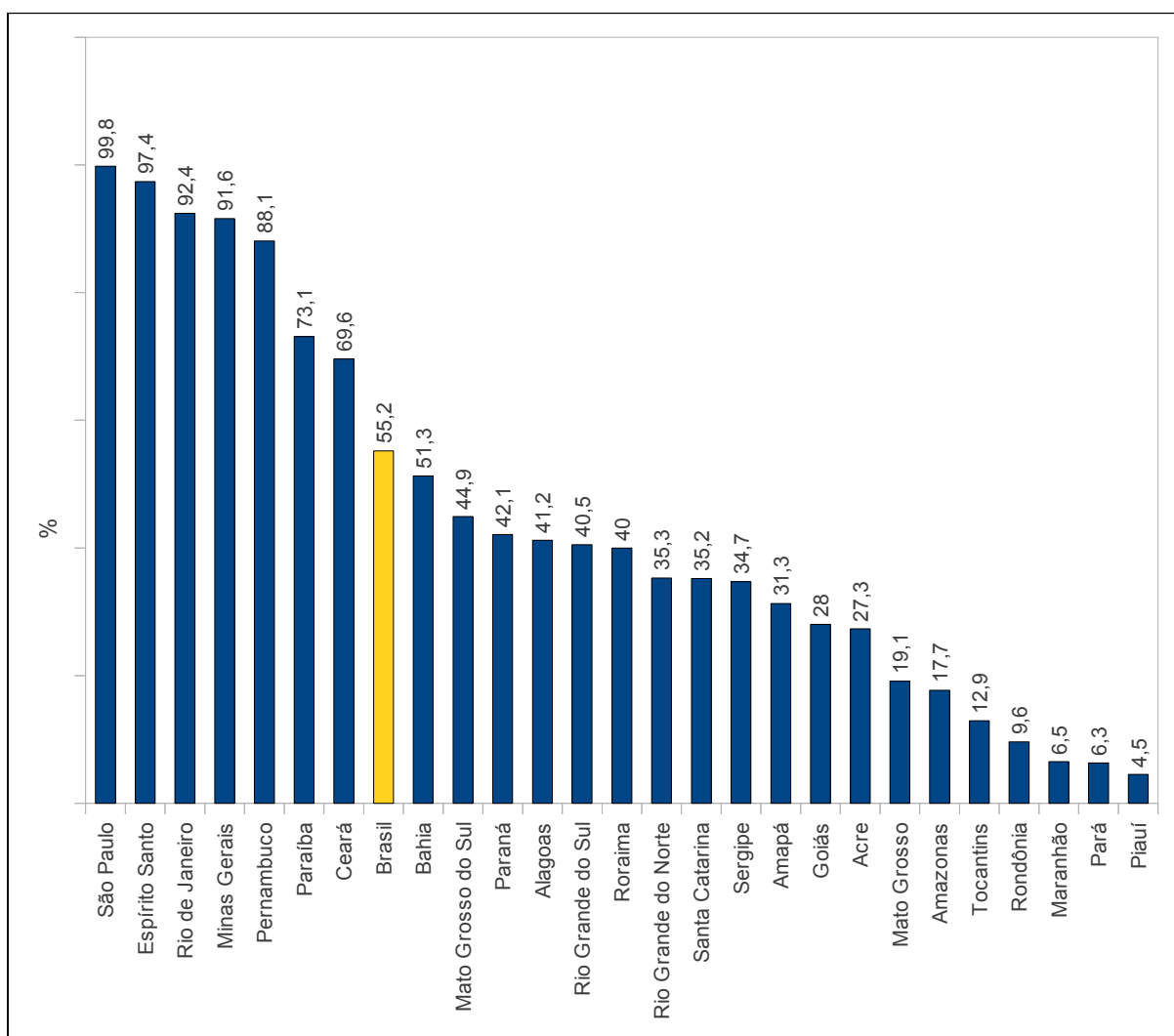


Gráfico 1 – Percentual de municípios com rede coletora de esgoto em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação.

Fonte: IBGE, 2010.

Do gráfico 2, percebe-se que em apenas três Unidades da Federação, mais da metade dos municípios possuíam tratamento de esgoto: São Paulo (78,4%); Espírito Santo (69,2%); e Rio de Janeiro (58,7%) (Gráfico 2). Em cinco Unidades da Federação, a proporção de municípios com tratamento de esgoto foi inferior a 10%:

Sergipe (9,3%); Amazonas (4,8%); Pará (4,2%); Rondônia (3,8%); Piauí (2,2%); e Maranhão (1,4%).

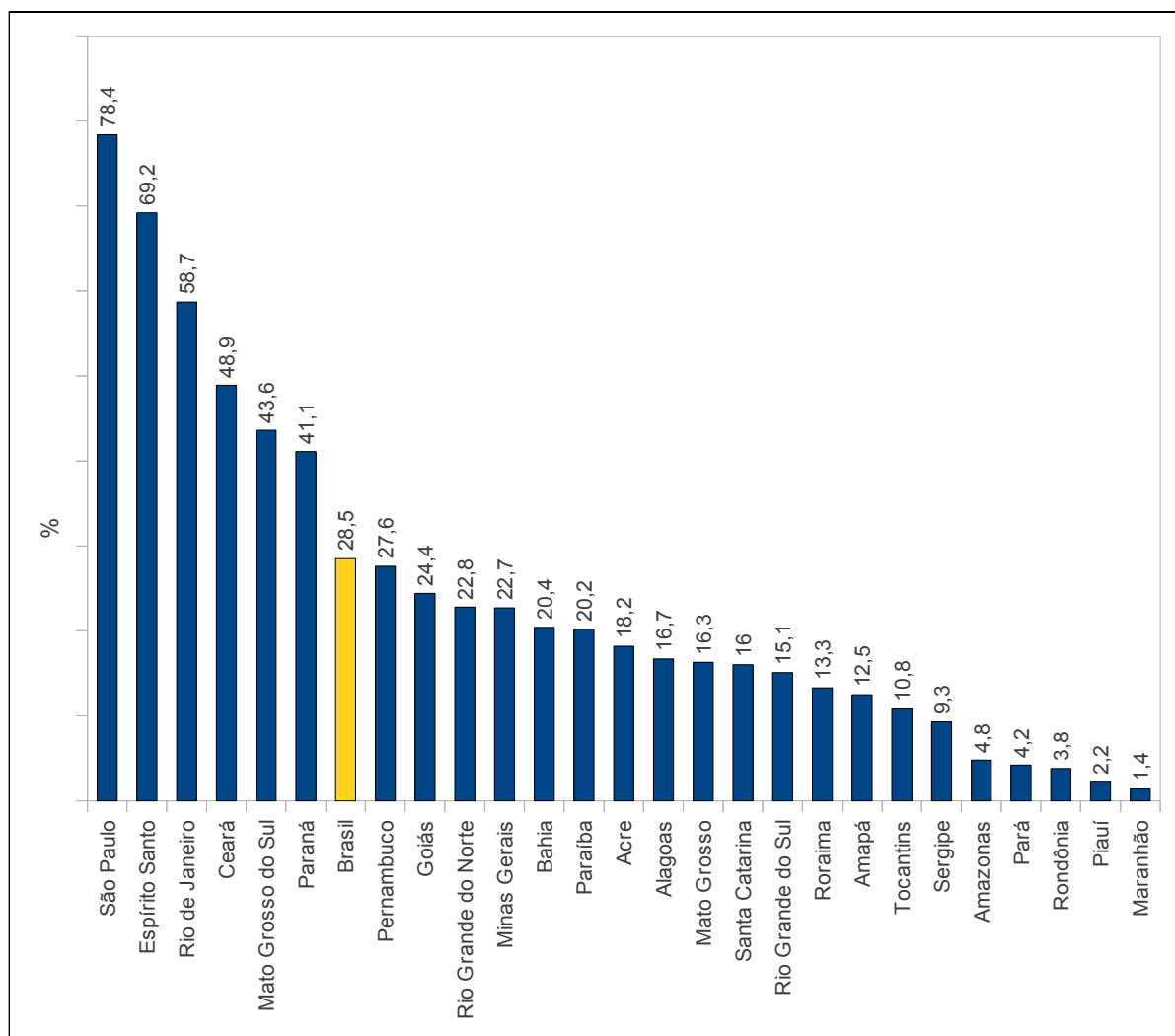


Gráfico 2 – Percentual de municípios com tratamento de esgoto em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação.

Fonte: IBGE, 2010.

Na comparação dos Gráficos 1 e 2 , destacam-se os alguns resultados:

- Embora mais de 75% dos municípios dos estados de Minas Gerais, Pernambuco e Paraíba tenham rede coletora de esgoto, somente $\frac{1}{4}$ destes possuem tratamento do esgoto coletado;

- Em 14 dos 26 estados, o percentual de municípios que possuem tratamento de esgoto não representa 50% dos que possuem rede coletora;
- Apenas nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, praticamente a totalidade dos municípios que possuem rede de coleta possuem tratamento;
- Em nível nacional, somente 51,7% dos municípios que possuem rede de coleta, possuem tratamento de esgoto.

A partir dos dados apresentados demonstra-se uma grande necessidade de investimentos em esgotamento sanitário.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO

Os esgotos sanitários contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de tratamento do esgoto. Sendo que as características particulares de cada esgoto são em função do uso à qual a água foi submetida (VON SPERLING, 1996a).

A caracterização do esgoto sanitário se dá através de características físicas, químicas e biológicas. Von Sperling (1996a) aponta os principais parâmetros analisados para esta caracterização:

- Física: temperatura, cor, odor, turbidez;
- Química: sólidos totais (em suspensão, dissolvidos e sedimentáveis), matéria orgânica (DBO5, DQO, COT), nitrogênio total (nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato), fósforo (orgânico e inorgânico), pH, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas;

- Biológica: bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos;

Segundo Jordão (1995), as consequências ambientais do lançamento de esgotos sanitários nos corpos receptores podem ser:

- problemas de saúde pública: proliferação de doenças, pois os agentes transmissores de veiculação hídrica podem estar presentes;
- problemas de natureza ambiental ou ecológica: eutrofização do corpo receptor, causado pela presença de carga orgânica, desta forma acarretando na diminuição do oxigênio dissolvido e conseqüentemente reduzindo a vida aquática.

Esses parâmetros podem alterar as características do corpo receptor, caso não sejam removidos ou observados durante o processo de tratamento, especialmente os citados a seguir.

3.3.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio é um importante parâmetro para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. De acordo com Derisio (2007), a DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica, através da ação de bactérias. Por outro lado, a oxidação é um processo de simplificação da matéria orgânica através de microrganismos em substâncias mais simples, tais como NH_3 , CO_2 , H_2O e sais minerais. É uma medida que procura retratar em laboratório o fenômeno a ser realizado no corpo d'água.

O DBO é um teste padrão que conforme a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do meio ambiente - CONAMA, deve ser realizado a temperatura constante de 20°C e durante um período de incubação também fixo de 5 dias. Quando de sua determinação, devem ser levados em consideração certos

cuidados devido a possíveis interferências na ação bacteriana, já que as bactérias são as principais protagonistas do teste.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle da eficiência das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos.

3.3.2 Nitrogênio e Fósforo

A presença de nitrogênio e fósforo nas águas em determinadas concentrações contribui para a proliferação de organismos aquáticos e conseqüentemente eutrofização (aumento na presença de algas e de plantas aquáticas). O processo de eutrofização pode causar prejuízos principalmente a usos da água como abastecimento público, recreação e navegação.

As alterações nas concentrações de fósforo e nitrogênio e principalmente a razão estequiométrica destes é uma circunstância para alterações nos ciclos químicos e biológicos do sistema aquático. Segundo os autores, alterações nestas razões estequiométricas podem representar contaminações por esgotos domésticos, por exemplo. As alterações nas concentrações de fósforo e nitrogênio, principalmente a razão estequiométrica destes nutrientes são circunstâncias para alterações nos ciclos biogeoquímicos do sistema aquático (PETRUCIO e FARIA, 1998 *apud* MARTINS, 2006).

De acordo com Derisio (2007), os compostos de nitrogênio e fósforo ocorrem naturalmente em pequenas concentrações e o aumento nas concentrações desses elementos nas águas se deve principalmente aos esgotos de origem doméstica.

3.3.2.1 Nitrogênio

Conforme Boeira (s.d.), em pesquisa da Embrapa Meio Ambiente: encontra-se nitrogênio no lodo de esgoto em formas proteicas, principalmente. Conforme

apresentado por Von Sperling (2005), dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos.

Os estados de oxidação comuns do nitrogênio em soluções aquosas e sais, em fase gasosa, são os apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Estados de oxidação comuns do nitrogênio.

Estado de oxidação	Níveis crescentes de oxidação do nitrogênio						
	-3	0	1	2	3	4	5
Soluções aquosas e sais minerais	NH ₄ ⁺ NH ₃				NO ₂ ⁻		NO ₃ ⁻
Fase Gasosa	NH ₃	N ₂	N ₂ O	NO		NO ₂	

Fonte: Baird, 2002.

O nitrogênio é um componente de grande importância em termos da geração e do próprio controle da poluição das águas (VON SPERLING, 2005). Algumas formas de nitrogênio e suas consequências no ambiente são as seguintes:

- O nitrogênio presente na água fresca é combinado com a matéria protéica e uréia. A decomposição por bactérias transforma a forma orgânica em amônia (METCALF e EDDY, 2003);
- A idade do efluente é indicada pela quantidade relativa de amônia presente na água (METCALF e EDDY, 2003), processo conhecido como nitrificação;
- O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxica aos peixes, enquanto que na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia (VON SPERLING, 2005).

As formas mais comuns e importantes de nitrogênio, bem como o nitrogênio total, que inclui as formas de nitrogênio orgânico (que consiste em uma mistura complexa de compostos incluindo aminoácidos, açúcares e proteínas); a amônia, o

nitrito e o nitrato nos efluentes (METCALF e EDDY, 2003), são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Formas predominantes do nitrogênio.

Forma	Abreviação	Definição
Amônia	NH_3	NH_3
Íon Amônio	NH_4^+	NH_4^+
Nitrogênio Amoniacal	NAT	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrito	NO_2^-	NO_2^-
Nitrato	NO_3^-	NO_3^-
Nitrogênio Inorgânico Total	NIT	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Nitrogênio Total Kjeldahl	NTK	$\text{Norg} + \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrogênio Orgânico	Norg	$\text{NTK} - (\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+)$
Nitrogênio Total	NT	$\text{Norg} + \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

Fonte: Metcalf e Eddy, 2003.

3.3.2.2 Fósforo

Devido à explosão de algas que ocorre em águas superficiais, há muito interesse no controle da quantidade de compostos de fósforos que são despejados nas águas superficiais, provenientes de efluentes domésticos, industriais e escoamentos naturais (METCALF e EDDY, 2003).

As formas de fósforo encontradas nos efluentes domésticos, segundo a *International Association on Water Quality* (IAWQ, 1995 *apud* VON SPERLING, 2005), são as seguintes:

- Inorgânica: têm origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos.
- Orgânica (ligada a compostos orgânicos): origem fisiológica, mas podem ser constituintes importantes de efluentes industriais e lodos originários de estações de tratamento de efluentes.

3.3.3 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

A formação de lodo proveniente das unidades de sedimentação primária e secundária implica no tratamento e disposição do mesmo. A disposição desse lodo é um fator econômico significativo no tratamento dos efluentes líquidos. O custo de construção de uma unidade de processamento de lodo representa cerca de um terço em relação à planta de tratamento. Os métodos comuns de processamento são a digestão anaeróbica e a filtração a vácuo. Os métodos tradicionais de disposição incluem a disposição em aterros, a incineração, a produção de condicionadores de solo ou lançamento no mar (DESIRIO, 2007).

Segundo Mikkelsen Keiding (2001) *apud* Higa (2005), os custos relacionados à etapa da desidratação do lodo, incluindo os agentes de condicionamento, representam usualmente 30 a 50% dos custos operacionais anuais de estações de tratamento de esgotos domésticos.

3.3.4 Sólidos Suspensos Totais

Segundo Jordão (1995), os sólidos suspensos totais correspondem a porção do resíduo total retida, quando uma amostra de esgoto é filtrada em uma membrana filtrante de porosidade de 1,2 μm .

3.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A principal finalidade do tratamento do esgoto antes de seu lançamento nos corpos receptores é a proteção do meio ambiente, desta forma protegendo assim a qualidade das águas de rios e reservatórios.

O tratamento de esgoto é realizado por meios físicos, químicos e biológicos. Os métodos individuais são normalmente classificados como unidades de operação física, processos unitários químicos e processos unitários biológicos. Embora muitas vezes, estas operações e processos ocorram em uma variedade de combinações nos sistemas de tratamento. Metcalf e Eddy (1991) classificam as unidades de tratamento em:

- unidades de operação física: métodos de tratamento nos quais a aplicação de forças físicas predomina. Exemplos típicos: grades, floculação, sedimentação, flotação, filtração;
- unidades de processos químicos: métodos de tratamento onde é utilizada a adição de produtos químicos ou reações químicas. Exemplos típicos: precipitação química, cloração, oxidação química e desinfecção;
- unidades de processos biológicos: usado primeiramente para remover substâncias orgânicas biodegradáveis (coloidal ou dissolvida). Baseia-se na conversão destes componentes complexos em compostos simples, como gases e massas biológicas, podendo também ser utilizado para remoção de nitrogênio e fósforo. Exemplos: digestão do lodo e oxidação biológica (JORDÃO, 1995).

O tratamento de esgoto sanitário ocorre através da combinação de unidades de operações físicas, unidades de processos químicos e biológicos. Esses processos, de certa maneira, reproduzem os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos. Nas estações de tratamento de esgotos, os mesmos fenômenos básicos ocorrem, no entanto tecnologias são introduzidas para se o processo se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas (VON SPERLING, 1996b).

Na escolha de sistemas de tratamento de esgoto além dos parâmetros de eficiência de remoção é importante considerar critérios econômicos, como os a seguir.

a) Custos de Implantação: referem-se à necessidade de recursos para implantação da estação de tratamento de esgotos e estão expressos em (R\$/hab) (ANA, 2002).

b) Custos de Operação e Manutenção: é a disponibilidade de recursos considerando o desembolso anual por habitante (ANA, 2002).

c) Área Demandada: refere-se a área física necessária para implantação de cada alternativa de tratamento e está expressa em metros quadrados (m²) por habitante. (ANA, 2002).

d) Potência Consumida: refere-se ao consumo de energia elétrica, quando existente, devido ao uso de aeradores no processo de tratamento. Este valor está expresso em kWh/hab.ano (ANA, 2002).

O tratamento de efluentes usualmente é classificado em quatro níveis: preliminar ou prévio, primário, secundário e terciário ou avançado.

3.4.1 Tratamento Preliminar ou Prévio

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros (materiais de maiores dimensões), gorduras e areia, através do uso de mecanismos físicos, como grades, caixa de areia e/ou tanques de remoção de óleo e graxas, pré-condicionando o esgoto para as etapas posteriores do tratamento (VON SPERLING, 2005).

Os sólidos grosseiros, gorduras e areia devem ser removidos do esgoto sanitário, principalmente pelos seguintes motivos (JORDÃO, 1995):

- proteção dos dispositivos de transporte do esgoto para evitar danos, abrasão, obstrução e aderência, tais como: bombas, tubulações;
- proteção dos dispositivos de tratamento do esgoto, tais como: aeradores, meio filtrante;
- proteção dos corpos receptores;
- remoção parcial da carga poluidora;
- evitar odores e acúmulo em unidades de tratamento.

A Figura 2 mostra uma grade grossa utilizada na Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE Capuava) em Valinhos – SP.



Figura 2 - Grade Grossa.
Fonte: DAEV, 2010.

3.4.2 Tratamento Primário

O tratamento primário objetiva remover os sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica, tendo como princípio uso de mecanismos físicos (VON SPERLING, 2005). Exemplos: sedimentação e flotação (JORDÃO, 1995).

3.4.3 Tratamento Secundário

O tratamento secundário objetiva remover a matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). Neste nível predomina o uso de

mecanismos biológicos (aeróbicos ou anaeróbicos) (VON SPERLING, 2005). Exemplos: filtração biológica, lodos ativados, lagoas de estabilização aeróbicas facultativas e aeradas, e biodiscos (JORDÃO, 1995).

3.4.3.1 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados surgiu quando foi constatado que durante a aeração do esgoto ou de águas residuárias ocorria a remoção do material orgânico, e ao mesmo tempo formavam-se flocos de micro-organismos, os quais podiam ser separados da fase líquida por meio de decantação simples. Este lodo biológico recebeu a denominação de lodo ativado, pois quando adicionado à outra batelada de esgoto resultava em uma aceleração na remoção de matéria orgânica. Desta forma, com o retorno ou com a manutenção do lodo sedimentado (dependendo da variação do sistema de lodos ativados), o processo poderá assimilar uma carga muito maior de DBO (HIGA, 2005).

No sistema de lodos ativados, devido à recirculação dos sólidos, o tempo de detenção do líquido é menor que o tempo de detenção dos sólidos (que é denominado idade do lodo). É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência no mesmo, já que a biomassa presente em alta concentração pode metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos em um pequeno intervalo de tempo (HIGA, 2005).

Segundo Higa (2005), os principais componentes do sistema de lodos ativados do tipo convencional são:

- Tanque de aeração (reator biológico de fluxo contínuo);
- Aeração;
- Tanque de decantação (decantador secundário);

Recirculação de lodo.

A Tabela 5 apresenta as principais características dos sistemas de lodos ativados.

Tabela 5 - Principais características dos sistemas de lodos ativados utilizados para o tratamento de esgotos domésticos.

Item Geral	Item Específico	Modalidade		
		Convencional	Aeração prolongada	UASB – lodos ativados
Eficiência de remoção (%)	DBO	85 a 95	93 a 98	85 a 95
	NTK	25 a 30	15 a 25	15 a 25
	Fósforo Total	25 a 30	10 a 20	10 a 20
	Sólidos Suspensos Totais	85 a 95	85 a 95	85 a 95
Potência Consumida (kWh/hab.ano)		18 a 26	20 a 35	14 a 20
Custos (R\$/hab)	Operação e Manutenção	10 a 18	10 a 18	7 a 12
	Implantação	80 a 150	70 a 120	60 a 100
Volume de lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)		3,5 a 8,0	3,5 a 5,5	0,5 a 1,0
Área Demanda (m ² /hab)		0,2 a 0,3	0,25 a 0,35	0,2 a 0,3

Fonte: ANA, 2002.

A Figura 3 apresenta o esquema da etapa biológica do sistema de lodos ativados.

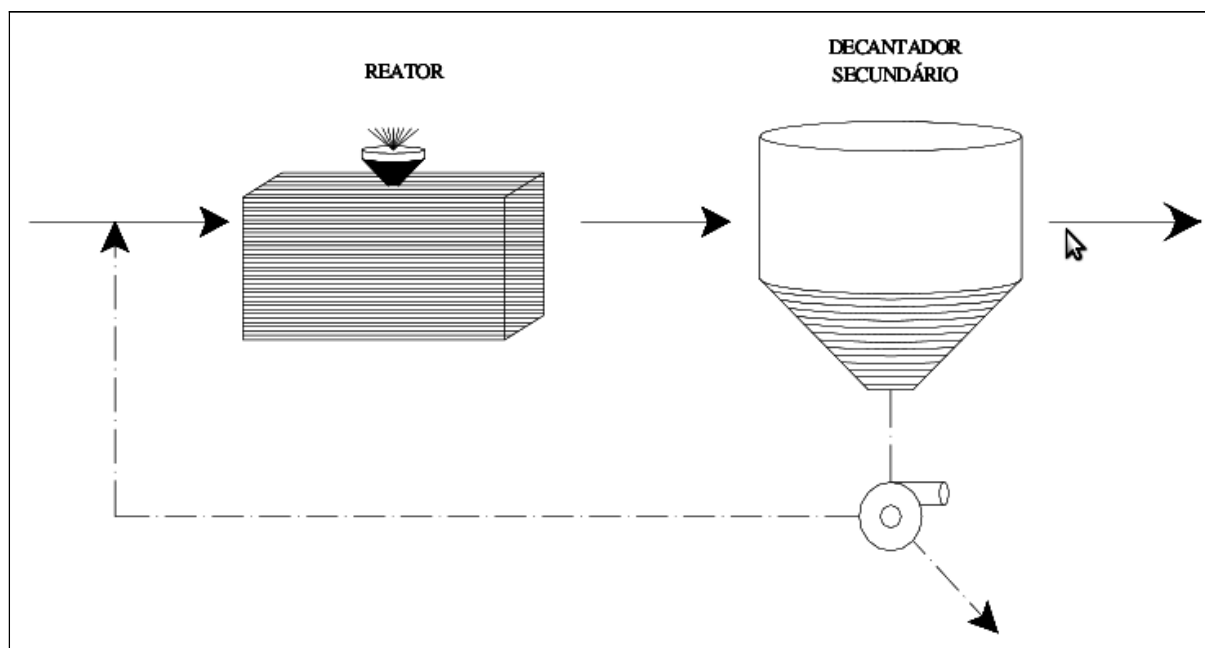


Figura 3 - Esquema da etapa biológica do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo.

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2002.

3.4.3.2 Biodisco

O processo de biodiscos consiste em um tanque, em que são instalados discos acoplados (igualmente espaçados) suportados por um eixo central (Figura 4). Este eixo gira em rotação constante de 1 a 2 rpm, ora expondo a superfície ao líquido, ora ao ar, seja por ação mecânica, seja por impulsão de ar (GONÇALVES *et al*, 2001; VON SPERLING, 1994).

A rotação facilita a adesão e o crescimento de microorganismos em sua superfície, formando e controlando a espessura de uma película úmida de poucos milímetros de espessura (biofilme), que chega a cobrir todo o disco. (SANTIAGO *et al*, 2001; GONÇALVES *et al*, 2001).

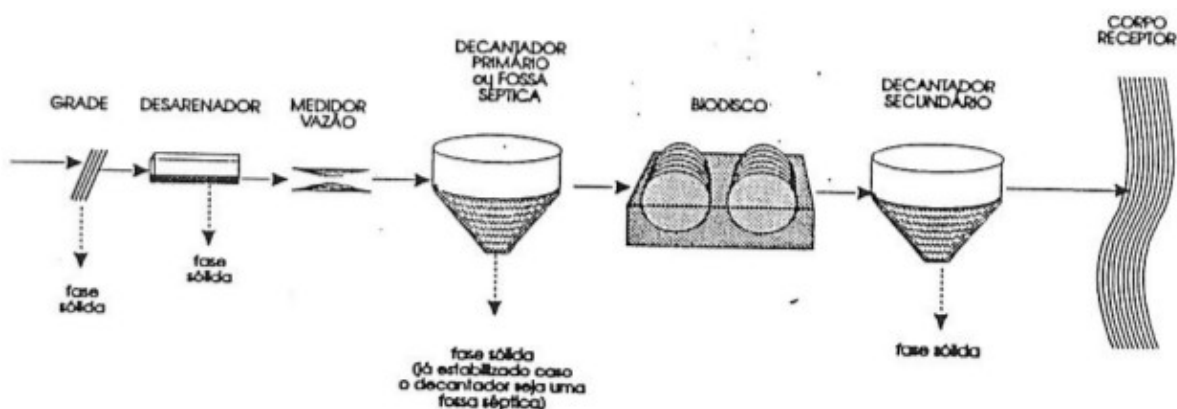


Figura 4 - Sistema de tratamento com Biodisco.
Fonte: Von Sperling, 1994.

Os microorganismos que formam o biofilme captam e utilizam como substrato as substâncias presentes no líquido a ser tratado, promovendo as transformações desejadas na remoção de DBO e SS, ou para se obter um efluente bem nitrificado, que são suas principais características (SANTIAGO *et al*, 2001).

Os discos geralmente são circulares e construídos de plástico de baixa densidade, são instalados de forma a ficarem parcialmente imersos, normalmente 40%, no meio líquido durante a rotação (GONÇALVES *et al*, 2001).

A Tabela 6 apresenta a eficiência de remoção dos Biodiscos.

Tabela 6 - Principais características dos Biodiscos.

Item Geral	Item Específico	
Eficiência de remoção (%)	DBO	88 a 95
	Nitrogênio Total	<35
	Fósforo Total	<60
	Sólidos Suspensos Totais	87 a 93

Fonte: ANA, 2002.

3.4.3.3 Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB)

Os reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors) também são conhecidos como: RAFA (reator anaeróbio de fluxo ascendente); DAFA (digestor anaeróbio de fluxo ascendente); RALF (reator anaeróbio de leito fluidizado); RAFAMAL (reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) e RAFAALL (reator anaeróbio de fluxo ascendente através de leito de lodo) (CHERCHINARO *et al*, 1999).

Segundo Von Sperling (1994), nos reatores UASB, o fluxo do líquido a ser tratado é ascendente e a matéria orgânica é estabilizada anaerobicamente por bactérias dispersas no reator. Basicamente, o reator divide-se em três zonas: leito de lodo, manta de lodo e leito de lodo e de sedimentação e coleta de gás, conforme se verifica na Figura 5 (CHERCHINARO *et al*, 1999).

Na zona inferior, denominada leito de lodo, o lodo é muito denso e bastante concentrado e é por onde o afluente entra no reator. Acima desta área, encontra-se uma zona mais dispersa em que os sólidos sedimentam-se mais lentamente, chamada de manta de lodo. Com o movimento ascendente das bolhas de biogás formadas no processo e o fluxo do esgoto no reator o sistema é automisturado. Este movimento também é responsável pelo carreamento de lodo, desta forma na zona superior (zona de sedimentação) são instalados separadores trifásicos (gases, sólidos e líquidos), de forma a permitir a retenção e o retorno do lodo (biomassa) ao sistema, retorno no compartimento de digestão aumentando a sua concentração no reator, e saída do efluente clarificado e biogás (VON SPERLING, 1994; CHERCHINARO *et al*, 1999).

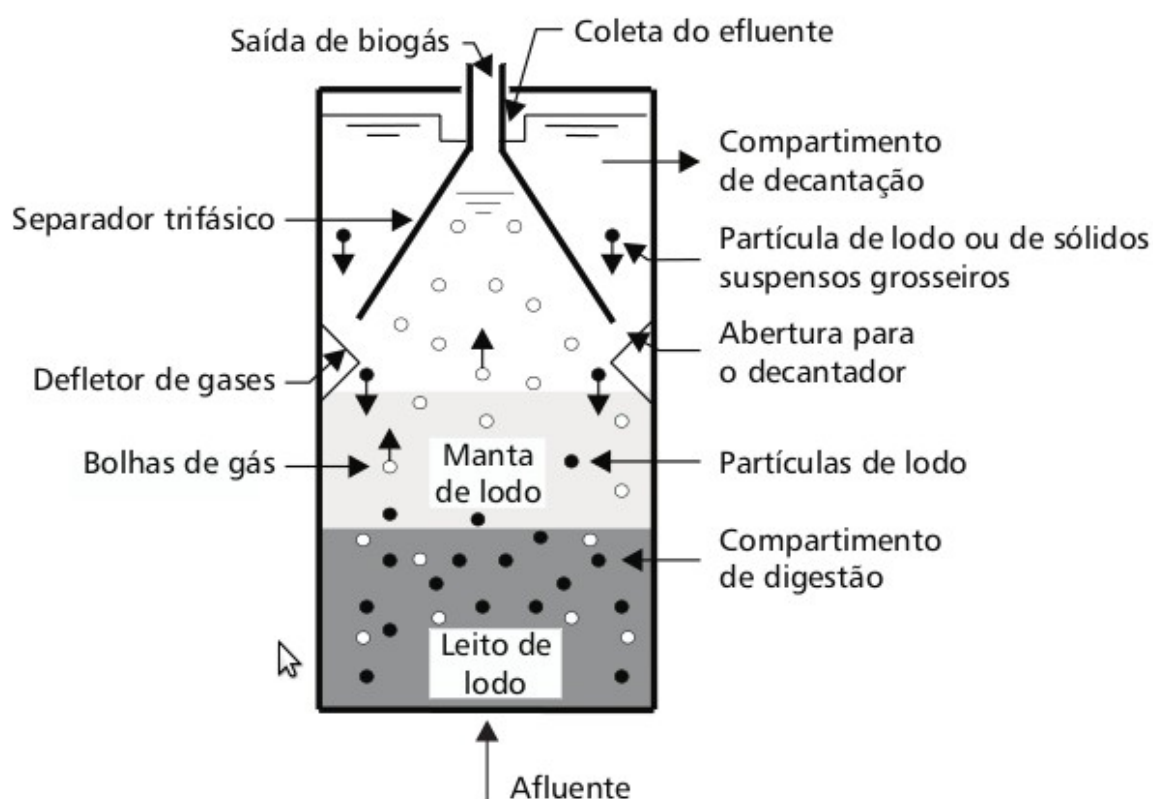


Figura 5 - Desenho esquemático de um reator UASB.

Fonte: Cherchinaro *et al*, 1999.

A Tabela 7 apresenta as principais características dos sistemas de lodos ativados.

Tabela 7 - Principais características dos reatores UASB.

Item Geral	Item Específico	
Eficiência de remoção (%)	DBO	60-75
	Nitrogênio Total	<60
	Fósforo Total	<35
	Sólidos Suspensos Totais	65-80
Potência Consumida (kWh/hab.ano)		0
Custos (R\$/hab)	Operação e Manutenção Anual	2,5-3,5
	Implantação	30-50
Volume de lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)		70-220
Área (m ² /hab)		0,03-0,10

Fonte: ANA, 2002.

3.4.3.4 Sistemas de Lagoas

A Tabela 8 apresenta as principais características dos sistemas de lagoas.

Tabela 8 - Principais características dos sistemas de lagoas

Item Geral	Item Específico	Sistemas de lagoas						
		1	2	3	4	5	6	7
Eficiência de remoção (%)	DBO	75-85	75-85	75-85	75-85	80-85	80-85	85-90
	Nitrogênio Total	<60	<60	<30	<30	50-65	65-85	<60
	Fósforo Total	<35	<35	<35	<35	<50	50-60	<35
	Sólidos Suspensos Totais	70-80	70-80	70-80	80-87	73-83	73-83	>90
Potência Consumida (kWh/hab.ano)		0	0	11-18	16-22	0	<2	0
Custos (R\$/hab)	Operação e Manutenção	2-4	2-4	5-9	5-9	2,5-5,0	3,5-6,0	3,5-6,0
	Implantação	40-80	30-75	50-90	50-90	50-100	50-90	50-90
Volume de lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)		35-90	55-160	30-220	55-360	55-360	55-360	60-90
Área Demanda (m ² /hab)		2,0-4,0	1,5-3,0	0,25-0,5	0,2-0,4	3,0-5,0	2,0-3,5	1,7-3,2

Fonte: ANA (2002)

Nota: 1=Lagoa facultativa ; 2=Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa ; 3=Lagoa aerada facultativa ; 4=Lagoa aerada mistura completa - lagoa sedimentação ; 5=Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + lagoa de maturação , 6=Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + lagoa de alta taxa ; 7=Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + remoção de algas

A seguir tem-se a descrição de vários tipos de lagoas, tanto de estabilização quanto de polimento.

a) Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, no qual a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial, alcançadas pelo lançamento de grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com a taxa de consumo de oxigênio bem superior à taxa de produção. No balanço de oxigênio, a produção pela fotossíntese e pela re-aeração atmosférica é, neste caso, desprezível (VON SPERLING, 1996c).

As lagoas anaeróbias são normalmente empregadas para estabilização de altas cargas orgânicas aplicadas e atuam como unidade primária em um sistema em

série de lagoas. Sua função principal é a degradação da matéria orgânica (DBO e DQO) envolvendo a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias (MEDRI, 1997).

O processo de tratamento ocorre em grandes fossas sépticas, sendo que a matéria orgânica em suspensão se deposita no fundo da unidade, onde entra em digestão anaeróbia. A matéria orgânica contida no líquido sofre também uma estabilização anaeróbia parcial. Devido a maior atividade bacteriana em altas temperaturas as lagoas anaeróbias apresentam maior eficiência no verão do que no inverno (TRUPPEL, 2002).

b) Lagoa de Mistura Completa (aeróbias)

As lagoas de mistura completa são essencialmente aeróbias. Estas utilizam aeradores para garantir a oxigenação do meio e manter os sólidos em suspensão dispersos no meio líquido, por este motivo denominam-se de mistura completa. A remoção ocorre devido a atividade das bactérias presentes no meio. O tempo de detenção é da ordem de 2 a 4 dias (VON SPERLING, 1996c).

c) Lagoa Facultativa

As lagoas facultativas são a variação mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. O processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica. As reações são lentas, tem-se longo tempo de detenção para que as reações se completem, o que implica em grandes requisitos de área (VON SPERLING, 1996c).

d) Lagoa de Maturação

As lagoas de maturação são consideradas lagoas de polimento no efluente de qualquer dos sistemas de tratamento de esgoto. Seu principal objetivo é eliminação de patogênicos (VON SPERLING, 1996c).

Segundo Zanotelli (2002), as lagoas de maturação são empregadas como o último estágio em uma série de lagoas anaeróbia-facultativa-aeróbia, ou então usadas como lagoas de polimento após outros sistemas de tratamento de efluentes como os lodos ativados ou os filtros biológicos.

3.4.4 Tratamento Terciário ou Avançado

O tratamento terciário ou avançado tem por objetivo remover poluentes específicos (geralmente tóxicos ou compostos de não biodegradáveis), ou ainda a remoção de poluentes que não foram suficientemente removidos nos tratamentos secundários, tais como: nutrientes, patogênicos, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Geralmente, é constituído de unidades de tratamento físico-químico (VON SPERLING, 2005). Exemplos: tratamento por membranas, osmose reversa, adsorção por carvão ativado, desinfecção por cloração ou ozonização e deionização.

3.5 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Tomar uma decisão pode ser uma tarefa complexa e depende de vários critérios e objetivos que na maioria das vezes são concorrentes. Tradicionalmente, a seleção de alternativas de projetos era baseada na análise técnico econômica e análise de custo-benefício, no entanto esse tipo de análise tem como desvantagem a impossibilidade de incluir fatores que não sejam mensuráveis em termos monetários e pode gerar distorções na simples conversão em unidades monetárias (BRITES, 2008; PABÓN, 2009).

Conforme Castro (2007), uma avaliação de alternativas de projetos não deve ser realizada a partir de apenas um critério. Segundo o autor, é importante que sejam considerados, concomitantemente, aspectos econômicos, sociais, ambientais,

políticos, técnicos, entre outros aspectos que se mostrarem relevantes à comparação de um determinado conjunto de alternativas. Considerando também os múltiplos decisores, como conflitos de interesses e diferentes pontos de vista. Assim, para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções, ou seja, um conjunto de ótimas soluções para a tomada de decisão.

Além disso, a maioria dos projetos em recursos hídricos deve atingir diferentes objetivos de diferentes naturezas, tais como: econômicos, ambientais, sociais, políticos, que na maioria das vezes são conflitantes (PABÓN, 2009).

O benefício na utilização de diferentes aspectos e alternativas é poder quantificar e avaliar diversos critérios que não seriam percebidos nas análises de critério único. Podendo, assim, perceber e comparar melhor as particularidades de cada alternativa proposta (HARADA e CORDEIRO NETTO, 1999 *apud* CASTRO, 2007).

Porém, conforme argumentam Souza, Cordeiro Netto e Lopes Júnior (2001), a existência de mais de uma característica de comparação entre alternativas, a determinação da superioridade de uma sobre outra alternativa pode não se tornar clara, podendo dificultar o conceito de dominância dos critérios, na qual a totalidade dos atributos de uma alternativa tem superioridade em relação aos atributos da outra. Também pode não se tornar clara a transitividade entre alternativas comparadas, pois poderá ocorrer a dominância, em relação a um critério, entre alternativas que não necessariamente se verifique em outro.

Para resolver esse tipo de questão é necessário o uso de ferramentas capazes de tornar claro a dominância dos critérios analisados. Considerando, na análise multicritério, vários fatores para medir o grau em que cada alternativa atende ou cumpre os vários objetivos que devem ser especificados pelos agentes interessados na escolha, existindo, dessa forma, um grupo de regras de decisão (SOUZA, CORDEIRO NETTO, LOPES JUNIOR, 2001).

Como resposta a esses problemas, foram desenvolvidas conceitualmente, a partir da década de 1970, as técnicas multiobjetivo que têm-se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. No entanto, experiências concretas do uso destas técnicas foram observadas com mais intensidade nos últimos vinte anos.

Os métodos multicritério, de uma forma geral, atendem a dois princípios básicos: escolher, ordenar ou classificar alternativas, como também incorporam múltiplos aspectos na análise (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO e NORONHA, 2001). Trazem consigo a capacidade de agregar na análise todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com a finalidade de possibilitar a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões. Desta forma, permitindo uma organização melhor das informações, evidenciando o conflito entre os objetivos e quantificando, através de grande suporte a modelagem matemática, o grau de compromisso entre eles (GOMES, ARAYA e CARIGNANO, 2004; GOBETTI e BRAGA, 1997 *apud* BRITES, 2008).

Brites (2008) e Souza, Netto e Lopes Junior (2001) apontam algumas vantagens no uso de abordagem multicritério:

- organizam melhor as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias;
- conseguem refletir melhor os objetivos e analisar com detalhe as particularidades nas alternativas comparadas;
- permitem estabelecer uma lista de prioridades de projeto;
- evidenciam os conflitos entre os objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles;
- tratam cada objetivo na unidade de mensuração mais adequada, já que permitem quantificar custos implícitos.

Existem pelo menos cinquenta diferentes técnicas multiobjetivo. O emprego de cada uma delas dependerá de uma série de fatores, tais como: a disponibilidade de informações, o cenário decisório e condicionantes institucionais (BRITES, 2008).

Durante este estudo foram encontrados diversos trabalhos da área de Engenharia Sanitária, os quais optaram por usar algum método de análise multicritério objetivando ou a escolha da melhor alternativa ou classificando-as. Entre estes estudos pode-se destacar:

Harada (2001) utilizou o método *Promethee* II na ordenação de prioridades em empreendimentos de saneamento para o Distrito Federal.

Zuffo *et al* (2002), aplicaram os métodos multicriteriais: ELECTRE II, PROMETHEE II, *Compromise Programming*, Teoria dos Jogos Cooperativos e o método Analítico Hierárquico (AHP) ao planejamento de recursos hídricos.

Malinowski (2006) utilizou o método AHP para hierarquização de ações de reúso de água nas proximidades de 2 estações de tratamento de efluente em Curitiba – Paraná.

Brites (2008) utilizou abordagem multicritério: *Compromise Programming*, *Promethee* 2 e Topsis; para selecionar sistemas de reúso de água em irrigação paisagística utilizando dados obtidos em um estudo piloto previamente realizado.

Neder *et al* (2001) avaliariam cinco processos naturais de pós-tratamento de efluentes de lagoa de estabilização em uma estação de tratamento de esgoto piloto no Distrito Federal mediante a utilização de métodos de multicritério.

Dantas, Garcias e Aisse (2003) utilizaram a análise multicritério para analisar a viabilidade técnica de 17 sistemas de tratamento de esgoto doméstico em uma comunidade nucleada do Exército Brasileiro na Amazônia.

Teclé *et al* (1988) *apud* Souza, Cordeiro Netto, Lopes Júnior (2001) selecionaram alternativas de tratamento de águas residuárias, utilizando a Teoria dos Jogos Cooperativos e os métodos de análise multicritério *Compromise Programming* e ELECTRE-I.

Souza (1992) *apud* Souza, Cordeiro Netto e Lopes Júnior (2001) desenvolveu o Modelo PROSEL-I para avaliação e seleção de processos de tratamento de águas residuárias, usando princípios de tecnologia apropriada e análise de decisão com múltiplos critérios.

Karimi *et al* (2011) utilizaram o métodos AHP e AHP Fuzzy para seleção de alternativas de tratamento água residuária em indústrias iranianas.

Zeng *et al* (2007) elaboraram um método denominado análise relacional hierárquica Grey para otimizar a seleção de alternativa de tratamento de água residuária baseado na Análise Relacional Grey (GRA) e Análise Hierárquica (AHP) para seleção de um sistema tratamento municipal.

A seguir são apresentados sucintamente os métodos mais utilizados em análises para escolha da melhor alternativa multicritério.

3.5.1 MÉTODOS DA SÉRIE ELECTRE

Os métodos Electre (*Élimination et Choix Traduisant la Réalité* traduzido ao português como “Tradução da Realidade por Eliminação e Escolha”) são da Escola Francesa de análise multicritério. Os métodos da Escola Francesa admitem a incomparabilidade entre duas alternativas. Assim, são mais flexíveis por não imporem ao decisor necessariamente uma classificação hierárquica. Para isso, não se utiliza nenhuma função matemática para definir o valor das alternativas (ACOLET, 2008; CORDEIRO NETTO *et al*, 2000).

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), o primeiro método da família, Electre I, foi desenvolvido por Bernad Roy em 1968. Os métodos que compõem a família Electre estão listados na Tabela 9, bem como tipo de problema que abordam e outras características importantes.

Tabela 9 - Métodos da família Electre.

Versão	Autor	Ano	Tipo de Problema	Tipo de Critério	Utiliza Pesos
I	Roy	1968	Seleção	Simples	Sim
II	Roy e Bertier	1973	Ordenação	Simples	Sim
III	Roy	1978	Ordenação	Pseudo	Sim
IV	Roy e Hugonard	1982	Ordenação	Pseudo	Não
IS (IV-a)	Roy e Skalka	1985	Seleção	Pseudo	Sim
TRI	Yu Wei	1992	Classificação	Pseudo	Sim

Fonte: Gomes, Araya e Carignano, 2004

Os métodos Electre utilizam a relação de superação entre as alternativas, através do Sistema Fundamental de Relações de Preferências (SFRP), que permite outras relações entre as alternativas como a Incomparabilidade, Preferência Fraca e Indiferença. Essas relações, ao serem combinadas, geram a relação de superação indicando a situação em que o agente da decisão tem as suas relações de preferências bem definidas. Desta forma, considera-se que uma alternativa supera a outra quando a primeira é ao menos tão boa quanto a segunda (ACOLET, 2008).

Acolet (2008) destaca ainda outra importante característica dos métodos Electre, o uso do modelo pseudo-critério. O pseudo-critério é o critério que delimita o limite da transição de uma situação de preferência para outra, associando cada alternativa a um limiars de preferência, indiferença, e de veto, classificando a relação de duas alternativas quaisquer em uma das situações fundamentais.

3.5.2 MÉTODO DA PROGRAMAÇÃO DE COMPROMISSO – *COMPROMISE PROGRAMMING*

O método *Compromise Programming* (ou da Programação de Compromisso) caracteriza-se por identificar a solução mais próxima de uma alternativa ideal,

geralmente não-viável ou intangível (por pressupor a solução ótima para todos os critérios ou objetivos de uma alternativa) (CORDEIRO NETTO *et al*, 2000; JARDIM, 1999).

O método classifica as alternativas pela medida de distância ou “grau de proximidade” em relação a “alternativa ideal”, identificada pela determinação de uma medida chamada “grau de proximidade”. A alternativa que apresentar a menor distância ou maior grau de proximidade é a solução de melhor compromisso (CORDEIRO NETTO *et al*, 2000; JARDIM, 1999).

3.5.3 PROMETHEE

A família de métodos PROMETHEE (I, II, III, IV, V e VI) pertencem à Escola Francesa, e sua sigla significa *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*. Estes métodos foram desenvolvidos por Jean-Pierre Brans, sendo o PROMETHEE I em 1984 (ACOLET, 2008).

Assim como no método Electre, este método se fundamenta na noção de superação e comparabilidade entre as alternativas. No entanto, o desempenho de cada alternativa é comparado de acordo com a intensidade de preferência em relação a cada um dos critérios (ACOLET, 2008).

Para cada critério, existe uma função preferência entre alternativas, que deve ser maximizada. Essa função é calculada separadamente para cada critério, e essa função indica a intensidade da preferência a intensidade da preferência de “a” sobre “b”, sendo que este valor varia no intervalo de 0 (indiferença) a 1 (preferência total) (BRITES, 2008; CORDEIRO NETTO *et al*, 2000).

A classificação das alternativas é feita definindo-se o índice de preferência global de “a” sobre “b”, para cada critério. Esse índice possibilita a avaliação de cada alternativa, a avaliação de cada alternativa, através da determinação de dois outros valores: o “fluxo de importância positivo” $\Phi^+(a)$ e o “fluxo de importância negativo” $\Phi^-(a)$.

(a), que representam os somatórios dos índices de preferência de “a” em relação a “b” e de “b” em relação a “a”, sob todos os critérios. A classificação das alternativas é feita considerando-se, o “fluxo de importância líquido”: $\emptyset(a) = \emptyset+(a) - \emptyset-(a)$. A alternativa que alcançar o maior valor de \emptyset é considerada a favorita (BRITES, 2008; CORDEIRO NETTO *et al*, 2000).

As aplicações desse método e os respectivos objetivos estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Aplicação dos métodos PROMETHEE em relação ao tipo de problema.

Método	Aplicação	Objetivo
PROMETHEE I	Problemas de Ordenação	Classificação parcial
PROMETHEE II	Problemas de Ordenação	Classificação total
PROMETHEE III	Problemas de Ordenação	Classificação total por intervalos
PROMETHEE IV	Problemas de Ordenação	Classificação total para um número infinito de alternativas
PROMETHEE V	Problemas de Seleção	Classificação total em função da seleção de subconjuntos de alternativas em razão de restrições existentes no problema
PROMETHEE VI	Problemas de Seleção	Classificação total, após a análise do grau de complexidade do problema

Fonte: Leal Junior, 2008.

3.5.4 Método Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP)

O AHP foi desenvolvido há mais de 20 anos por Saaty é um dos métodos multicritério mais utilizados. Segundo Freitas, Trevizano e Costa (2008), objetiva a seleção/escolha de alternativas em um processo decisório que considere múltiplos critérios, baseando-se em três princípios:

- Construção de hierarquias
- Definição de prioridades: comparação dos critérios, subcritérios e alternativas
- Consistência lógica: verificação do índice de consistência.

O AHP é um método que usa a matemática para processar as preferências subjetivas de cada indivíduo ou grupos que tomam decisões. Neste método, a decisão a ser tomada é estruturada de forma hierárquica para então se fazerem julgamentos subjetivos (COLIN, 2007).

Bevilacqua e Braglia (2000) apontam algumas vantagens de seu uso:

- uso em diversas aplicações;
- a possibilidade de medir a consistência no julgamento do decisor;
- não é somente método de auxílio a tomada de decisão, pois também orienta o analista em sua tomada de decisão;
- é possível realizar uma análise de sensibilidade;
- AHP pode integrar o uso de informações quantitativas e qualitativas;

Malinowski (2006) destaca outras vantagens, cabe citar:

- é um método simples e robusto;
- disponibilidade de software gratuito;
- fornece uma visão global devido a forma de a estruturação do problema, ajudando o decisor na avaliação da dimensão e conteúdo dos critérios por ação;
- é possível aplicá-lo em decisões de várias áreas;
- é transparente no processamento e nos resultados; e
- é um método consolidado com grande quantidade de publicações científicas.

No entanto, este método também tem limitações, Malinowski (2006) aponta algumas:

- o desempenho do objetivo da análise pode ser afetado pela má identificação dos níveis de hierarquia;

- como faz comparação par a par, sugere-se no máximo nove alternativas, já que conduz a um elevado número de julgamentos.

De uma forma geral, a hierarquia do problema é representada pelo objetivo (meta), os critérios e subcritérios e as alternativas de decisão, sendo que deve haver no mínimo três níveis e a principal decisão fica no primeiro nível hierárquico, e o último nível contém as alternativas de decisão no seu nível mais básico. A Figura 6 apresenta um esquema de decisão hierárquico genérico associado ao AHP (COLIN, 2007).

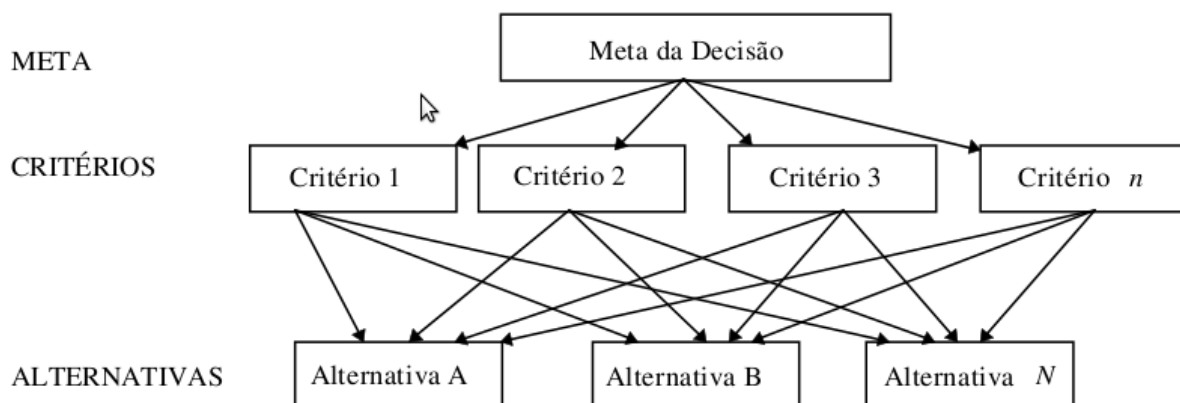


Figura 6 - Esquema Geral do AHP.

Fonte: Adaptado de Saaty, 1990.

Segundo Colin (2007), a aplicação do AHP pode ser dividida em quatro partes:

- 1) Representação da hierarquia: desenvolvimento da hierarquia de decisão associada ao objetivo (meta), critérios, sub-critérios e alternativas;
- 2) Comparações de pares: avaliação de preferências par a par de cada elemento de decisão em dado nível de hierarquia;
- 3) Método do autovalor: uso do método autovalor para estimar os pesos relativos dos elementos de decisão em um dado nível e avaliar a consistência das preferências estabelecidas nas comparações de pares;

- 4) Agregação de prioridades: agregação das prioridades relativas de modo a avaliar o resultado referente ao objetivo.

Após a hierarquização do problema estar definida, o decisor precisa especificar a importância dos fatores de decisão (critérios) em cada um dos níveis da hierarquia, ou seja, realizar a comparação par a par. Para tal, é utilizada uma escala de comparação, esta também é conhecida como escala de *Saaty*, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Escala de comparação de pares AHP (escala de Saaty).

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igualmente preferível	Duas alternativas contribuem igualmente com o objetivo
3	Moderada importância de um sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem levemente um alternativa sobre a outra
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma alternativa sobre a outra
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Uma alternativa é fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	É evidente a superioridade de um elemento sobre outro, mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões

Fonte: Traduzido e Adapado de Saaty, 1990.

Os resultados das comparações são apresentados na forma matricial conforme a Tabela 12, devendo atender às seguintes condições:

a) $a_{ij} = \alpha$ b) $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$ c) $a_{ii} = 1$, em que:

a - comparação paritária entre os critérios

α - valor de intensidade de importância.

Vale ressaltar que cada julgamento “ a_{ij} ” deve ser considerado como uma estimativa de importância entre o critério “i” em relação ao critério “j”, identificados na linha “i” e coluna “j”.

Tabela 12 - Matriz de comparação entre os pares de critérios.

Critério	Critério 1	Critério 2	Critério N
Critério 1	1	a_{12}	a_{1N}
Critério 2	$1/a_{12}$	1	a_{2N}
Critério N	$1/a_{1N}$	$1/a_{2N}$	1

Fonte: Adaptado de Malinowski, 2006.

O processo de montagem das matrizes de julgamento seguem a hierarquia estabelecida inicialmente para o problema proposto, da seguinte forma:

- avaliação da preferência (importância) de cada critério do segundo nível em relação ao objetivo geral; e
- avaliação da preferência (importância) de cada critério do segundo nível com relação a cada alternativa que pertencem ao terceiro nível.

Após o estabelecimento dos julgamentos, o problema concentra-se na obtenção das prioridades relativas de cada um dos critérios para determinação da escala de prioridade (COLIN, 2007). Depois, as matrizes de comparação são manipuladas para obtenção das prioridades relativas de cada um dos critérios. As prioridades relativas de cada critério são obtidas pela divisão de cada elemento destas matrizes pelo somatório dos valores da respectiva coluna.

O método da prioridade relativa aproximada é um método simples que normaliza os valores de cada uma das colunas da matriz e calcula a média das linhas. O ato de normalizar o autovetor consiste em deixar todas as suas coordenadas com valores entre zero e um (COLIN, 2007).

Saaty (1990) afirma que a normalização não é somente um mecanismo operacional. Ela contém informações sobre o domínio total das alternativas comparadas, permitindo apontar a prioridade do critério para cada alternativa, isto de acordo com o domínio relativo da alternativa.

Posteriormente, é testada a integridade dos julgamentos, calculada por um índice de inconsistência, que visa identificar desvios nos julgamentos.

Devido aos julgamentos aplicados à matriz de julgamento apresentarem certo grau de incerteza, em decorrência da fragilidade do decisor, Saaty (1990) menciona a verificação do índice de consistência e da razão de consistência.

Assim sendo, a matriz é considerada consistente somente se $\lambda_{max} = n$, ao passo que λ_{max} é o autovalor associado ao maior autovalor da matriz de comparações resultante das operações e n é a ordem da matriz (COLIN, 2007).

Este índice pode ser obtido através da resolução da seguinte equação:

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Sendo:

λ_{max} = média do vetor de consistência

n = ordem da matriz

E de forma semelhante, o Quociente de Consistência (QC) pode ser obtido através da resolução do seguinte cálculo:

$$QC = \frac{IC}{ICA}$$

Sendo:

IC = Índice de Consistência

ICA = Índice de Consistência Aleatório

Para matrizes de ordem n , os ICAs são obtidos em função da ordem da matriz de acordo com a Tabela 13.

Tabela 13 - ICAs em função da ordem da matriz.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Fonte: Colin, 2007.

Se o valor obtido para QC for igual a zero ela é considerada consistente e caso este valor seja inferior a 0,10 ela é considerada aceitável. Colin (2007) argumenta que este índice não deve ser interpretado como um erro não desejável mas como um fator de alerta para o decisor.

O resultado final do método se dá pela multiplicação da matriz de prioridades entre os critérios e a matriz de prioridade dos critérios nas alternativas. O resultado final será um vetor de prioridades compostas. A melhor alternativa de decisão é a que obtiver o maior valor no vetor (COLIN, 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A fase de determinação do desempenho dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário antecede ao tema desenvolvido na dissertação, não estando incluída no escopo da mesma. Cabe ressaltar que as eficiências dos sistemas foram obtidas por meio de pesquisa bibliográfica utilizando dados da ANA (2001) (Anexo 1), de um projeto de caráter técnico em nível nacional com a finalidade de criar instrumentos para gestão integrada da água em áreas urbanas, desta forma fornecendo subsídios ao Programa Nacional de Despoluição das Bacias Hidrográficas (PRODES) e como um estudo exploratório de um programa nacional de apoio à gestão (Convênio FINEP CT-HIDRO 23.01.0547.00).

As matrizes de desempenho foram estabelecidas com base no objetivo ou meta a ser alcançada que é a escolha de um sistema de tratamento do ponto de vista ambiental, técnico e econômico em três cenários diferentes. Da mesma forma, não faz parte do assunto escolhido a inclusão da incerteza, inerente ao processo decisório, devido à complexidade das negociações sociais, econômicas e políticas (JARDIM, 1999).

4.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

As etapas para desenvolvimento do trabalho foram:

- 1) Definição do método multicritério;
- 2) Definição dos cenários avaliados;
- 3) Definição dos sistemas de tratamento (alternativas);
- 4) Definição dos critérios;

- 5) Definição dos pesos;
- 6) Aplicação do método escolhido;

4.3 DEFINIÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO

Segundo Lima *et al* (2007), as técnicas de análise multicritério têm como objetivo propiciar a seleção e/ou ordenação de uma ou várias soluções para um problema entre as alternativas analisadas.

Neste sentido, Brites (2008) afirma que a escolha do método multicritério está vinculada à disponibilidade de informações e familiaridade do analista com os métodos. Afirma ainda que não existe um método melhor que outro, pois cada problema pode ser analisado de maneiras diferentes por cada método. No entanto, esta escolha pode ocorrer para o método que o analista considere de mais fácil entendimento.

Assim sendo, optou-se por trabalhar com um método de análise multicritério denominado *Analytic Hierarchy Process* (AHP), pois a literatura (MALINOWSKI, 2006) (SAATY,1990) (FREITAS, TREVIZANO e COSTA, 2008) (BEVILACQUA e BRAGLIA, 2000) o aponta como um método de fácil entendimento, aplicável em decisões de várias áreas, capaz de manipular simultaneamente critérios qualitativos e mensuráveis quantitativamente, além de ser um dos métodos mais utilizados cientificamente em problemas decisórios complexos. Este método já foi aplicado na área de saneamento por Zuffo *et al* (2002) , Malinowski (2006), Karimi *et al* (2011) e Zeng *et al* (2007).

4.4 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS AVALIADOS

Foram avaliados 3 diferentes cenários neste estudo.

No cenário 1 realizou-se a ordenação dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário em estudo priorizando os critérios de maior impacto econômico e parâmetros que constam nas Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011 que determinam as condições e padrões de lançamento de efluentes.

No cenário 2 foi considerada uma situação de reuso da água para irrigação de jardins. Desta forma, os critérios que priorizaram esta situação foram considerados mais importantes. Para tal situação, considera-se que o esgoto a ser tratado é um esgoto característico.

No cenário 3 foi considerada uma situação para valorização do lodo gerado no sistema de tratamento com a finalidade de geração de biogás. No entanto, para que esta situação se concretize é necessário a implantação de um biodigestor, e que ocorra uma adesão da população no processo para que restos orgânicos residenciais e de agroindústrias sejam destinados ao biodigestor. Vale salientar também que os custos de implantação do biodigestor não são considerados neste estudo. Este cenário é uma alternativa para resolver em parte o problema de falta de aterros sanitários.

4.5 DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Os sistemas de tratamento de esgotos sanitários a serem analisados neste estudo foram definidos com base em dados do IBGE (2010) contidos na Tabela 14 que apresenta os sistemas de tratamento de esgoto sanitário mais empregados nos municípios brasileiros. Foram definidas variações dos sistemas mais empregados no país, por considerar que estes possuem tecnologia já consolidada no Brasil, mais fácil acesso e com mais estudos sobre eficiência, e um cujas eficiências são compatíveis com os cenários em estudo.

Os sistemas/alternativas de tratamento de esgoto analisados neste estudo foram:

- UASB + lodos ativados
- UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa)
- Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P
- UASB + Biodisco
- Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação
- Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Tabela 14 - Municípios, total e com tratamento do esgoto sanitário realizado nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões.

Regiões		Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste	Brasil	
Municípios	Tipos de tratamento	Filtro Biológico	6	67	151	82	11	317
		Reator Anaeróbico	4	20	123	34	7	188
		Valo de Oxidação	14	84	238	178	51	565
		Lodos Ativados	2	4	14	6	1	27
		Lagoa Anaeróbia	11	68	251	49	52	431
		Lagoa Aeróbia	10	29	56	22	14	131
		Lagoa Aerada	4	26	42	8	13	93
		Lagoa Facultativa	19	130	387	70	66	672
		Lagoa Mista	2	25	25	6	7	65
		Lagoa de maturação	6	90	78	16	48	238
		Fossa Séptica de sistema condominial	1	5	11	3	-	20
		<i>Wetland</i> – aplicação no solo, plantas aquáticas	4	33	42	28	2	109
		Outros	2	43	54	20	10	129
		Total	35	308	782	271	117	1513
Total		449	1793	1668	1188	446	5564	

Fonte: Adaptado de IBGE. 2010.

4.6 DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Os critérios ambientais adotados neste estudo são os constantes nas Resoluções Conama nº 357/2005 e nº 430/2011 que determinam as condições e padrões de lançamento de efluentes: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total, Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais.

No entanto, somente a análise destes critérios não são suficientes para a escolha de um sistema de tratamento, sendo necessário também a inclusão de critérios econômicos. Desta forma, se consegue fugir da limitação de uma análise estritamente técnica, partindo-se para uma visão mais ampla da escolha de um sistema de tratamento de esgoto sanitário.

Neder *et al* (2001) utilizaram em suas análise os seguintes critérios: remoção de SS, DBO₅ (%), NTK (%) e P_t (%); custo de operação e manutenção (R\$/hab.), custo de implantação (R\$/hab.) e demanda de área (m²/hab.)

Dantas, Garcias e Aisse (2003) analisaram os critérios: DBO total, NTK, fósforo e coliformes.

Brostel, Neder, Souza (2001) avaliaram o desempenho de sistemas de tratamento de esgoto do Distrito Federal utilizando-se de critérios, tais como: custo de implantação por habitante de projeto, custo de operação por habitante atual, eficiência de remoção de DBO, área para cada 10 mil habitantes de projeto, produção de lodo por quilo de DQO removida, consumo de energia por quilo de DQO removida e custo de manutenção por habitante atual.

Desta forma, neste estudo incluídos na análise os critérios: custo de operação e manutenção anual (R\$/hab), custo de implantação (R\$/hab), potência consumida (kWh/hab.ano), área demandada (m²/hab) e volume de lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano). O critério de remoção de coliforme não fez parte deste estudo, já que que todas alternativas de tratamento de esgoto em estudo possuem remoção maior do que 90% conforme pode ser verificado no Anexo 1.

4.7 DETERMINAÇÃO DOS PESOS

Nas matrizes de desempenho/matriz de comparação entre os critérios (nível 2) os índices de preferência/importância entre os critérios foram estabelecidos conforme o critério que mais contribui para atingir o objetivo da análise.

Nas matrizes de desempenho/matriz de comparação dos critérios nas alternativas, os índices de preferência/importância foram estabelecidos conforme o desempenho de cada critério nas alternativas, sempre em consonância com o objetivo do cenário proposto.

Nessa fase, procedeu-se à definição dos pesos de importância de cada critério considerando os cenários analisados. Esse procedimento levou em consideração os principais objetivos desejados em cada cenário.

Nesse sentido, como no cenário 1 se objetiva escolher um sistema de tratamento eficiente e com baixo custo definiu-se que os critérios de maior impacto econômico (custo de implantação e volume de lodo líquido a ser tratado) deveriam ter importância maior, já as eficiências de remoção deveriam ter importância intermediária, enquanto os demais critérios teriam menor importância.

No cenário 2 como o objetivo é reúso do efluente tratado para irrigação de jardins, definiu-se que critérios que avaliassem a remoção de DBO, sólidos suspensos totais e volume de lodo teriam maior importância/influência na análise. Com importância intermediária os critérios de remoção: NTK e Pt, e custo de implantação, e os demais critérios teriam menor importância.

Como no cenário 3 se objetiva a valorização do lodo e alternativas de baixo custo, definiu-se que os critérios de maior importância seriam o volume de lodo, custo de implantação e custo de operação e manutenção. Com importância intermediária para potência consumida e área demanda, e os demais critérios teriam menor influência.

4.8 APLICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO

O método foi aplicado no software livre OpenOffice.org Calc utilizando-se de planilhas eletrônicas. O Calc é um dos programas que compõem o Pacote

OpenOffice.org. Este software é livre, ou seja, possui código fonte aberto. A escolha do Calc ocorreu por este ser um software gratuito, desta forma não tendo custos com licenças.

Os dados utilizados para eficiências de remoção, custo de implantação, custo de operação e manutenção, potência consumida, volume de lodo líquido a ser tratado e área demandada foram coletados do projeto URBAGUA, estudo contratado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS

5.1.1 CENÁRIO 1 – Descarte do efluente tratado tendo em vista a legislação vigente e baixos custos

A Tabela 15 apresenta a matriz de comparação paritária entre os critérios no cenário 1, também conhecida como matriz de julgamento. Os valores das comparações foram estabelecidos conforme escala de comparação de pares AHP (escala de Saaty) em consonância com o objetivo do cenário proposto que é o descarte do efluente tratado tendo em vista a legislação vigente e sistemas de tratamento de baixo custo.

Tabela 15 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 1

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	3	1/3	5	5	1/3	6	7	6
SS	1/3	1	1/5	3	3	1/3	6	7	6
VL	3	5	1	7	7	1/2	6	7	6
NTK	1/5	1/3	1/7	1	1	1/5	4	5	4
Pt	1/5	1/3	1/7	1	1	1/5	4	5	4
CI	3	3	2	5	5	1	7	9	7
COM	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/7	1	2	1
Área	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/9	1/2	1	1/2
PC	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/7	1	2	1

Depois de concluída a operacionalização da matriz de julgamento obteve-se o vetor de prioridade escala de prioridades dos critérios no cenário 1, ou seja, quais critérios tem mais peso na análise. O Gráfico 3 apresenta o comportamento dos critérios avaliados.

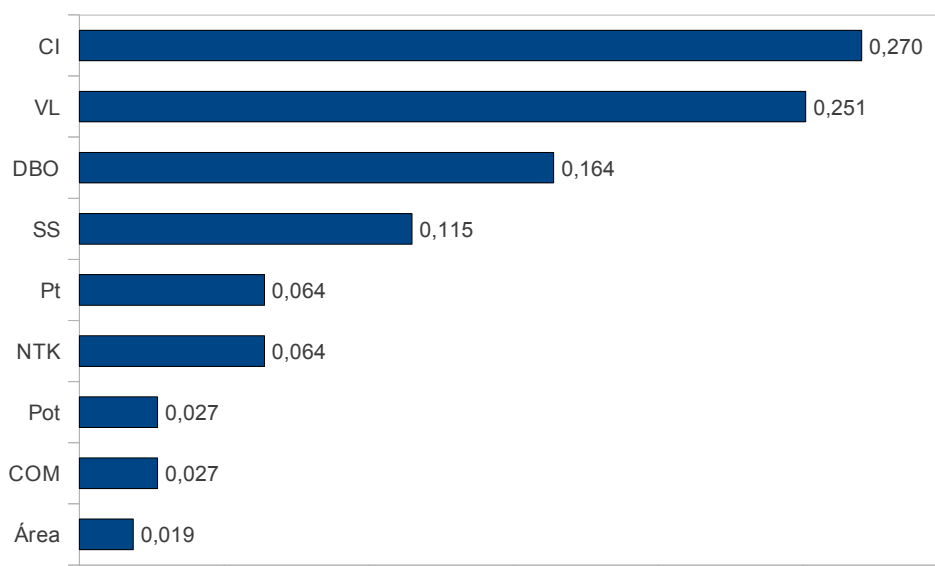


Gráfico 3 – Influência dos critérios avaliados no cenário 1.

Do Gráfico 3, percebe-se que dos nove critérios avaliados, os que assumem maior peso são custo de implantação e o volume de lodo líquido a ser tratado, a seguir critérios de remoção, e com menor influência potência consumida, custos de manutenção e operação anual e área demandada. Os critérios que assumem maior peso são os que mais contribuem para o cumprimento do objetivo do deste cenário.

Após a avaliação dos critérios, as alternativas de tratamento são analisadas para cada critério. Para cada análise é gerado um vetor de prioridade do grau de influência de cada alternativa no critério avaliado. A análise da influência dos nove critérios avaliados nas alternativas gera uma matriz de prioridade que está apresentada na Tabela 16.

Os dados que constam na Tabela 16 demonstram, por exemplo, que no critério DBO, o sistema que possui maior grau de influência neste critério ou tem melhor desempenho na remoção é a alternativa 6 (Lodos Ativado Convencional + Filtração Terciária), pois é o componente de maior valor no vetor DBO.

Tabela 16 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 1

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
1	0,113	0,174	0,048	0,155	0,039	0,181	0,140	0,370	0,066
2	0,031	0,048	0,321	0,026	0,039	0,446	0,255	0,102	0,170
3	0,135	0,174	0,048	0,433	0,483	0,032	0,034	0,152	0,045
4	0,258	0,174	0,137	0,144	0,039	0,061	0,074	0,278	0,345
5	0,046	0,027	0,413	0,087	0,150	0,248	0,463	0,025	0,345
6	0,418	0,405	0,032	0,155	0,250	0,033	0,034	0,073	0,029

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Após, a partir da multiplicação do vetor prioridade dos critérios e matriz de prioridade dos critérios nas alternativas, tem-se o vetor prioridade composto. O gráfico 4 apresenta a hierarquização ou ordenação final das alternativas de tratamento em análise no cenário 1.

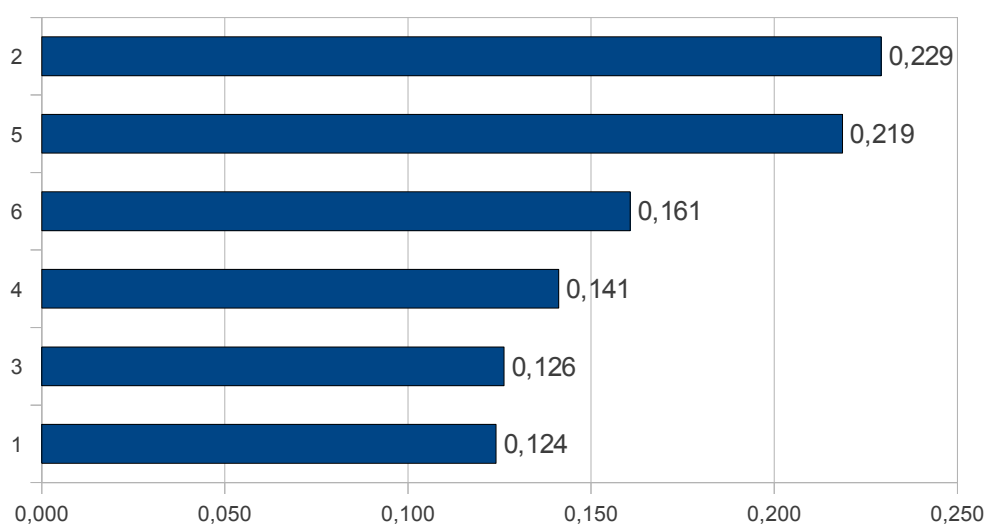


Gráfico 4 – Ordenação final no cenário 1.

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Frente a este contexto, a alternativa de tratamento 2, UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), apresentou-se como a mais viável de acordo com as análises. Embora não tenha os melhores desempenhos na remoção de SS, Pt e NTK, foi a melhor alternativa pois tem baixo custo de implantação e gera um baixo volume de lodo, sendo que estes representam 52,1% da importância dos critérios

avaliados (conforme Gráfico 3). A alternativa 5, Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, apresenta pequena diferença de desempenho em relação a alternativa 2, somente 1%. Apesar da alternativa 2 possuir maior importância relativa na maioria dos critérios, a diferença entre elas é no custo de implantação que praticamente determina a superioridade desta em relação à alternativa 5.

A terceira posição é ocupada pela alternativa 6, Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária. Ocupa esta posição por ter bom desempenho na remoção de SS, DBO, NTK, Pt, no entanto possui alto custo de implantação e gera grande volume de lodo.

A quarta posição na escala hierárquica é ocupada pela alternativa 4, UASB + Biodisco. Embora tenha boas eficiências de remoção, possui alto custo de implantação e gera grande volume de lodo. Desta forma, ocupa posição intermediária na escala.

As alternativas de tratamento 1 e 3, UASB + lodos ativados e Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, respectivamente, são as duas últimas colocadas no cenário estudado. Apresentaram pequena diferença de posicionamento na escala hierárquica, representando aproximadamente 0,2%. Isto se deve ao fato de que possuem desempenho muito próximo ou igual nos critérios DBO, SS, volume de lodo e potência consumida. No entanto, mesmo que o tratamento 1 seja superior nos critérios custo de implantação e custo de operação e manutenção, nos critérios Pt e NTK, o tratamento 3 teve desempenho muito superior, sendo que estes possuem grau de importância intermediária entre os critérios.

5.1.2 CENÁRIO 2 – Reúso da água para irrigação de jardins

A Tabela 17 apresenta a matriz de comparação paritária entre os critérios no cenário 2, também conhecida como matriz de julgamento. Os valores das

comparações foram estabelecidos conforme escala de comparação de pares AHP (escala de Saaty) em consonância com o objetivo do cenário proposto que é reúso da água para irrigação de jardins. Para tal, é importante bons índices de remoção de DBO e Sólidos Suspensos. Segundo Brites (2008), recomenda-se o reúso de efluentes com valores de DBO e SST menores que 20 mg/L.

Tabela 17 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 2.

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	2	5	9	9	3	4	7	6
SS	1/2	1	4	8	8	3	4	7	6
VL	1/5	1/4	1	5	5	1/3	1/2	4	3
NTK	1/9	1/8	1/5	1	1	1/7	1/6	1/3	1/4
Pt	1/9	1/8	1/5	1	1	1/7	1/6	1/3	1/4
CI	1/3	1/3	3	7	7	1	3	6	4
COM	1/4	1/4	2	6	6	1/3	1	4	5
Área	1/7	1/7	1/4	3	3	1/6	1/4	1	1/2
PC	1/6	1/6	1/3	4	4	1/4	1/5	2	1

O Gráfico 5 apresenta o comportamento dos critérios avaliados.

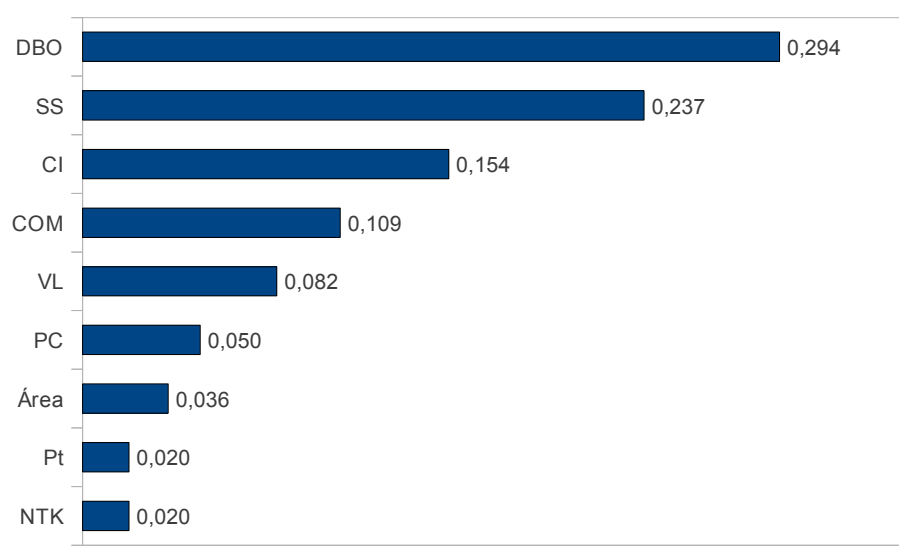


Gráfico 5 – Influência dos critérios avaliados no cenário 2.

Do gráfico 5, percebe-se que dos nove critérios avaliados, os que assumem maior peso são remoção de DBO e Sólidos suspensos (SS), seguidos por critérios que envolvem custos, custos de implantação, custos de manutenção e operação, e

volume de lodo a ser tratado, e com menor influência remoção de NTK e Pt. Os critérios que assumem mais peso são os que mais contribuem para o cumprimento do objetivo conforme proposto, neste cenário DBO, SS e custo de implantação.

Após, é necessário analisar a influência dos nove critérios avaliados nas alternativas gerando uma matriz de prioridade do cenário 2 que está apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 2

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
1	0,113	0,174	0,048	0,155	0,039	0,181	0,140	0,370	0,066
2	0,031	0,048	0,321	0,026	0,039	0,446	0,255	0,102	0,170
3	0,135	0,174	0,048	0,433	0,483	0,032	0,034	0,152	0,045
4	0,258	0,174	0,137	0,144	0,039	0,061	0,074	0,278	0,345
5	0,046	0,027	0,413	0,087	0,150	0,248	0,463	0,025	0,345
6	0,418	0,405	0,032	0,155	0,250	0,033	0,034	0,073	0,029

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

A matriz de prioridade dos critérios nas alternativas nos cenários 1 e 2 são iguais (Tabelas 16 e 18). Embora, o objetivo dos cenários seja diferente, o que os diferencia é o grau de influência dos critérios e não o desempenho destes. Enquanto no cenário 1, os critérios mais influentes são custo de implantação, volume de lodo e DBO, no cenário 2 os mais influentes são DBO, SS e custo de implantação.

O Gráfico 6 apresenta a hierarquização ou ordenação final das alternativas de tratamento em análise no cenário 2.

No contexto do cenário 2, a alternativa de tratamento 6, Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária, apresentou-se como a mais viável de acordo com as análises. Embora tenha alto custo de implantação, alto custo de operação e manutenção, alta potência consumida (este desempenho reflete em baixa importância desta alternativa nos critérios citados), foi a melhor alternativa pois tem

ótima remoção de DBO e SS, sendo que estes representam 53,1% da importância dos critérios avaliados (conforme Gráfico 5).

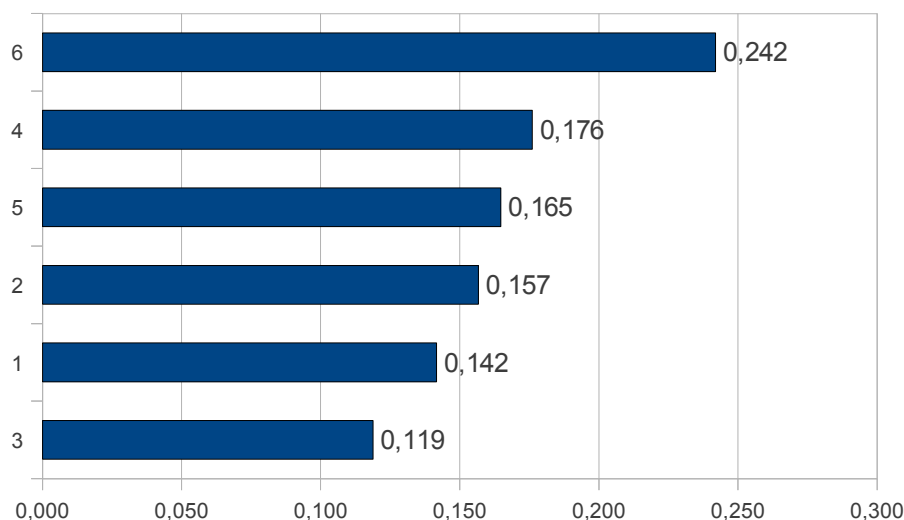


Gráfico 6 – Ordenação final no cenário 2.

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

As alternativas 4, 5 e 2, respectivamente segunda, terceira e quarta colocadas neste cenário apresentam pequena diferença na escala de hierarquização. Nos critérios de maior importância tem-se que:

- alternativa 4 destaca-se na remoção de DBO e SS, no entanto possui alto custo de implantação;
- alternativas 2 e 5 apresentam baixa importância na remoção de DBO e SS, contudo tem desempenho muito superior no custo de implantação em relação à alternativa 4.

A quinta posição é ocupada pela alternativa 1, UASB + lodos ativados. Ocupa esta posição por ter grau de importância baixo ou intermediário em praticamente todos os critérios.

A última posição na escala hierárquica é ocupada pela alternativa 3, Lodos Ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P. Esta alternativa possui boa influência somente nos critérios NTK e Pt que representam somente 2% cada na escala de importância dos critérios. Desta forma, ocupa última posição na escala.

5.1.3 CENÁRIO 3 – Valorização do lodo

A Tabela 19 apresenta a matriz de comparação paritária entre os critérios no cenário 3. O objetivo do cenário 3 é a valorização do lodo. Desta forma, o volume de lodo gerado torna-se uma oportunidade e não um problema como nos outros cenários.

Tabela 19 - Matriz de comparação paritária entre os critérios no Cenário 3.

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	2	1/7	5	5	1/6	1/5	1/3	1/3
SS	1/2	1	1/8	3	3	1/7	1/6	1/5	1/4
VL	7	8	1	9	9	2	3	6	5
NTK	1/5	1/3	1/9	1	1	1/8	1/7	1/6	1/6
Pt	1/5	1/3	1/9	1	1	1/8	1/7	1/6	1/6
CI	6	7	1/2	8	8	1	3	5	4
COM	5	6	1/3	7	7	1/3	1	4	3
Área	3	5	1/6	6	6	1/5	1/4	1	1/2
PC	3	4	1/5	6	6	1/4	1/3	2	1

O Gráfico 7 apresenta o comportamento dos critérios avaliados no cenário 3.

Do Gráfico 7, percebe-se que dos nove critérios avaliados, os que assumem maior peso são volume de lodo, e os critérios que envolvem custos: custo de implantação, custo de operação e manutenção e potência consumida, seguidos pelo critério área demanda, e com menor influência os critérios de remoção.

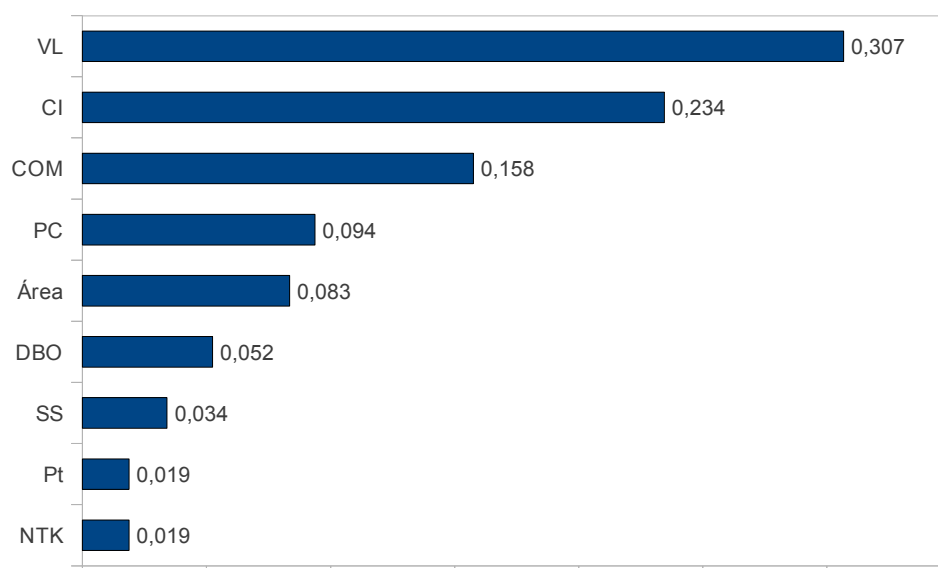


Gráfico 7 – Influência dos critérios avaliados no cenário 3.

Após a avaliação dos critérios, as alternativas de tratamento são analisadas para cada critério. A análise da influência dos nove critérios avaliados nas alternativas gera uma matriz de prioridade que está apresentada na Tabela 20.

Tabela 20 - Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 3

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
1	0,113	0,174	0,237	0,155	0,039	0,181	0,140	0,370	0,066
2	0,031	0,048	0,038	0,026	0,039	0,446	0,255	0,102	0,170
3	0,135	0,174	0,237	0,433	0,483	0,032	0,034	0,152	0,045
4	0,258	0,174	0,094	0,144	0,039	0,061	0,074	0,278	0,345
5	0,046	0,027	0,028	0,087	0,150	0,248	0,463	0,025	0,345
6	0,418	0,405	0,367	0,155	0,250	0,033	0,034	0,073	0,029

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

A matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 3 (Tabela 20) quando comparada com as mesmas matrizes dos cenários 1 e 2 (Tabelas 16 e 18) apresenta diferença somente no desempenho do critério volume de lodo, uma vez que o lodo gerado deixou de ser um problema tornando-se uma oportunidade. Desta forma, a alternativa que gera mais lodo tem maior grau de importância no critério, inverso do que ocorria nos cenários 1 e 2.

O Gráfico 8 apresenta a hierarquização ou ordenação final das alternativas de tratamento em análise no cenário 3.

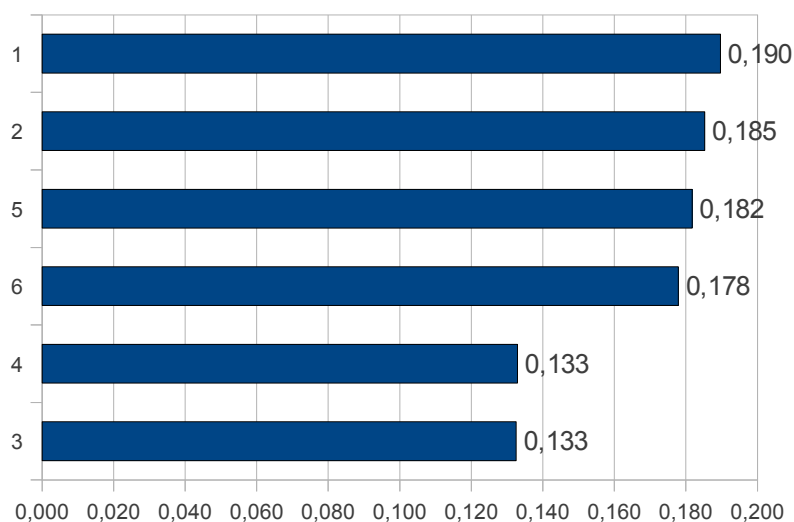


Gráfico 8 – Ordenação final no cenário 3.

Nota: 1=UASB + lodos ativados, 2=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 3=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 4=UASB + Biodisco, 5=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, 6=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Apesar da alternativa 1, UASB + lodos ativados, ser a mais viável de acordo com a análise, a ordenação final do cenário 3 (gráfico 8) mostra que as quatro primeiras colocadas possuem desempenho muito próximo no contexto avaliado. Esta situação se confirma ao analisar a diferença entre a primeira posição, UASB + Lodos Ativados, e a quarta posição, Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária, é de somente 1,2%. Assim, percebe-se que neste cenário não há uma alternativa que domine as demais. Isto ocorre pois nos critérios com maior grau de importância (volume de lodo, custo de implantação e custo de operação e manutenção), o desempenho/importância das alternativas oscila, com exceção da alternativa 1, como verifica-se a seguir:

- Alternativa 1: no critério volume de lodo representa 23,7%; no critério de custo de implantação 18,1%; no custo de operação e manutenção 14%. Ou seja, possui boa influência nos critérios de maior relevância.

- Alternativa 2: possui baixa influência no critério volume de lodo 3,8%; no entanto, possui bom grau de importância no custo de implantação 44,6%, 25,5% no custo de operação e manutenção, além de importância de 17% na potência consumida;
- Alternativa 5: ocupa a terceira posição. Gera baixo volume de lodo, desta forma sua influência neste critério é baixa (2,8%), no entanto tem ótimo desempenho nos critérios custo de implantação (24,8%) e custo de operação e manutenção (46,3%);
- Alternativa 6: é a quarta colocada e possui maior influência de todas as alternativas no volume lodo 36,7%, baixa influência nos critérios custo de implantação (3,3%) e custo de operação e manutenção (3,4%). No entanto, o primeiro critério representa 30,7% na decisão. Outro ponto que favorece esta alternativa é boa influência nos critérios de remoção.

Na última posição estão as alternativas 3 e 4, Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P e UASB + Biodisco, respectivamente. No critério volume de lodo, a alternativa 3 tem maior influência, 23,7% enquanto a alternativa 4 somente 9,4%. No entanto, nos critérios custo de implantação e custo de operação e manutenção e nos critérios intermediários (área, potência consumida e DBO) a alternativa 4 possui maior grau de importância, como percebe-se na Tabela 17.

5.2 DISCUSSÃO

Carneiro, Barbosa e Souza (2001) utilizaram os métodos Electre-tri, Compromisse Programming, Electre IV e Ponderação Aditiva para selecionar processos tratamento de água residuária no município de Santa Maria – Distrito Federal. Diferentemente do presente estudo, não foram considerados na análise critérios de remoção de poluentes, como remoção de DBO, SS, NTK e Pt. A aplicação de diferentes métodos multicritério e adoção de diferentes pesos aos critérios, praticamente, não alterou a ordenação final das alternativas de tratamento. No presente estudo, não aplicar diferentes pesos aos critérios não faria sentido,

devido aos 3 cenários estudados, pois os pesos atribuídos são fruto dos objetivos de cada cenário e significaria que cada critério teria aproximadamente 16,7% de importância.

Neder *et al* (2001) avaliariam cinco processos naturais de pós-tratamento de efluentes de lagoa de estabilização em uma estação de tratamento de esgoto piloto no Distrito Federal mediante a utilização de métodos multicritério, Eletre-III e *Comprimisse Programming*. Utilizaram na análise os critérios: remoção de SS, DBO5 (%), NTK (%) e Pt (%); custo de operação e manutenção (R\$/hab.), custo de implantação (R\$/hab.) e demanda de área (m²/hab.). Assim como no estudo de Carneiro, Barbosa e Souza (2001), a aplicação de diferentes métodos multicritério alterou a ordenação de somente uma alternativa de tratamento. Neder *et al* (2001) avaliaram dois cenários através da inclusão de critérios na segunda etapa de avaliação.

Brostel, Neder, Souza (2001) avaliaram o desempenho de sistemas de tratamento de esgoto do Distrito Federal utilizando-se de critérios, tais como: custo de implantação por habitante de projeto, custo de operação (R\$/hab) , eficiência de remoção de DBO, área para cada 10 mil habitantes de projeto, produção de lodo por quilo de DQO removida, consumo de energia por quilo de DQO removida e custo de manutenção (R\$/hab). Utilizaram os métodos Electre-III e *Compromisse Programming* em três cenários diferentes, no entanto não apresentam a ordenação final por método. Apontam neste estudo, que os processos mais simplificados, como as lagoas de estabilização, lagoas com associações de UASB e de disposição no solo e lagoas aeradas, apresentaram uma performance superior, em relação aos processos mecanizados.

5.3 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA E QUOCIENTE DE CONSISTÊNCIA

Avaliou-se a consistência do Método AHP para os 3 cenários avaliados, conforme apresentado no item 3.5.4, através do índice de consistência e do

quociente de consistência, obtidos através das fórmulas $IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)}$ e

$QC = \frac{IC}{ICA}$. Assim sendo, a Tabela 21 apresenta tais valores.

Tabela 21 - Índice de Consistência e Quociente de Consistência nos três cenários

Nível	Matriz	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
		IC	QC	IC	QC	IC	QC
Objetivo		0,12	0,08	0,09	0,06	0,11	0,07
Critério	DBO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	SS	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
	VL	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
	NTK	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	Pt	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	CI	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08
	COM	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
	Área	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
	PC	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Colin (2007) afirma que se o valor obtido para QC for igual a zero, é considerado consistente e caso este valor seja inferior a 0,10, é considerado aceitável. Desta forma, conforme a Tabela 21, os valores do quociente de consistência estão todos abaixo de 0,1, assim são aceitáveis.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O trabalho de subsidiar a avaliação e seleção de sistemas de tratamento de esgoto através de uma metodologia que pode ser utilizada para diferentes municípios apresentou-se como um modelo adequado de seleção de processos de tratamento considerando alternativas dentro de um contexto multidisciplinar, para que decisões não sejam tomadas somente com análises econômicas e métodos de otimização, pois essas abordagens são incapazes de lidar com o problema com a mesma amplitude e robustez necessária nesse tipo de abordagem.

Nesse sentido, utilizar-se de ferramentas matemáticas e computacionais, contidas nos métodos de análise multicritério de auxílio à decisão permitem a avaliação de diversas alternativas segundo critérios estabelecidos para cada caso, ou seja, os critérios e alternativas podem variar conforme o contexto de análise. A aplicação de uma metodologia dessa natureza mostrou-se neste trabalho de forma muito vantajosa, pois possibilitou que o processo de decisão fosse também técnico e não meramente econômico ou até mesmo político. Nesse processo de decisão, a análise de possíveis benefícios e inconvenientes provocados pela implantação das alternativas avaliadas conforme resultados, podem ser considerados durante o processo de decisão e não na implantação.

Estudos de concepção de projetos de estações de tratamento de efluentes deveriam utilizar metodologias de análise multicritério para então realizar os projetos básicos e na sequência conceber o projeto executivo. Isto além de apoiar as decisões de secretários municipais evitaria gastos desnecessários em projetos inadequados, bem como pressões por investimentos que não atenderiam os objetivos das prefeituras ou demais órgãos interessados nos projetos.

Quanto ao Método AHP ele se mostrou de fácil aplicação, além de facilitar o acompanhamento das comparações das matrizes, fornecendo resultados parciais e apresentando de forma simples, valores que indicam a sua consistência, o que fornece maior confiança aos valores atribuídos as matrizes de julgamento.

Os modelos propostos atendem satisfatoriamente os objetivos aos quais se propõem. O modelo foi estruturado e aplicado utilizando software livre, ou seja, não onerando os usuário. Como o modelo não possui uma interface gráfica, é necessário que os possíveis usuários desta ferramenta tenham um conhecimento prévio do método AHP, no entanto não sendo necessário um conhecimento profundo da teoria matemática que envolve o método AHP.

Sugere-se para futuros trabalhos, a proposição de aplicação deste tipo de metodologia em uma simulação real de seleção de alternativas de tratamento de efluentes para uma prefeitura com todos os dados reais para que a incerteza, inerente ao processo decisório, desta forma, incluindo a complexidade das negociações sociais, econômicas, ambientais e políticas.

REFERÊNCIAS

ACOLET, Tatiana. **Modelo de análise de Crédito Fundamentado no Electre Tri**. Dissertação de Mestrado em Administração, IBMEC-RJ. 2008

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Manual de operação** - versão 2002.0. Programa de despoluição de bacias hidrográficas – PRODES. 149p., 2002.

AISSE, Miguel Mansur (coord.); **Tratamento e utilização dos esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427p.

ALÉM SOBRINHO, Pedro; SAMUDIO, Edgar Manuel Miranda. Estudo sobre a remoção biológica do fósforo de esgoto sanitário através do processo de lodos ativados operando em batelada. 2000. XXVII Congresso Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental.

BAIRD, Colin. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BANCO MUNDIAL. Tabelas de Projeção da População por País. Disponível em <<http://go.worldbank.org/KZHE1CQFA0>>, acesso em 24 mai. 2010.

BARROS, Fernanda Gene Nunes; AMIN, Mário M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.4, n.1, p. 75-108. jan/abr. 2008. Disponível em: <<http://www.rbgdr.net/012008/artigo4.pdf>>. Acesso em: 23 agosto 2009.

BEVILACQUA, N.; BRAGLIA, M. **The Analytic Hierarchy Applied to Maintenance Strategy Selection**. Reliability Engineering & System Safety. v. 70, p. 71-83, 2000.

BOEIRA, Rita Carla. **Utilização de lodo de esgoto como adubo nitrogenado: risco ou benefício ao meio ambiente?** (sem data). Pesquisa Embrapa Meio Ambiente. Disponível em <http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/356.pdf>, acesso em 13/05/2011.

BORSOI, Zilda Maria Ferrão; TORRES, Solange Domingo Alencar. **A política de recursos hídricos no Brasil.** 1997. Disponível em <<http://www.bndespar.gov.br/conhecimento/revista/rev806.pdf>> Acesso em: 1 dez. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 430/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357/2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em 20 de fevereiro de 2011.

BRASIL. Lei n° 9.433 – 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em 20 de fevereiro de 2011.

BRASIL. Lei n° 9.984 - de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em <www.planalto.gov.br>. Acesso em 20 de fevereiro de 2011.

BRITES, Carlo Renan Cáceres de. **Abordagem multiobjetivo na seleção de sistemas de reúso de água em irrigação paisagística no distrito federal**: 2008. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília.

BROSTEL, Raquel de Carvalho; NEDER, Klaus Dieter; SOUZA, Marco Antonio Almeida de. **Análise Comparativa do Desempenho de estações de Tratamento de Esgotos do Distrito Federal**. 2001. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGANHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-146.pdf>>. Acesso em 02/11/2008.

CARNEIRO, Gustavo Antonio; BARBOSA, Rodrigo Flávio Moreira; SOUZA, Marco Antonio Almeida de **Tecnologia Adequada em Saneamento: uma Abordagem com o Emprego de Análise Multiobjetivo e Multicritério**: 2001. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21.

CASTRO, Leonardo Mitre Alvim de. **Proposição de Metodologia para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água**: 2007. Tese de Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. 321p.

CHERCHINARO, Carlos Augusto de Lemos; HAANDEL, Adrianus Van; AISSE, Miguel Mansur; CAVALCANTI, Paula Frassinetti Feitosa. Capítulo 7 – Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo. In: José Roberto Campos (Org.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1 ed. Belo Horizonte: Projeto PROSAB / FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, 1999.

COLIN, Emerson Carlos. **Pesquisa Operacional**: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro : LTC ; 2007.

CONSTANZI, Rircardo N; HESPANHOL, Ivanildo; ASADA, Lucia N.; MARQUES, Adriana. **Tratamento de efluente por reator biológico aeróbico com membrana visando o reuso da água**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (suplemento), p. 217-220, 2005.

CORDEIRO NETTO, Oscar de Moraes; SOUZA, Marco Antônio Almeida de; CARNEIRO, Gustavo Antonio; NERI, Leonardo José Alves Leal; LOPES JÚNIOR, Reynaldo Pena. **Uma metodologia para Análise Tecnológica de Sistemas com Reatores Biológicos Anaeróbicos para Tratamento de Águas Residuárias Municipais**: 2000. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27.

DAEAV - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ESGOTO DE VALINHOS. Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários - ETE Capuava. Grade Grossa da Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários – ETE Capuava. Disponível em <<http://www.daeav.org.br/educacao/etecapuava.asp>>. Acesso em 10 de junho de 2010.

DANTAS, Giuseppe Henriques Gouveia; AISSE, Miguel Mansur; GARCIAS, Carlos Mello. **Metodologia para a escolha de sistemas de tratamento de esgoto doméstico para comunidades nucleadas pelo exército brasileiro**. 2003. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23.

DESIRIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 3ª edição. São Paulo: Signus Editora, 2007. 191p.

ENSSLIN, Leonardo; MONTIBELLER NETO, Gilberto ; NORONHA, Sandro Mac Donald. **Apoio à Decisão**: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas. 1. ed. Florianópolis - SC: Insular, 2001. v. 1000. 296 p.

FREITAS, André Luís Policani; TREVIZANO, Waldir Andrade; COSTA, Helder Gomes. **Uma abordagem multicritério para problemas decisórios com múltiplos grupos de avaliadores**. *Investigação Operacional*, 28 (2008) 133-149

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; ARAYA, Marcela Cecilia González; CARIGNANO, Claudia. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2004.

GONÇALVES, *et al.* Capítulo 4 - Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Reatores com Biofilme. In: Carlos Augusto de Lemos Cherchinaro. (Org.). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. 1 ed. Belo Horizonte: Projeto PROSAB / FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos., 2001.

HARADA, Antônio Luís. **Uso de Análise Multicritério na Ordenação de Prioridades em Empreendimentos de Saneamento**. 2001. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21.

HESPANHOL, Ivanildo. **Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos**. *Estudos Avançados*, Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP: São Paulo, n. 63, mai/ago 2008.

HIGA, Márcia Fernanda. **Estudo de Tratabilidade de Efluentes de Indústria de Catalisadores Químicos por Lodos Ativado por Batelada (LAB): Degussa, Americana, SP** : 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 117p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: 2010.

JARDIM, Sérgio Brião. **Aplicabilidade de algumas técnicas de análise multiobjetivo ao processo decisório no âmbito de gerenciamento de bacia hidrográfica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 1999.

JORDÃO, Eduardo Pacheco. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720 p.

KARIMI, A. R.; MEHRDADI, N.; HASHEMIAN, S. J.; BIDHENDI, G. R. Nabi; MOGHADDAM, R. Tavakkoli. **Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods**. Journal Environmental Science Technology, 8 (2), 267-280, Spring 2011 .

LEAL JUNIOR, Miguel da Rocha. **Análise Multiatributo com Tratamento da Incerteza: Aplicação do Método INTERVAL SMART / SWING WEIGHTING à Escolha de Fornecedores de Serviços de TI** . Dissertação de Mestrado em Administração, IBMEC-RJ. 2008.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; NEVES, Carolina de Lima; SANTOS, Ronaldo Medeiros dos; VERGARA, Fernán Enrique; SOUZA, Marco Antônio Almeida de; CORDEIRO NETTO, Oscar de Moraes. **Desenvolvimento de aplicativo para uso do método multicritério Electre-Tri**. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. Cuiabá: 2007.

MALINOWSKI, Adriana. **Aplicação de Metodologia para a Estruturação de Diretrizes para o Planejamento do Reúso de Água no meio Urbano**: 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná.

MARTINS, Raquel Fernandes. **Avaliação da Presença de Metais e de Biomarcadores Fecais em Sedimentos do Rio Barigüi na Região Metropolitana de Curitiba – PR**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2006.

MEDRI, Waldir. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para o tratamento de dejetos de suínos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. ed. 4. Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel (p. cm Mc Graw-Hill series in civil environmental engineering), 2003. 1819p.

_____. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. ed. 3. Revised by George Tchobanoglous, Frank Burton (p. cm Mc Graw-Hill series in water resources and environmental engineering), 1991. 1334p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Brasília: MCIDADES, 2008. 408 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento**. Secretaria de Recursos Hídricos – Brasília: MMA, 2006. 68 p.

_____. **Estado das Águas no Brasil – 2002: em busca do equilíbrio**. Editor Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas. Brasília: ANA, 2002.

MONTANARI, Manuela Paradedda. **Análise da aplicabilidade e efetividade da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997** (Lei da Política Nacional e de Gestão dos Recursos Hídricos). Porto Alegre: 2006.

MORAES, Danielle Serra de Lima e JORDAO, Berenice Quinzani. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**. *Rev. Saúde Pública* [online]. USP: 2002, vol.36, n.3, pp. 370-374. ISSN 0034-8910.

NEDER, Klaus Dieter; CARNEIRO, Gustavo Antonio; QUEIROZ, Tarcísio dos Reis; SOUZA, Marco Antônio Almeida de. **Seleção de processos naturais de tratamento, quando empregados para remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização, utilizando métodos multicritério.** 2001. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21.

PABÓN, Diego Alonso Reyes. **Metologia Multiobjetivo e Multicritério de Auxílio à Outorga de Recursos Hídricos: Aplicação ao Caso da Bacia do Rio Preto:** 2009. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília.

REALI, Marco Antonio Penalva (coord.). **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de estações de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 250p.

REZENDE, Sonaly Cristina; HELLER, Léo. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces.** Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

SAATY, Thomas L. **How to make a decision:** the Analytic Hierarchy Process. European Journal of Operational Research, v. 48, p. 9-26, 1990.

SANTIAGO, Vânia Maria Junqueira; COELHO, Eloisia Barbosa de Almeida Pinto; ZANETTE, Cláudia Lopes; ALMEIDA, José Heleno Coimbra de. **Nitrificação em Biodisco:** 2001. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19.

SETTI, *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** 2a ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p .

SOUZA, Marco Antônio Almeida de; CORDEIRO NETTO, Oscar de Moraes; LOPES JÚNIOR, Reynaldo Pena. Capítulo 10 - Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.. In:

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo.. (Org.). Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: Projeto PROSAB / FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos., 2001, v. , p. 515-544.

TRUPPEL, A. **Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação de qualidade de seu efluente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

TUNDISI, José Galizia. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções.** Estudos Avançados, Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP: São Paulo, n. 63, mai/ago 2008.

VON SPERLING, Marcos. **Critérios e Dados para uma Seleção Preliminar de Sistemas de Tratamento de Esgotos.** In: Revista BIO. Encarte Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Rio de Janeiro, Brasil, Ano III, n. 1 p. 7-21, jan/abr 1994.

_____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** v1. 2ª edição revisada. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a.

_____. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** v2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b.

_____. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Vol.3: Lagoas de Estabilização. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996c.

_____. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** Vol.4: Lodos Ativados. Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 428 p.

_____. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ed. v.1. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2005. 452p.

ZANOTELLI, Cladir Teresinha. **Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ZENG, Guangming; JIANGA, Ru; HUANGA, Guohe; XUA, Min; LIA, Jianbing. **Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis.** Journal of Environmental Management 82 (2007) 250–259.

ZUFFO, Antonio Carlos; REIS, Luísa Fernanda R. Dos; SANTOS, Rozely Ferreira dos; CHAUDHRY, Fazal Hussain . **Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos.** RBRB – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 7, n. 1 – jan/mar, p. 81 – 102, 2002.

ANEXO 1

Tabela 22 - Área demandada, custo de implantação e custo anual de operação e manutenção das alternativas estudadas

Alternativa de Tratamento	Área (m ² /hab)	Custo Implantação (R\$/hab)	Custo Anual de Operação e Manutenção (R\$/hab)	Volume de lodo líquido a ser tratado (l/hab.ano)	Potência Consumida (kWh/hab.ano)
1	0,185	160,00	20,00	2050	18,50
2	0,150	135,00	12,50	915	0,00
3	0,140	90,00	9,50	2050	17,00
4	0,200	65,00	7,00	225	6,00
5	0,225	160,00	20,00	2150	22,00
6	4,00	75,00	3,75	107,5	0,00

Fonte: Adaptado de ANA (2002)

Nota: 1=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 2=UASB + Biodisco, 3=UASB + lodos ativados, 4=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 5=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária, 6=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação

Tabela 23 - Eficiência mínima e máxima esperada das alternativas estudadas

Alternativa de Tratamento	SS Total (%)		DBO Total (%)		NTK (%)		Fósforo Total (%)		Coliformes Fecais (%)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1	87,0	93,0	85,0	93,0	75,0	75,0	75,0	88,0	90,00	99,00
2	87,0	93,0	88,0	95,0	60,0	60,0	35,0	35,0	90,00	99,00
3	87,0	93,0	83,0	93,0	60,0	60,0	35,0	35,0	90,00	99,00
4	80,0	87,0	75,0	85,0	30,0	30,0	35,0	35,0	90,00	99,00
5	93,0	97,0	93,0	98,0	60,0	60,0	50,0	60,0	99,99	99,99
6	73,0	83,0	80,0	85,0	50,0	65,0	50,0	50,0	99,99	99,99

Fonte: Adaptado de ANA (2002)

Nota: 1=Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P, 2=UASB + Biodisco, 3=UASB + lodos ativados, 4=UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa), 5=Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária, 6=Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação

APÊNDICE A

Planilhas de cálculos do método AHP nos 3 cenários em estudo.

Cenário 1

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	3	1/3	5	5	1/3	6	7	6
SS	1/3	1	1/5	3	3	1/4	6	7	6
VL	3	5	1	7	7	1/2	6	7	6
NTK	1/5	1/3	1/7	1	1	1/5	4	5	4
Pt	1/5	1/3	1/7	1	1	1/5	4	5	4
CI	3	4	2	5	5	1	7	9	6
COM	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/7	1	2	1
Área	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/9	1/2	1	1/2
PC	1/6	1/6	1/6	1/4	1/4	1/6	1	2	1

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC	Média*	Vetor-soma ponderado	vetor consistência
DBO	0,12	0,21	0,08	0,22	0,22	0,11	0,17	0,16	0,17	0,16	1,78	10,91
SS	0,04	0,07	0,05	0,13	0,13	0,09	0,17	0,16	0,17	0,11	1,13	10,11
VL	0,37	0,35	0,23	0,31	0,31	0,17	0,17	0,16	0,17	0,25	2,79	11,23
NTK	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,07	0,11	0,11	0,12	0,06	0,60	9,38
Pt	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,07	0,11	0,11	0,12	0,06	0,60	9,38
CI	0,37	0,28	0,47	0,22	0,22	0,34	0,20	0,20	0,17	0,27	2,87	10,48
COM	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,25	9,26
Área	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,18	9,52
PC	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,06	0,03	0,04	0,03	0,03	0,26	9,20

Lambda	9,94	IC	0,12	QC	0,08
--------	------	----	------	----	------

*-corresponde ao vetor prioridade dos critérios

DBO					
-----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	4	1	1/3	3	1/4
2	1/4	1	1/6	1/7	1/2	1/9
3	1	6	1	1/2	4	1/5
4	3	7	2	1	7	1/2
5	1/3	2	1/4	1/7	1	1/7
6	4	9	5	2	7	1

1	0,10	0,14	0,11	0,08	0,13	0,11
2	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05
3	0,10	0,21	0,11	0,12	0,18	0,09
4	0,31	0,24	0,21	0,24	0,31	0,23
5	0,03	0,07	0,03	0,03	0,04	0,06
6	0,42	0,31	0,53	0,49	0,31	0,45

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,11	0,70	6,20
2	0,03	0,19	6,07
3	0,13	0,83	6,16
4	0,26	1,61	6,24
5	0,05	0,28	6,02
6	0,42	2,66	6,35

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

SS					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	5	1	1	7	1/3
2	1/5	1	1/5	1/5	3	1/7
3	1	5	1	1	7	1/3
4	1	5	1	1	7	1/3
5	1/7	1/3	1/7	1/7	1	1/9
6	3	7	3	3	9	1

1	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
2	0,03	0,04	0,03	0,03	0,09	0,06
3	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
4	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
5	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
6	0,47	0,30	0,47	0,47	0,26	0,44

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,17	1,08	6,25
2	0,05	0,29	6,03
3	0,17	1,08	6,25
4	0,17	1,08	6,25
5	0,03	0,16	6,06
6	0,40	2,54	6,29

Lambda	IC	QC
6,18	0,04	0,03

VL					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1/7	1	1/4	1/8	2
2	7	1	7	5	1/2	8
3	1	1/7	1	1/4	1/8	2
4	4	1/5	4	1	1/4	5
5	8	2	8	4	1	9
6	1/2	1/8	1/2	1/5	1/9	1

1	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,07
2	0,33	0,28	0,33	0,47	0,24	0,30
3	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,07
4	0,19	0,06	0,19	0,09	0,12	0,19
5	0,37	0,55	0,37	0,37	0,47	0,33
6	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,05	0,29	6,05
2	0,32	2,14	6,67
3	0,05	0,29	6,05
4	0,14	0,85	6,17
5	0,41	2,66	6,44
6	0,03	0,19	6,12

Lambda	IC	QC
6,25	0,05	0,04

NTK					
-----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	7	1/3	1	2	1
2	1/7	1	1/9	1/7	1/5	1/7
3	3	9	1	5	5	3
4	1	7	1/5	1	2	1
5	1/2	5	1/5	1/2	1	1/2
6	1	7	1/3	1	2	1

1	0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15
2	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
3	0,45	0,25	0,46	0,58	0,41	0,45
4	0,15	0,19	0,09	0,12	0,16	0,15
5	0,08	0,14	0,09	0,06	0,08	0,08
6	0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,15	0,95	6,16
2	0,03	0,16	6,06
3	0,43	2,75	6,35
4	0,14	0,89	6,19
5	0,09	0,53	6,10
6	0,15	0,95	6,16

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Pt						
----	--	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1/9	1	1/5	1/7
2	1	1	1/9	1	1/5	1/7
3	9	9	1	9	5	4
4	1	1	1/9	1	1/5	1/7
5	5	5	1/5	5	1	1/3
6	7	7	1/4	7	3	1

1	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
2	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
3	0,38	0,38	0,56	0,38	0,52	0,69
4	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
5	0,21	0,21	0,11	0,21	0,10	0,06
6	0,29	0,29	0,14	0,29	0,31	0,17

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,04	0,24	6,08
2	0,04	0,24	6,08
3	0,48	3,28	6,79
4	0,04	0,24	6,08
5	0,15	0,91	6,09
6	0,25	1,64	6,54

Lambda	IC	QC
6,27	0,05	0,05

CI						
----	--	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1/5	7	6	1/3	7
2	5	1	9	7	3	9
3	1/7	1/9	1	1/3	1/7	1
4	1/6	1/7	3	1	1/5	2
5	3	1/3	7	5	1	8
6	1/7	1/9	1	1/2	1/8	1

1	0,11	0,11	0,25	0,30	0,07	0,25
2	0,53	0,53	0,32	0,35	0,62	0,32
3	0,02	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04
4	0,02	0,08	0,11	0,05	0,04	0,07
5	0,32	0,18	0,25	0,25	0,21	0,29
6	0,02	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,18	1,17	6,47
2	0,45	3,10	6,95
3	0,03	0,20	6,13
4	0,06	0,37	6,03
5	0,25	1,73	6,96
6	0,03	0,20	6,15

Lambda	IC	QC
6,45	0,09	0,08

COM					
-----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1/3	5	3	1/5	5
2	3	1	7	5	1/3	7
3	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1
4	1/3	1/5	3	1	1/7	3
5	5	3	9	7	1	9
6	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1

1	0,10	0,07	0,19	0,18	0,11	0,19
2	0,31	0,21	0,27	0,30	0,18	0,27
3	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04
4	0,03	0,04	0,12	0,06	0,08	0,12
5	0,51	0,62	0,35	0,42	0,53	0,35
6	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,14	0,88	6,28
2	0,25	1,68	6,58
3	0,03	0,21	6,10
4	0,07	0,44	6,02
5	0,46	3,06	6,62
6	0,03	0,21	6,10

Lambda	IC	QC
6,28	0,06	0,05

Área					
------	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	4	3	2	9	5
2	1/4	1	1/2	1/4	6	2
3	1/3	2	1	1/3	7	3
4	1/2	4	3	1	8	4
5	1/9	1/6	1/7	1/8	1	1/5
6	1/5	1/2	1/3	1/4	5	1

1	0,42	0,34	0,38	0,51	0,25	0,33
2	0,10	0,09	0,06	0,06	0,17	0,13
3	0,14	0,17	0,13	0,08	0,19	0,20
4	0,21	0,34	0,38	0,25	0,22	0,26
5	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
6	0,08	0,04	0,04	0,06	0,14	0,07

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,37	2,38	6,43
2	0,10	0,64	6,22
3	0,15	0,97	6,36
4	0,28	1,82	6,56
5	0,03	0,15	6,13
6	0,07	0,44	6,11

Lambda	IC	QC
6,30	0,06	0,05

PC						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/4	2	1/6	1/6	3
2	4	1	5	1/3	1/3	6
3	1/2	1/5	1	1/7	1/7	2
4	6	3	7	1	1	9
5	6	3	7	1	1	9
6	1/3	1/6	1/2	1/9	1/9	1

1	0,06	0,03	0,09	0,06	0,06	0,10
2	0,22	0,13	0,22	0,12	0,12	0,20
3	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
4	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
5	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
6	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistên cia
1	0,07	0,40	6,05
2	0,17	1,07	6,28
3	0,04	0,27	6,01
4	0,34	2,18	6,32
5	0,34	2,18	6,32
6	0,03	0,18	6,07

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 1								
DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC

0,113	0,174	0,048	0,155	0,039	0,181	0,140	0,370	0,066
0,031	0,048	0,321	0,026	0,039	0,446	0,255	0,102	0,170
0,135	0,174	0,048	0,433	0,483	0,032	0,034	0,152	0,045
0,258	0,174	0,137	0,144	0,039	0,061	0,074	0,278	0,345
0,046	0,027	0,413	0,087	0,150	0,248	0,463	0,025	0,345
0,418	0,405	0,032	0,155	0,250	0,033	0,034	0,073	0,029

Vetor de prioridade composta

1	0,124	UASB + lodos ativados
2	0,231	UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa)
3	0,126	Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P
4	0,141	UASB + Biodisco
5	0,219	Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação
6	0,159	Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Cenário 2

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	2	5	9	9	3	4	7	6
SS	1/2	1	4	8	8	3	4	7	6
VL	1/5	1/4	1	5	5	1/3	1/2	4	3
NTK	1/9	1/8	1/5	1	1	1/7	1/6	1/3	1/4
Pt	1/9	1/8	1/5	1	1	1/7	1/6	1/3	1/4
CI	1/3	1/3	3	7	7	1	3	6	4
COM	1/4	1/4	2	6	6	1/3	1	4	5
Área	1/7	1/7	1/4	3	3	1/6	1/4	1	1/2
PC	1/6	1/6	1/3	4	4	1/4	1/5	2	1

										Média*	Vetor-soma ponderado	vetor consistência
DBO	0,36	0,46	0,31	0,20	0,20	0,36	0,30	0,22	0,23	0,29	2,98	10,13
SS	0,18	0,23	0,25	0,18	0,18	0,36	0,30	0,22	0,23	0,24	2,47	10,44
VL	0,07	0,06	0,06	0,11	0,11	0,04	0,04	0,13	0,12	0,08	0,79	9,69
NTK	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,18	9,34
Pt	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,18	9,34
CI	0,12	0,08	0,19	0,16	0,16	0,12	0,23	0,19	0,15	0,15	1,59	10,31
COM	0,09	0,06	0,13	0,14	0,14	0,04	0,08	0,13	0,19	0,11	1,08	9,97
Área	0,05	0,03	0,02	0,07	0,07	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,33	9,06
PC	0,06	0,04	0,02	0,09	0,09	0,03	0,02	0,06	0,04	0,05	0,45	9,15

Lambda	9,71	IC	0,09	QC	0,06
--------	------	----	------	----	------

*-corresponde ao vetor prioridade dos critérios

DBO					
-----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	4	1	1/3	3	1/4
2	1/4	1	1/6	1/7	1/2	1/9
3	1	6	1	1/2	4	1/5
4	3	7	2	1	7	1/2
5	1/3	2	1/4	1/7	1	1/7
6	4	9	5	2	7	1

1	0,10	0,14	0,11	0,08	0,13	0,11
2	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05
3	0,10	0,21	0,11	0,12	0,18	0,09
4	0,31	0,24	0,21	0,24	0,31	0,23
5	0,03	0,07	0,03	0,03	0,04	0,06
6	0,42	0,31	0,53	0,49	0,31	0,45

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,11	0,70	6,20
2	0,03	0,19	6,07
3	0,13	0,83	6,16
4	0,26	1,61	6,24
5	0,05	0,28	6,02
6	0,42	2,66	6,35

Lambda	6,17
IC	0,03
QC	0,03

SS					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	5	1	1	7	1/3
2	1/5	1	1/5	1/5	3	1/7
3	1	5	1	1	7	1/3
4	1	5	1	1	7	1/3
5	1/7	1/3	1/7	1/7	1	1/9
6	3	7	3	3	9	1

1	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
2	0,03	0,04	0,03	0,03	0,09	0,06
3	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
4	0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
5	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
6	0,47	0,30	0,47	0,47	0,26	0,44

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,17	1,08	6,25
2	0,05	0,29	6,03
3	0,17	1,08	6,25
4	0,17	1,08	6,25
5	0,03	0,16	6,06
6	0,40	2,54	6,29

Lambda	6,18
IC	0,04
QC	0,03

VL						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/7	1	1/4	1/8	2
2	7	1	7	5	1/2	8
3	1	1/7	1	1/4	1/8	2
4	4	1/5	4	1	1/4	5
5	8	2	8	4	1	9
6	1/2	1/8	1/2	1/5	1/9	1

1	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,07
2	0,33	0,28	0,33	0,47	0,24	0,30
3	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,07
4	0,19	0,06	0,19	0,09	0,12	0,19
5	0,37	0,55	0,37	0,37	0,47	0,33
6	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,05	0,29	6,05
2	0,32	2,14	6,67
3	0,05	0,29	6,05
4	0,14	0,85	6,17
5	0,41	2,66	6,44
6	0,03	0,19	6,12

Lambda	IC	QC
6,25	0,05	0,04

NTK						
	1	2	3	4	5	6

1	1	7	1/3	1	2	1
1/7	1	1/9	1/7	1/5	1/7	
3	9	1	5	5	3	
1	7	1/5	1	2	1	
1/2	5	1/5	1/2	1	1/2	
1	7	1/3	1	2	1	

0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15
0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
0,45	0,25	0,46	0,58	0,41	0,45
0,15	0,19	0,09	0,12	0,16	0,15
0,08	0,14	0,09	0,06	0,08	0,08
0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,15	0,95	6,16
2	0,03	0,16	6,06
3	0,43	2,75	6,35
4	0,14	0,89	6,19
5	0,09	0,53	6,10
6	0,15	0,95	6,16

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Pt					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1/9	1	1/5	1/7
2	1	1	1/9	1	1/5	1/7
3	9	9	1	9	5	4
4	1	1	1/9	1	1/5	1/7
5	5	5	1/5	5	1	1/3
6	7	7	1/4	7	3	1

1	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
2	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
3	0,38	0,38	0,56	0,38	0,52	0,69
4	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
5	0,21	0,21	0,11	0,21	0,10	0,06
6	0,29	0,29	0,14	0,29	0,31	0,17

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,04	0,24	6,08
2	0,04	0,24	6,08
3	0,48	3,28	6,79
4	0,04	0,24	6,08
5	0,15	0,91	6,09
6	0,25	1,64	6,54

Lambda	IC	QC
6,27	0,05	0,05

CI					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1/5	7	6	1/3	7
2	5	1	9	7	3	9
3	1/7	1/9	1	1/3	1/7	1
4	1/6	1/7	3	1	1/5	2
5	3	1/3	7	5	1	8
6	1/7	1/9	1	1/2	1/8	1

1	0,11	0,11	0,25	0,30	0,07	0,25
2	0,53	0,53	0,32	0,35	0,62	0,32
3	0,02	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04
4	0,02	0,08	0,11	0,05	0,04	0,07
5	0,32	0,18	0,25	0,25	0,21	0,29
6	0,02	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,18	1,17	6,47
2	0,45	3,10	6,95
3	0,03	0,20	6,13
4	0,06	0,37	6,03
5	0,25	1,73	6,96
6	0,03	0,20	6,15

Lambda	IC	QC
6,45	0,09	0,08

COM						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/3	5	3	1/5	5
2	3	1	7	5	1/3	7
3	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1
4	1/3	1/5	3	1	1/7	3
5	5	3	9	7	1	9
6	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1

1	0,10	0,07	0,19	0,18	0,11	0,19
2	0,31	0,21	0,27	0,30	0,18	0,27
3	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04
4	0,03	0,04	0,12	0,06	0,08	0,12
5	0,51	0,62	0,35	0,42	0,53	0,35
6	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,14	0,88	6,28
2	0,25	1,68	6,58
3	0,03	0,21	6,10
4	0,07	0,44	6,02
5	0,46	3,06	6,62
6	0,03	0,21	6,10

Lambda	IC	QC
6,28	0,06	0,05

Área						
	1	2	3	4	5	6

1	4	3	2	9	5
1/4	1	1/2	1/4	6	2
1/3	2	1	1/3	7	3
1/2	4	3	1	8	4
1/9	1/6	1/7	1/8	1	1/5
1/5	1/2	1/3	1/4	5	1

0,42	0,34	0,38	0,51	0,25	0,33
0,10	0,09	0,06	0,06	0,17	0,13
0,14	0,17	0,13	0,08	0,19	0,20
0,21	0,34	0,38	0,25	0,22	0,26
0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
0,08	0,04	0,04	0,06	0,14	0,07

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,37	2,38	6,43
2	0,10	0,64	6,22
3	0,15	0,97	6,36
4	0,28	1,82	6,56
5	0,03	0,15	6,13
6	0,07	0,44	6,11

Lambda	IC	QC
6,3	0,06	0,05

PC						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/4	2	1/6	1/6	3
2	4	1	5	1/3	1/3	6
3	1/2	1/5	1	1/7	1/7	2
4	6	3	7	1	1	9
5	6	3	7	1	1	9
6	1/3	1/6	1/2	1/9	1/9	1

1	0,06	0,03	0,09	0,06	0,06	0,10
2	0,22	0,13	0,22	0,12	0,12	0,20
3	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
4	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
5	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
6	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistên cia
1	0,07	0,40	6,05
2	0,17	1,07	6,28
3	0,04	0,27	6,01
4	0,34	2,18	6,32
5	0,34	2,18	6,32
6	0,03	0,18	6,07

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 2								
DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC

0,11	0,17	0,05	0,15	0,04	0,18	0,14	0,37	0,07
0,03	0,05	0,32	0,03	0,04	0,45	0,25	0,1	0,17
0,13	0,17	0,05	0,43	0,48	0,03	0,03	0,15	0,04
0,26	0,17	0,14	0,14	0,04	0,06	0,07	0,28	0,34
0,05	0,03	0,41	0,09	0,15	0,25	0,46	0,03	0,34
0,42	0,4	0,03	0,15	0,25	0,03	0,03	0,07	0,03

Vetor de prioridade composta

- 1 0,142 UASB + lodos ativados
- 2 0,157 UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa)
- 3 0,119 Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P
- 4 0,176 UASB + Biodisco
- 5 0,165 Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação
- 6 0,242 Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

Cenário 3

	DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC
DBO	1	2	1/7	5	5	1/6	1/5	1/3	1/3
SS	1/2	1	1/8	3	3	1/7	1/6	1/5	1/4
VL	7	8	1	9	9	2	3	6	5
NTK	1/5	1/3	1/9	1	1	1/8	1/7	1/6	1/6
Pt	1/5	1/3	1/9	1	1	1/8	1/7	1/6	1/6
CI	6	7	1/2	8	8	1	3	5	4
COM	5	6	1/3	7	7	1/3	1	4	3
Área	3	5	1/6	6	6	1/5	1/4	1	1/2
PC	3	4	1/5	6	6	1/4	1/3	2	1

										Média*	Vetor-soma ponderado	vetor consistência
DBO	0,04	0,06	0,05	0,11	0,11	0,04	0,02	0,02	0,02	0,05	0,48	9,19
SS	0,02	0,03	0,05	0,07	0,07	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,31	9,12
VL	0,27	0,24	0,37	0,20	0,20	0,46	0,36	0,32	0,35	0,31	3,20	10,42
NTK	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,17	9,31
Pt	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,17	9,31
CI	0,23	0,21	0,19	0,17	0,17	0,23	0,36	0,27	0,28	0,23	2,51	10,69
COM	0,19	0,18	0,12	0,15	0,15	0,08	0,12	0,21	0,21	0,16	1,68	10,68
Área	0,12	0,15	0,06	0,13	0,13	0,05	0,03	0,05	0,03	0,08	0,82	9,83
PC	0,12	0,12	0,07	0,13	0,13	0,06	0,04	0,11	0,07	0,09	0,95	10,16

Lambda	9,86	IC	0,11	QC	0,07
--------	------	----	------	----	------

*-corresponde ao vetor prioridade

DBO						
	1	2	3	4	5	6

1	1,00	4,00	1,00	0,33	3	0,25
2	0,25	1,00	0,17	0,14	0,5	0,11
3	1,00	6	1	0,5	4	0,2
4	3,00	7	2	1	7	0,5
5	0,33	2	0,25	0,14	1	0,14
6	4,00	9	5,00	2	7	1

1	0,10	0,14	0,11	0,08	0,13	0,11
2	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05
3	0,10	0,21	0,11	0,12	0,18	0,09
4	0,31	0,24	0,21	0,24	0,31	0,23
5	0,03	0,07	0,03	0,03	0,04	0,06
6	0,42	0,31	0,53	0,49	0,31	0,45

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,11	0,70	6,20
2	0,03	0,19	6,07
3	0,13	0,83	6,16
4	0,26	1,61	6,24
5	0,05	0,28	6,02
6	0,42	2,66	6,35

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

SS						
	1	2	3	4	5	6

1	5	1	1	7	1/3
1/5	1	1/5	1/5	3	1/7
1	5	1	1	7	1/3
1	5	1	1	7	1/3
1/7	1/3	1/7	1/7	1	1/9
3	7	3	3	9	1

0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
0,03	0,04	0,03	0,03	0,09	0,06
0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
0,16	0,21	0,16	0,16	0,21	0,15
0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05
0,47	0,30	0,47	0,47	0,26	0,44

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,17	1,08	6,25
2	0,05	0,29	6,03
3	0,17	1,08	6,25
4	0,17	1,08	6,25
5	0,03	0,16	6,06
6	0,40	2,54	6,29

Lambda	IC	QC
6,18	0,04	0,03

VL						
	1	2	3	4	5	6

1	1	7	1	4	8	1/2
2	1/7	1	1/7	1/5	2	1/8
3	1	7	1	4	8	1/2
4	1/4	5	1/4	1	4	1/5
5	1/8	1/2	1/8	1/4	1	1/9
6	2	8	2	5	9	1

1	0,22	0,25	0,22	0,28	0,25	0,21
2	0,03	0,04	0,03	0,01	0,06	0,05
3	0,22	0,25	0,22	0,28	0,25	0,21
4	0,06	0,18	0,06	0,07	0,13	0,08
5	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05
6	0,44	0,28	0,44	0,35	0,28	0,41

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,24	1,52	6,41
2	0,04	0,23	5,99
3	0,24	1,52	6,41
4	0,09	0,59	6,24
5	0,03	0,17	6,11
6	0,37	2,33	6,36

Lambda	IC	QC
6,25	0,05	0,05

NTK						
	1	2	3	4	5	6

1	1	7	1/3	1	2	1
2	1/7	1	1/9	1/7	1/5	1/7
3	3	9	1	5	5	3
4	1	7	1/5	1	2	1
5	1/2	5	1/5	1/2	1	1/2
6	1	7	1/3	1	2	1

0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15
0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
0,45	0,25	0,46	0,58	0,41	0,45
0,15	0,19	0,09	0,12	0,16	0,15
0,08	0,14	0,09	0,06	0,08	0,08
0,15	0,19	0,15	0,12	0,16	0,15

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,15	0,95	6,16
2	0,03	0,16	6,06
3	0,43	2,75	6,35
4	0,14	0,89	6,19
5	0,09	0,53	6,10
6	0,15	0,95	6,16

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Pt					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1/9	1	1/5	1/7
2	1	1	1/9	1	1/5	1/7
3	9	9	1	9	5	4
4	1	1	1/9	1	1/5	1/7
5	5	5	1/5	5	1	1/3
6	7	7	1/4	7	3	1

1	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
2	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
3	0,38	0,38	0,56	0,38	0,52	0,69
4	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02
5	0,21	0,21	0,11	0,21	0,10	0,06
6	0,29	0,29	0,14	0,29	0,31	0,17

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,04	0,24	6,08
2	0,04	0,24	6,08
3	0,48	3,28	6,79
4	0,04	0,24	6,08
5	0,15	0,91	6,09
6	0,25	1,64	6,54

Lambda	IC	QC
6,27	0,05	0,05

CI					
----	--	--	--	--	--

	1	2	3	4	5	6
1	1	1/5	7	6	1/3	7
5	5	1	9	7	3	9
1/7	1/7	1/9	1	1/3	1/7	1
1/6	1/6	1/7	3	1	1/5	2
3	3	1/3	7	5	1	8
1/7	1/7	1/9	1	1/2	1/8	1

1	0,11	0,11	0,25	0,30	0,07	0,25
5,3	0,53	0,53	0,32	0,35	0,62	0,32
0,02	0,02	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04
0,02	0,02	0,08	0,11	0,05	0,04	0,07
0,32	0,32	0,18	0,25	0,25	0,21	0,29
0,02	0,02	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,18	1,17	6,47
5,45	0,45	3,10	6,95
0,03	0,03	0,20	6,13
0,06	0,06	0,37	6,03
0,25	0,25	1,73	6,96
0,03	0,03	0,20	6,15

Lambda	IC	QC
6,45	0,09	0,08

COM						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/3	5	3	1/5	5
2	3	1	7	5	1/3	7
3	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1
4	1/3	1/5	3	1	1/7	3
5	5	3	9	7	1	9
6	1/5	1/7	1	1/3	1/9	1

1	0,10	0,07	0,19	0,18	0,11	0,19
2	0,31	0,21	0,27	0,30	0,18	0,27
3	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04
4	0,03	0,04	0,12	0,06	0,08	0,12
5	0,51	0,62	0,35	0,42	0,53	0,35
6	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,14	0,88	6,28
2	0,25	1,68	6,58
3	0,03	0,21	6,10
4	0,07	0,44	6,02
5	0,46	3,06	6,62
6	0,03	0,21	6,10

Lambda	IC	QC
6,28	0,06	0,05

Área						
	1	2	3	4	5	6

1	4	3	2	9	5
1/4	1	1/2	1/4	6	2
1/3	2	1	1/3	7	3
1/2	4	3	1	8	4
1/9	1/6	1/7	1/8	1	1/5
1/5	1/2	1/3	1/4	5	1

0,42	0,34	0,38	0,51	0,25	0,33
0,10	0,09	0,06	0,06	0,17	0,13
0,14	0,17	0,13	0,08	0,19	0,20
0,21	0,34	0,38	0,25	0,22	0,26
0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
0,08	0,04	0,04	0,06	0,14	0,07

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistência
1	0,37	2,38	6,43
2	0,10	0,64	6,22
3	0,15	0,97	6,36
4	0,28	1,82	6,56
5	0,03	0,15	6,13
6	0,07	0,44	6,11

Lambda	IC	QC
6,30	0,06	0,05

PC						
	1	2	3	4	5	6

1	1	1/4	2	1/6	1/6	3
2	4	1	5	1/3	1/3	6
3	1/2	1/5	1	1/7	1/7	2
4	6	3	7	1	1	9
5	6	3	7	1	1	9
6	1/3	1/6	1/2	1/9	1/9	1

1	0,06	0,03	0,09	0,06	0,06	0,10
2	0,22	0,13	0,22	0,12	0,12	0,20
3	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,07
4	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
5	0,34	0,39	0,31	0,36	0,36	0,30
6	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03

	Média	Vetor-soma Ponderado	Consistên cia
1	0,07	0,40	6,05
2	0,17	1,07	6,28
3	0,04	0,27	6,01
4	0,34	2,18	6,32
5	0,34	2,18	6,32
6	0,03	0,18	6,07

Lambda	IC	QC
6,17	0,03	0,03

Matriz de prioridade dos critérios nas alternativas no cenário 3								
DBO	SS	VL	NTK	Pt	CI	COM	Área	PC

0,113	0,174	0,237	0,155	0,039	0,181	0,140	0,370	0,066
0,031	0,048	0,038	0,026	0,039	0,446	0,255	0,102	0,170
0,135	0,174	0,237	0,433	0,483	0,032	0,034	0,152	0,045
0,258	0,174	0,094	0,144	0,039	0,061	0,074	0,278	0,345
0,046	0,027	0,028	0,087	0,150	0,248	0,463	0,025	0,345
0,418	0,405	0,367	0,155	0,250	0,033	0,034	0,073	0,029

Vetor de prioridade composta

- 1 0,190 UASB + lodos ativados
- 2 0,185 UASB + lagoa aerada aeróbia (mistura completa)
- 3 0,133 Lodos ativados Convencional + Remoção Biológica de N/P
- 4 0,133 UASB + Biodisco
- 5 0,182 Lagoa Anaerobia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação
- 6 0,178 Lodos Ativados Convencional + Filtração Terciária

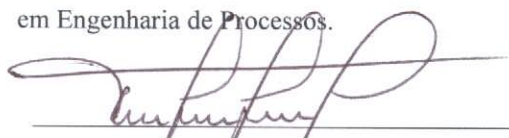
Termo de Aprovação

“Seleção de Processos de Tratamento de Esgoto Sanitário Utilizando Análise Multicritério”

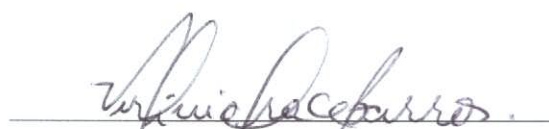
por

Rafael Antonio Zanin


Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira
Orientadora (UNIVILLE)

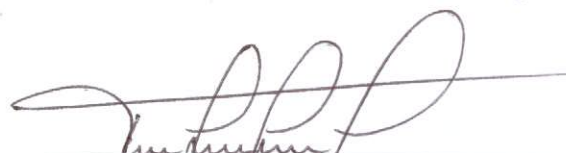


Prof. Dra. Virgínia Grace Barros
Co-Orientadora (UNIVILLE)

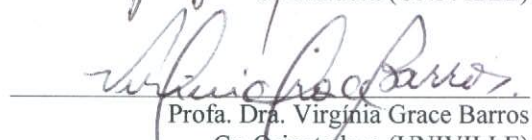


Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

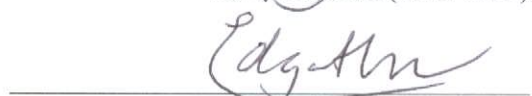
Banca Examinadora:



Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dra. Virgínia Grace Barros
Co-Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Edgar Augusto Lanzer
(SOCIESC)



Prof. Dra. Noeli Sellin
(UNIVILLE)

Joinville, 29 de julho de 2011.