

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DESPOLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
O CASO DA BAÍA DA GUANABARA

PEDRO DE CASTRO TEIXEIRA CARVALHO

JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DESPOLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
O CASO DA BAÍA DA GUANABARA

PEDRO DE CASTRO TEIXEIRA CARVALHO

JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UFJF

2013

PEDRO DE CASTRO TEIXEIRA CARVALHO

DESPOLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
O CASO DA BAÍA DA GUANABARA

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Área de Conhecimento: Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador: Marconi Fonseca de Moraes D.Sc.

Juiz de Fora  
Faculdade de Engenharia da UFJF

2013

DESPOLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS  
O CASO DA BAÍA DA GUANABARA

PEDRO DE CASTRO TEIXEIRA CARVALHO

Trabalho Final de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com o Artigo 9º do Capítulo IV das Normas de Trabalho Final de Curso estabelecidas pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_

Por:

---

Prof. Marconi Fonseca de Moraes (Orientador), D.Sc.

---

Prof. Otavio Eurico de Aquino Branco, D. Sc.

---

Profa. Ana Maria Stephan, D. Sc.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Márcio e Virgínia, que são os principais responsáveis por todas as minhas conquistas e não medem esforços para que estas se tornem possíveis.

Ao meu irmão Felipe, que muito me apoia e me ajudou em toda a caminhada da graduação.

Aos meus tios Ricardo e Márcia que me acolheram durante a graduação e contribuíram de forma significativa para formação acadêmica.

A todos os familiares que de alguma maneira me incentivaram e me deram forças.

A Thaís, pelo apoio e companheirismo, principalmente pelo incentivo e ajuda nesta reta final.

Ao meu orientador Prof. Marconi Fonseca de Moraes, pela ajuda, incentivo e sugestões durante este trabalho.

E a todos os professores e colegas de faculdade que foram responsáveis pelo grande aprendizado que é encontrado na universidade.

## RESUMO

No presente trabalho é apresentado um panorama geral em que se encontra a água no planeta e os problemas de escassez relacionados a ela, no qual é traçado um paralelo para que se mostre a importância da preservação de corpos d'água. A degradação e a poluição crescente dos corpos d'água no Brasil levaram à criação de uma legislação ambiental que estabelece níveis para os principais tipos de poluição. Além da criação de um Plano Nacional de Recursos Hídricos com o objetivo de fiscalizar cobrar e punir ações irregulares.

Para que os níveis de poluição dos corpos d'água já poluídos atingissem níveis aceitáveis ou se extinguisse, foi necessário o uso de sistemas eficientes de despoluição dos corpos d'água, nos quais, dependendo do grau de poluição, são necessários processos mais elaborados. A despoluição é feita, através de Estações de Tratamento de Esgoto, as ETE's, que tratam os efluentes e lançam os mesmos nos corpos d'água em níveis requeridos pela legislação.

Um estudo de caso é apresentado tomando como tema a Baía de Guanabara, que é um dos principais cartões postais da cidade do Rio de Janeiro, e do Brasil. A despoluição da mesma, desde a Eco-92, vem sendo tratada de forma muito séria, onde o Plano de Despoluição da Baía de Guanabara, PDBG, foi criado, com várias ações estudado para melhor atingir o objetivo de despoluir esse corpo d'água. Primeiramente é necessário se estudar os níveis de poluição no qual a Baía se encontrava e como se dava o lançamento de esgoto ao redor da mesma, sendo assim estas ações contemplam uma grande rede de esgotamento sanitário, e construção de ETE's que fazem diversos tipos de tratamento do esgoto.

É mostrado também como o investimento em programas de despoluição, a exemplo do Canal do Fundão, que era a área mais poluída de toda a Baía de Guanabara, traz soluções inovadoras e eficientes no campo de despoluição de corpos d'água.

Palavras Chave. Recursos hídricos, despoluição, Baía de Guanabara

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>08</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
	<b>3.1 A Água no Planeta Terra</b>	<b>11</b>
	<b>3.2 Problemas de Escassez</b>	<b>14</b>
	<b>3.3 Poluição de corpos d'água</b>	<b>17</b>
	3.3.1 Aspectos Gerais	17
	3.3.2 Processo de Poluição	18
	3.3.3 Legislação Ambiental	19
	3.3.4 Principais Poluentes dos Recursos Hídricos	22
	3.3.5 Tipos de Poluição dos Recursos Hídricos	25
	3.3.6 Alguns Parâmetros de Qualidade da Água	25
	3.3.6.1 Oxigênio Dissolvido	25
	3.3.6.2 Coliformes Termotolerantes	26
	3.3.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)	26
	3.3.6.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	27
	3.3.6.5 Nitrogênio	27
	3.3.6.6 Temperatura	28
	3.3.6.7 Sólidos Totais	29
	<b>3.4 Sistemas de Despoluição da Água</b>	<b>29</b>
	3.4.1 Padrões de Poluição de acordo com legislação ambiental	29
	3.4.1.1 Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Doce	29
	3.4.1.2 Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Salgada	29
	3.4.1.3 Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Salobra	30
	3.4.1.4 Padrões de Poluição comuns a todos os Corpos d'água	32
	3.4.2 A Resolução CONAMA N° 274/2000	32

3.4.3 Autodepuração de Corpos d'água	33
3.4.4 Principais Sistemas de Despoluição de Corpos d'água	37
<b>4 ESTUDO DE CASO: DESPOLUIÇÃO DA BÁIA DA GUANABARA</b>	<b>43</b>
4.1 Histórico e Contexto da Baía da Guanabara no Cenário Nacional	43
4.2 Características Físicas e Políticas da Baía da Guanabara	43
4.3 Importância da Baía da Guanabara	45
4.4 Poluição da Baía da Guanabara	47
4.5 Principais poluentes da Baía da Guanabara	48
4.6 Distribuição da Poluição ao Redor da Baía da Guanabara	49
4.7 Legislação Ambiental que enquadra a Baía da Guanabara	53
4.8 Plano de Despoluição da Baía da Guanabara (PDBG)	53
4.9 Sistemas de Despoluição usados no PDBG	54
4.10 Despoluição do Canal do Fundão	57
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>62</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	<b>63</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso da água sempre esteve ligado à sobrevivência do ser humano, e se faz indispensável para o desenvolvimento das mais diversas atividades. O início do século XX, é marcado pela revolução industrial e foi responsável por um aumento significativo da população em cidades, esse processo de urbanização, provocou um aumento no uso da água para fins sanitários e industriais. O aumento da população mundial levou a um aumento no uso de água para agricultura e criação de animais.

A Tabela 1 mostra como se deu o crescimento da demanda de água nos desde o século I a.C., até o século XX.

Tabela 1 - Estimativas da evolução do consumo humano diário *per capita* de água.

<b>Período</b>	<b>Consumo L/(dia.pessoa)</b>
Século I a.C.	12
Romano	20
Século XIX (cidades pequenas)	40
Século XIX (cidades grandes)	60
Século XX	800

Fonte: NASCIMENTO (2004)

A água pode ser considerada um recurso que limita o desenvolvimento sustentável. Sua utilização em quantidades superiores ao volume disponível, vem gerando sérios problemas de escassez da água de boa qualidade. E a falta de um sistema de saneamento básico adequado, pode comprometer os recursos hídricos, devido ao descarte irregular de esgoto industrial e doméstico.

Segundo CONSTANZI (2007), fatores agravantes como a escassez da água existente em alguns locais e o aumento da demanda de água por parte de alguns setores da economia, levaram à situação preocupante de degradação dos recursos hídricos observada no final do século XX. Tal situação despertou em todo mundo, ações de combate, onde no Brasil, legislações ambientais, como as leis Nº 6.938/1981 e Nº 9433/1997 que cria uma Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecendo normas para utilização destes recursos.

Para isso, órgãos reguladores como a Agência Nacional de Águas (ANA) que é vinculado ao Ministério do Meio ambiente, foram criados, com o objetivo de regular uso dos

corpos d'água da União, e assegurar a qualidade requerida para os referentes corpos d'água, de acordo com a legislação vigente como é o caso da Resolução CONAMA Nº 357/2005 que classifica as águas e estabelece padrões de qualidade para cada classe de enquadramento.

Processos de despoluição de corpos d'água se tornam então essenciais para que as políticas públicas adotadas com relação aos recursos hídricos possam ter sucesso.

Além dos processos naturais de autodepuração dos corpos d'água, tem-se as ETE's, Estações de Tratamento de Esgoto, que captam as águas vindas do sistema de esgotamento sanitário proveniente das cidades ou de indústrias e deixam a água que se encontra em alto grau de degradação, em condições mais aceitáveis. Dependendo de seu propósito, cada uma delas tem um nível de tratamento, as etapas de tratamento de esgoto são: preliminar, primário, secundário ou terciário, dependendo do padrão esperado para a água ao final do processo, que deve ser lançada no recurso hídrico em questão, evitando que as características deste se torne inalterada ou sofra o menor impacto possível.

O nível de poluição aumenta de maneira diretamente proporcional com o tamanho da cidade, tem-se como exemplo o Rio Tietê em São Paulo, que se encontra em elevados níveis de poluição.

No Rio de Janeiro, temos a Baía da Guanabara que também apresenta níveis muito altos de poluição, proveniente de esgotamento doméstico de um elevado contingente populacional e de grande quantidade de indústrias localizadas em seu entorno.

Devido o impacto que a Baía da Guanabara tem sobre os principais cartões postais da cidade do Rio de Janeiro e do Brasil, e o vulto de grandes eventos internacionais que ocorrerão na cidade nos próximos anos tem-se sobre a opinião pública nacional e internacional.

Em tempos onde a preocupação com o meio ambiente e com um desenvolvimento sustentável ganha força no cenário mundial, fez com que grandes investimentos na sua despoluição fossem feitos nos últimos anos, onde a criação de plano de despoluição para tal local foi elaborado a partir de estudos detalhados sobre os níveis de poluição encontrados.

Novas tecnologias são empregadas com o objetivo de despoluir tal recurso hídrico que tem impacto direto na vida de muitas pessoas e que é portão de entrada para visitantes de todo o mundo que chegam no país.

## **2 OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo, mostrar sistemas de despoluição de recursos hídricos, e como o uso de tais processos chegam a resultados satisfatórios. Sendo assim, se torna necessário enfatizar a importância da água e o panorama geral em que se encontram os Recursos Hídricos do planeta, o histórico de seu uso, a quantidade disponível de tal recurso e seu atendimento para os mais variados usos.

A distribuição desigual de tal recurso ao redor do planeta, nos leva ao entendimento de que, uma vez que todo ser humano necessita das mesmas quantidades de água para sobrevivência, seu consumo tem levado algumas áreas do planeta à escassez de tal recurso. O que reforça a idéia de que é necessário um cuidado especial com os corpos d'água e que sistemas de despoluição de água são de extrema importância para que este recurso não se esgote.

Além do objetivo de mostrar os problemas relacionados a água, mostra-se a importância da criação de legislações ambientais, para que os sistemas de despoluição possam realmente ser empregados para a melhoria da qualidade das águas degradadas.

Em estudo de caso, tem-se o objetivo de mostrar como a criação de um programa de despoluição pode fazer com que corpos d'água com níveis altíssimos de poluição, podem ter a realidade revertida para melhores padrões como é o caso da Baía da Guanabara.

Situada no Estado do Rio de Janeiro, após um conjunto de ações, pensadas a partir da Eco-92 e financiadas por bancos e fundos internacionais, culminaram na criação do Plano de Despoluição da Baía de Guanabara o PDBG, a partir do estudo de seus níveis de poluição, elabora mecanismos para reverter o quadro apresentado.

Ao final é apresentado o sistema de despoluição utilizado no Canal do Fundão que era o local mais degradado de toda a Baía de Guanabara, onde é apresentado o uso de novas tecnologias em despoluição de corpos d'água, como o uso de tubos geotêxteis.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 A Água no Planeta Terra**

A água é um elemento fundamental para a sobrevivência de todas as espécies do planeta Terra. No organismo do ser humano, de acordo com BRANCO (2013), a água representa cerca de 70% de sua massa corporal, e representa papel fundamental em todos os âmbitos e necessidades para a vida.

A história do homem está intimamente ligada com tal recurso, que se mostrou essencial no seu desenvolvimento ao longo dos séculos, onde temos, desde os povos primitivos, passando pela história de civilizações antigas como os egípcios que dominavam sofisticadas técnicas de irrigação do solo na agricultura além de outras técnicas de armazenamento, uma vez que dependiam das enchentes do rio.

Os romanos também se destacaram na construção de complexas redes de aquedutos, destinados ao transporte da água para as cidades abastecendo os banhos públicos e fontes artificiais.

Na Idade Média, não tivemos grandes avanços em relação a civilizações passadas. A situação se agravou com o início do desenvolvimento industrial, em meados do século XVIII, quando as fábricas de tecidos levaram os artesãos em massa para os grandes centros urbanos.

Áreas industriais cresciam rapidamente e serviços como suprimento de água e limpeza de ruas, não acompanhavam essa expansão. Em consequência, o período foi marcado por graves epidemias transmitidas pela água contaminada, que fizeram milhares de vítimas. Como pioneira a Inglaterra e em seguida outros países europeus, realizaram uma grande reforma sanitária, instalando descargas líquidas, semelhantes às utilizadas atualmente, transportando os detritos para as canalizações de águas pluviais.

Segundo SILVA (2013) o Brasil foi um dos primeiros países do mundo a implantar redes de coleta para escoamento das águas das chuvas. Tal sistema foi instalado no Rio de Janeiro e atendia uma área nobre da cidade.

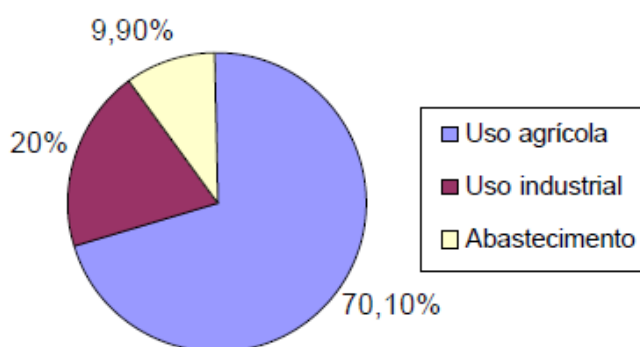
Sendo assim podemos ver a íntima relação do homem com a água, e como tal foi essencial para seu desenvolvimento, ao longo dos séculos, desempenhando papel fundamental na sobrevivência da espécie.

A importância da água pode ser destacada, uma vez que os alimentos que ingerimos dependem da água para sua produção. Além disso o saneamento básico é importante para os mais diversos usos como higiene pessoal, lavar roupas e limpeza de casa. É usada também na produção de energia elétrica, limpeza de cidades, na construção civil em geral, combate a

incêndio entre tantas outras. As indústrias, por exemplo, utilizam grandes quantidades de água, seja como matéria prima, como nas indústrias de bebidas e comidas, na remoção de impurezas, na refrigeração de equipamentos e até na geração de vapor.

SILVA (2004) nos mostra que 70,10% do consumo de água é destinado à agricultura, 20% é destinado a indústria e 9,90% para o uso doméstico, conforme Figura 1.

Figura 1.: Distribuição do consumo de água



Fonte: SILVA (2004)

A água, na natureza, se encontra em um ciclo contínuo, que é denominado de ciclo da água ou ciclo hidrológico. Por ação dos raios solares a água, encontrada na forma líquida, em oceanos, rios, lagos, solos, plantas e animais, evapora e o vapor formado forma as nuvens que ao condensarem e precipitarem em forma de chuva, neve ou granizo, com parte infiltrando no solo e alimentando aquíferos, reservatórios de água subterrânea, e outra parte escorre para os rios, lagos de água doce e até mesmo para os oceanos. E ao evaporar novamente da continuação ao ciclo, sendo assim não perdemos água e o volume total de água na Terra não aumenta e nem diminui.

A Tabela 1, mostra como se dá a divisão de toda a água encontrada no planeta, a porcentagem quando relacionada ao total e a porcentagem que se refere à água doce. A proporção referente a 2,5% de água doce e 97,50% de água salgada, do volume total de água do planeta, pode ser verificada na Figura 2. SILVA (2004) afirma que a maior parte da água doce referente aos 68,70% encontrado em geleiras, se localiza na Antártida, outros 30,10% podem ser encontrados em águas subterrâneas, nos chamados aquíferos, as menores parcelas da água doce encontrada no planeta que corresponde a apenas 1,20% de toda a água doce, pode ser subdividida em umidade do solo com 0,05% da porcentagem total do volume de

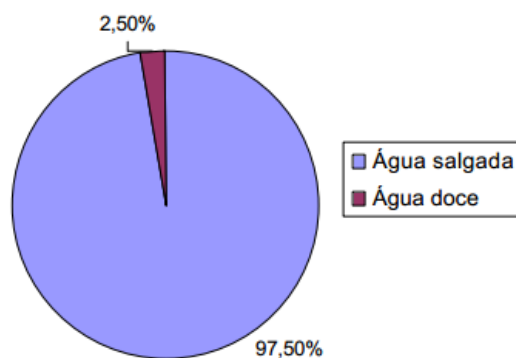
água doce, os lagos de água doce que somam 0,26%, os pântanos com 0,0328% e os rios com apenas 0,0061% de toda água doce encontrada no planeta que corresponde a um volume de 2100 Km<sup>3</sup>, não podemos nos esquecer da biomassa que é a água doce encontrada nos seres vivos, e o vapor d'água na atmosfera que somam 0,04% da água doce, a distribuição do volume de água doce no Planeta Terra pode ser verificado na Figura 3.

Tabela 1: Divisão da água no Planeta Terra

Reservatório	Volume (10 <sup>3</sup> Km <sup>3</sup> )	% do Volume total	% do Volume de água doce
<b>Oceanos</b>	<b>1338000,0</b>	<b>96,5379</b>	-
<b>Subsolo:</b>	23400,0	1,6883	-
Água doce	10530,0	0,7597	30,0607
Água salgada	12870,0	0,9286	-
<b>Umidade do solo</b>	<b>16,5</b>	<b>0,0012</b>	<b>0,0471</b>
<b>Áreas congeladas:</b>	<b>24064,0</b>	<b>1,7362</b>	<b>68,6971</b>
Antártida	21600,0	1,5585	61,6629
Groenlândia	2340,0	0,1688	6,6802
Ártico	83,5	0,0060	0,2384
Montanhas	40,6	0,0029	0,1159
<b>Solos congelados</b>	<b>300,0</b>	<b>0,0216</b>	<b>0,8564</b>
<b>Lagos:</b>	<b>176,4</b>	<b>0,0127</b>	-
Água doce	91,0	0,0066	0,2598
Água salgada	85,4	0,0062	-
<b>Pântanos</b>	<b>11,5</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0328</b>
<b>Rios</b>	<b>2,1</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0061</b>
<b>Biomassa</b>	<b>1,1</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0032</b>
<b>Vapor d'água na atmosfera</b>	<b>12,9</b>	<b>0,0009</b>	<b>0,0368</b>
<b>Armazenamento total de água salgada</b>	<b>1350955,4</b>	<b>97,4726</b>	-
<b>Armazenamento total de água doce</b>	<b>35029,1</b>	<b>2,5274</b>	<b>100,0</b>
<b>Armazenamento total de água</b>	<b>1385984,5</b>	<b>100</b>	-

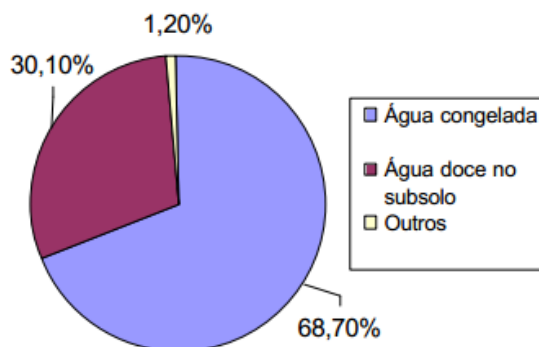
Fonte: SILVA (2004)

Figura 2.: Total de água na Terra



Fonte: SILVA (2004)

Figura 3.: Distribuição de água doce na Terra



Fonte: SILVA (2004)

Mesmo sendo representada por apenas 2,50% da água encontrada no planeta, a água doce não está distribuída uniformemente pelo globo. A distribuição de tal, depende, entre vários outros fatores, dos mais variados ecossistemas encontrados ao redor do planeta, de tal forma, temos países onde a água doce superficial é encontrada de forma abundante, por florestas tropicais serem encontradas em tal território. Da mesma forma, temos países que são constituídos por desertos em sua totalidade, onde a água doce não é encontrada com facilidade e muito menos em grandes quantidades.

Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial.

### 3.2 - Problemas de Escassez

Podemos definir a escassez física da água, como a quantidade insuficiente de recursos para satisfazer a procura, sendo assim este problema de escassez deve ser analisado pontualmente e não de forma generalizada, não é uma das características inerentes à questão da segurança da água em alguns países. As situações de escassez absoluta são raramente encontradas no mundo. A maioria dos países dispõe de água suficiente para satisfazer as necessidades domésticas, industriais, agrícolas e ambientais.

O problema de escassez pode ser analisado em vista da gestão ineficiente dos recursos hídricos. A água já foi encarada como um recurso inesgotável, que poderia ser desperdiçado, escoado ou poluído em nome da produção de riqueza.

Dentro do ciclo hidrológico do planeta Terra, anteriormente explicitado, segundo o Relatório do Desenvolvimento Humano de 2006, é precipitado sobre o solo aproximadamente 44.000 Km<sup>3</sup> de água, e quando fazemos a divisão sobre a população mundial chegamos a um equivalente de 6.900 m<sup>3</sup> por cada habitante do planeta.

Grande parte desta água, não pode ser utilizada pelo homem, uma vez que pode corresponder às cheias incontroláveis que decorrente das precipitações caudalosas em determinados locais do globo terrestre, que podem causar grandes enchentes, pode corresponder também a água localizada em locais inacessíveis ao homem, ou seja, em locais onde, para abastecer cidades ou utilizada em outras atividades essenciais, tenham que transpor grandes distâncias por exemplo.

Mesmo com estes intervenientes, O Relatório do Desenvolvimento Humano de 2006 mostra que o mundo dispõe de mais que 1.700 m<sup>3</sup> de água por pessoa por ano, VICTORINO (2007) afirma que, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o convencionado como a quantidade mínima necessária para garantir a alimentação, manter as indústrias em funcionamento, garantir o uso doméstico e conservar o meio ambiente, é o número de 1.000 m<sup>3</sup> de água por pessoa por ano.

Para ter uma visão geral da desigualdade na distribuição de água ao redor do planeta o Relatório do Desenvolvimento Humano de 2006, exemplifica com o Lago Baikal na Sibéria onde cerca de um quarto das provisões mundiais de água doce são encontradas, região escassamente povoada por apresentar baixíssimas médias de temperaturas.

O Programa Hidrológico Internacional da Unesco mostra que a América Latina dispõe de 31% dos recursos universais de água doce, e esta possui 12 vezes mais água por habitante do que, por exemplo, a Ásia do Sul. Tomando como exemplo, o Brasil e o Canadá que tem à disposição mais água do que conseguem consumir, países do Oriente Médio, ao contrário, possuem muito menos do que necessitam.

A água, não é passível de transporte em grandes quantidades e a grandes distâncias, a atenuação dos desequilíbrios entre as regiões onde se tem abundância dos recursos para regiões onde se tem falta do recurso, é reduzido. A disposição de reservas locais e a garantia do acesso a água para a população se deve a construção de infra-estrutura para abastecimento de água. Tal política deve ser empregada ao interior dos próprios países. Podemos exemplificar com o Norte da China onde é encontrada menos de um quarto das disponibilidades de água per capita existentes no Sul.



Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Unesco, o Brasil é um dos países com as maiores reservas de água no mundo. No entanto, milhões de pessoas que habitam a região nordeste do país se deparam com escassez de água em determinadas épocas do ano devido à perenidade dos rios que abastecem a região.

A disparidade e diversidade do clima e do tempo ao redor do planeta interferem de maneira significativa na disponibilidade da água. Em países que sofrem com o fenômeno das monções ou de estações de chuvas curtas, médias nacionais acerca das medidas pluviométricas anuais nos transmitem uma visão distorcida das disponibilidades reais existentes naquela localidade, onde, por exemplo, grande parte da Ásia recebe quase 90% da sua precipitação anual, em menos de 100 horas, o que origina riscos de escassez, cheias intensivas durante alguns períodos do ano e uma seca prolongada no resto do tempo. As disponibilidades reais ao longo de todo o ano não dependem apenas da precipitação, mas também da capacidade de armazenamento e do ritmo a que os caudais dos rios e as águas subterrâneas vão sendo repostos.

VICTORINO (2007) Afirma ainda que uma disponibilidade inferior a 1.000 m<sup>3</sup> por pessoa por ano representa uma situação de escassez de água, e abaixo dos 500 metros cúbicos equivale a escassez absoluta.

Segundo o Relatório do Desenvolvimento Humano de 2006. *“cerca de 700 milhões de pessoas oriundas de 43 países vivem abaixo do limiar mínimo que define a situação de falta de água. Dispondo de uma reserva anual média de, aproximadamente, 1.200 metros cúbicos por pessoa, o Oriente Médio é a região do mundo mais atingida pela pressão da falta de água; somente o Irã, o Iraque, o Líbano e a Turquia se encontram acima do limiar mínimo. Os Palestinos, sobretudo em Gaza, experimentam algumas das crises mais agudas de escassez de água do mundo inteiro”*.

À medida que o padrão de consumo no mundo vai tomando padrões mais elevados, assim como o número de pessoas que saem da miséria ou que se ascendem socialmente vai aumentando, os padrões de consumo de água também acompanham esta tendência, o que torna cada vez maior a necessidade do acesso à água. Como exemplo, temos que, em 1900, a atividade industrial utilizava em média 6% das reservas de água mundiais e hoje este número é quatro vezes maior, chegando então a aproximadamente 20% das reservas mundiais de água doce. Durante o mesmo período de tempo, a porcentagem de água consumida pelos municípios triplicou, atingindo os 9%.

O Relatório do Desenvolvimento Humano de 2006 afirma que o ser humano necessita de um consumo mínimo diário de 20 a 50 litros por dia. Em contrapartida são necessários 3.500 litros de água para produzir alimentos que garantam um mínimo diário de 3.000 calorias. Sendo assim chegamos a um valor de 70 vezes mais água para produzir comida do que para satisfazer as necessidades domésticas de cada família. Para a produção de um único quilo de arroz necessita-se de 2.000 a 5.000 litros de água. Mas alguns alimentos necessitam de mais água para sua produção do que outros, temos como exemplo a produção do açúcar que, para a produção de uma tonelada de açúcar, se consome oito vezes mais água do que a produção de uma tonelada de trigo.

### **3.3 - Poluição de corpos d'água**

#### **3.3.1 – Aspectos Gerais**

Tendo em vista os problemas referentes a escassez de água em diversas partes do mundo, a poluição de corpos hídricos superficiais vem sendo um problema amplamente discutido. A poluição é decorrente de diversos processos que afetam de maneira negativa o meio ambiente e prejudicam a manutenção das condições básicas de qualidade d'água para os mais diversos destinos.

Segundo LEITE (2004), os tipos de poluição mais comuns são o lançamento de esgotos domésticos e industriais, tal poluição pode ser causada tanto por detritos do solo que são incorporados a água durante escoamento superficial, quanto por infiltrações naturais de mananciais subjacentes a solos contaminados. A água poluída pode causar inúmeros efeitos negativos a população dependente de tal bem, principalmente aqueles relacionados à saúde, causados tanto pelo contato direto com a água contaminada, ou indiretamente quando a água serve para irrigação de alimentos consumidos pela população.

LEITE (2004) nos mostra ainda que a produção de dejetos é uma condição inerente à existência humana. Para a vida em sociedade seu destino correto é essencial, portanto tal fato não é sempre observado, e quanto maior for a concentração demográfica, maiores são os problemas enfrentados. Com o aumento da industrialização e para que este problema seja resolvido é necessário um planejamento urbano eficiente e grandes obras de infra-estrutura, desde a coleta adequada do esgoto, o transporte e a destinação adequada com para o tratamento de efluentes.

Mesmo as cidades dotadas de maior infra-estrutura de saneamento podem apresentar problemas relacionados ao abastecimento de água. Devido a degradação dos mananciais de

onde é feita a captação da água. Assim, muitas vezes chegam a não atender mais requisitos mínimos para o tratamento da água e posterior destino, que é o abastecimento para o consumo humano por exemplo. Podemos citar a cidade de São Paulo que já sofre com o racionamento de água e a cidade do Rio de Janeiro que já apresenta problemas semelhantes em locais que eram considerados distantes de tal problema.

ARAÚJO (1997) afirma que a poluição das águas pode ser caracterizada por meio de três ordens de fatos diferentes. A principal fonte de poluição pode ser atrelada a elevação da urbanização aliado à falta de saneamento básico. Depois podemos colocar o desenvolvimento da indústria e seus despejos de poluentes das mais variadas composições químicas. E por último temos a poluição relacionada a produção agrícola, que resulta no transporte de pesticidas e fertilizantes através da água. Ambas afetam não somente rios, riachos, lagos e praias, mas também nas fontes naturais subterrâneas.

### **3.3.2 – Processo de Poluição**

A poluição hídrica por meio de esgotos domésticos é a que representa maior volume e carga de origem orgânica, define-se tal como um dos maiores poluentes de corpos d'água. Em países desenvolvidos, tal problema já se mostra controlado, mas ainda é contabilizado como um dos principais impactos de qualidade ambiental no Brasil, que conta com uma precária infra-estrutura de coleta e tratamento de esgotos domésticos.

Segundo LEITE (2004), para o processo de estabilização da matéria orgânica presente no esgoto doméstico que é lançado em um corpo hídrico receptor, ocorre o consumo de oxigênio dissolvido no meio, devido à ação do metabolismo dos microrganismos decompositores encontrados no local. O consumo de todo o oxigênio do meio leva à extinção de toda a vida aquática.

Na falta de oxigênio, a matéria orgânica presente no corpo d'água é degradada através de processo anaeróbico, processo pelo qual os seres decompositores usam outros elementos diferentes do oxigênio para obtenção de energia para seu metabolismo. Processo que necessita de maior período de tempo para os microrganismos completarem a estabilização da matéria orgânica, além de tal processo gerar gases que causam odores desagradáveis. Poucos seres vivos conseguem viver em um corpo hídrico que se encontra em estado anaeróbio, o que faz tal ambiente ser considerado um ambiente morto.

LEITE (2004) disserta sobre como a estabilização da matéria orgânica no curso d'água acontece por meio de processos aeróbicos, e que os processos anaeróbicos são tolerados

apenas em locais próximos a descartes de efluentes e na região próxima aos sedimentos de fundo. Os processos anaeróbios são bastante utilizados no tratamento de esgotos domésticos, uma vez que tal processo dispense muito menos energia em estações de tratamento de esgoto.

Ainda dissertando sobre como a ausência de oxigênio em um corpo hídrico pode levar a conclusões erradas quanto a composição do poluente causador do dano, LEITE (2004) nos mostra como foi o caso do desastre provocado pela indústria Cataguazes de Papel, que afetou o rio Paraíba do Sul em março de 2003. Ao causar grande mortandade de peixes, foi amplamente propalado que a lixivia proveniente da barragem rompida, continha componentes tóxicos. Pela possibilidade de a substância ter provocado efeitos diretos na biota fluvial, mas, de fato, o efeito foi indireto. Por mais estranho que seja, os peixes morreram afogados, o que também se observa com alguma frequência na lagoa Rodrigo de Freitas situada na cidade do Rio de Janeiro.

A lignina, principal componente do líquido vazado, embora seja encontrada na natureza sofre uma biodegradação muito mais lenta do que os esgotos domésticos. O grande volume derramado superou a capacidade de assimilação do rio, consumindo todo o oxigênio necessário para a manutenção da vida de organismos superiores. Esta velocidade de transformação dos compostos tem grande importância na avaliação da capacidade de um rio se regenerar.

### **3.3.3 - Legislação Ambiental**

Graves casos de poluição de corpos d'água, além do citado anteriormente, em todo mundo, estimularam a criação de programas de revitalização e despoluição de corpos hídricos de grande importância. Os impactos ambientais relativos a este tipo de poluição, mostraram a necessidade de se criar normas e instrumentos de controle e incentivos para evitar o problema na sua origem.

Com este propósito, surgiram leis estaduais para o controle e manutenção da qualidade ambiental, culminando com a publicação de uma norma federal: a Resolução número 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA 20), de 18 de junho de 1986, estabelecendo limites de concentração de alguns parâmetros físicos e químicos para o lançamento de cargas poluidoras em corpos hídricos e para a classificação dos corpos hídricos de acordo com os seus usos preponderantes. Tal resolução contemplava os estados que necessitavam de normas neste sentido, e servia de base para os padrões dos Órgãos Estaduais

de Meio Ambiente, já existentes ou a serem criados, que não podem ser menos restritivos do que aqueles presentes na resolução.

Para que se pudesse estipular tais níveis de qualidade, foram considerados, entre outros aspectos, a saúde e o bem estar do ser humano, aliados ao equilíbrio ecológico em corpos d'água para a compatibilização de seus diversos usos. A estipulação de padrões de qualidade ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), regida pela Lei Federal Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

Tendo em vista também a criação da lei Nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997 através da Política Nacional de Recursos Hídricos, baseada em alguns fatores fundamentais, define a água como bem de domínio público, além de ser um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, cria normas, como uso prioritário das águas para o consumo humano e dessedentação de animais em situações de escassez.

Tal lei estabelece normas referente a gestão dos recursos hídricos que deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, uma vez que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

### **A Resolução CONAMA Nº 357/2005**

A Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005 revoga a Resolução CONAMA Nº 20/86 e dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.

Segundo artigo 2º da referida resolução separa as águas em águas doces, como águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰, as águas salobras como águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰, e as águas salinas como águas com salinidade igual ou superior a 30‰.

Nos artigos 4º, 5º e 6º são definidas classes de acordo com o destino ao qual aquele tipo de água será submetido, sendo assim, tal enquadramento procura preservar a qualidade das águas a fim de assegurar os seus usos.

Para enquadramento do corpo d'água em uma das classes listadas, o mesmo deverá apresentar um nível de qualidade compatível com as condições exigidas para aquela classe, sendo assim temos o seguinte enquadramento encontrado na resolução supracitada.

Temos as águas doces classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aqüicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística

As águas salinas são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA N° 274, de 2000;

b) à proteção das comunidades aquáticas; e

c) à aquicultura e à atividade de pesca.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) à pesca amadora; e

b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Temos as águas salobras classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e,

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA N° 274, de 2000;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à aquicultura e à atividade de pesca;

d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado;

e) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) à pesca amadora; e

b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

### **3.3.4 - Principais Poluentes de Corpos d'água**

Dois grupos de fontes poluidoras das águas são os despejos urbanos provenientes de: esgotos domésticos, resíduos líquidos industriais e águas pluviais provenientes da lavagem

das áreas urbanas. Os despejos rurais são: resíduos líquidos da agroindústria lançados diretamente nos cursos d'água e os resíduos das atividades agropastoris normalmente carreados pelas águas de chuva.

Uma grande fonte poluidora é a decorrente da atividade industrial, e os resíduos líquidos lançados em corpos d'água, tanto na área urbana quanto na área rural são destacados principalmente: Celulose e Papel; Usinas de Açúcar e Álcool; Prensados de Madeira; Matadouros e Frigoríficos; Refinarias de Petróleo; Químicas e Têxteis; Curtumes; e, Galvanoplastia.

Podemos assim, por meio da Tabela 2, citada por ARAUJO (1997), ver os principais poluentes hídricos em destaque, associando-os às suas origens (fontes poluidoras), efeitos, indicadores e métodos de análise.

Tabela 2- Principais poluentes das águas

<b>Poluente</b>	<b>Origem</b>	<b>Efeito</b>	<b>Indicador de poluição</b>	<b>Método de análise</b>
• Matéria orgânica	• Esgotos domésticos e alguns efluentes industriais (alimentos, papel, têxtil).	• Reduz drasticamente o nível de oxigênio dissolvido. Por longos períodos, causa mudanças na flora e fauna aquáticas. Podem ser tóxicas.	• DBO <sub>5</sub> - Demanda Bioquímica de Oxigênio e DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg O <sub>2</sub> /l)	• Teste da DBO <sub>5</sub> , OD, e DQO.
• Óleos	• Vazamento em tanques de estocagem, acidentes, efluentes de postos, oficinas.	• Impede a absorção de oxigênio, o nível deste cai, inibindo a vida aquática. É tóxico para animais e plantas.	• Óleos e Graxas (mg/l)	• Técnica do infravermelho.
• Sólidos (em suspensão e sedimentáveis)	• Esgotos domésticos e alguns efluentes industriais (argilas, carvão, porcelana.).	• Aumento da turbidez, diminui a penetração de luz e a taxa fotossintética. Partículas finas sufocam as águas, modificando o ecossistema. Causam assoreamento.	• SS – Sólidos em suspensão, RS – resíduo sedimentável (ml/l), turbidez (UNT).	• Método turbidimétrico, gravimétrico (SS) e método do cone Imhoff (RS).

Fonte: ARAUJO (1997)



Tabela 2- Principais poluentes das águas (continuação)

• Temperatura	• Água de resfriamento industrial.	• Elevação da temperatura da água, reduzindo o nível de OD, ao mesmo tempo em que aumenta a atividade química e biológica.	• T - Temperatura (°C).	• Termômetro de mercúrio.
• Nitratos	• Uso de fertilizantes, efluentes de ETE, percolação em lixões.	• Causa crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas daninhas, contribui para a eutrofização das águas. Tóxico para o homem.	• NO <sub>3</sub> - Nitratos (mg N/l).	• Método espectrofotométrico.
• Fosfatos	• Uso de fertilizantes e detergentes fosfatados. Indústria de alimentos.	• Eutrofização das águas.	• PO <sub>4</sub> - Fosfatos (mg P/l).	• Método espectrofotométrico.
• Bactérias	• Esgoto doméstico e hospitalar. Despejos de indústrias alimentícias.	• Poluição fecal. Bactérias patogênicas encontrados nos esgotos podem causar doenças no homem e nos animais.	• IC - Índice de Coliformes (número de coli / 100 ml).	• Método NMP, CPP e membrana filtrante.
• Ácidos e álcalis	• Despejos industriais, chuva ácida, escoamento em solos ácidos ou alcalinos.	• Tóxico para a vida aquática. Interfere na atividade química e biológica.	• pH - Potencial hidrogeniônico.	• Métodos colorimétrico e potenciométrico.
• Metais	• Agrotóxicos, despejos industriais, percolações em lixões, chumbo das canalizações.	• Tóxicos ao homem. Acumulam-se nos ossos (chumbo), no sistema nervoso (mercúrio), atacam a medula óssea (cádmio). Biomagnificação. Reduzem a capacidade de autodepuração das águas.	• Metais (mg/l).	• Espectrofotômetro de absorção atômica.

Fonte: ARAUJO (1997)

### **3.3.5 – Tipos de Poluição dos Recursos Hídricos**

A poluição da água pode ser classificada de acordo com o efeito do despejo nos corpos receptores, onde tal pode ser classificada em:

- 1) Poluição bacteriana, onde temos o contato direto com dejetos humanos, portadores de organismos patogênicos, seja por via direta ou mesmo por contato com esgotos sanitários.
- 2) Poluição orgânica, já citada acima, onde temos o recebimento de grande quantidade de matéria orgânica, proveniente, tanto por esgotos domésticos quanto por esgotos industriais.
- 3) Poluição química, que é a presença de substâncias químicas em teores prejudiciais, devido processos industriais, ou uso de pesticidas e fertilizantes na agroindústria.
- 4) Poluição térmica, que é caracterizada pela elevação da temperatura da água, ao receber despejos com temperatura elevada, proveniente de destilarias ou usinas atômicas por exemplo. E a poluição radioativa, devido o recebimento de descargas ricas em radioisótopos, provenientes de acidentes em usinas nucleares (água de resfriamento de reatores).

### **3.3.6 - Alguns Parâmetros de Qualidade da Água**

Para se definir cada um dos tipos de poluição da água corretamente devemos nos ater a parâmetros de qualidade da água, que são grandezas que indicam as características da água, esgotos ou corpos d'água. Os parâmetros são de natureza física, química e biológica e sua análise é de grande importância para o atendimento às exigências legais para o lançamento de efluentes em corpos d'água e no tratamento de tais.

#### **3.3.6.1 - Oxigênio Dissolvido**

O oxigênio dissolvido (OD) é de importância fundamental para organismos aeróbios, pois durante a estabilização da matéria orgânica é utilizado pelas bactérias decompositoras, o que causa a sua redução no meio. Sua forma é em gás dissolvido por meio da dissolução do oxigênio atmosférico, pela produção pelos organismos fotossintéticos ou por meio da introdução de aeração artificial. É vital para os seres aquáticos aeróbios e é o principal parâmetro de caracterização dos efluentes da poluição das águas por despejos orgânicos.

Tal parâmetro é utilizado no controle operacional de estações de tratamento de esgoto e na caracterização de corpos d'água. Por RIBEIRO (2010) podemos ver que é medido em

mg/l e a solubilidade do OD é dependente da altitude e da temperatura, sendo que ao nível do mar e a uma temperatura de 20°C, a concentração de saturação é igual a 9,2mg/l, em níveis superiores é indicativa a presença de algas que fazem a fotossíntese e em níveis muito inferiores é indicativo de presença de matéria orgânica como esgotos, por exemplo. Com OD de 4 a 5mg/l os peixes mais exigentes morrem, e um OD igual a 2mg/l todos os peixes estão mortos, e no nível de 0mg/l temos a condição de anaerobiose.

### **3.3.6.2 – Coliformes Termotolerantes**

A utilização da quantidade de coliformes tolerantes como um parâmetro para a qualidade e nível de poluição da água também é de grande importância para sua caracterização.

Segundo SPERLING (2005), a detecção de agentes patogênicos em uma amostra de água é difícil, sendo assim seriam necessários exames em grandes volumes de amostra para a detecção de apenas um ser patogênico, seja ele vírus, bactérias ou protozoários. A concentração de patogênicos por unidade de volume em um corpo d'água é bastante reduzida o que dificulta sua detecção através de exames laboratoriais.

Tal dificuldade é superada com o estudo de organismos indicadores de contaminação fecal, tais organismos não são patogênicos mas indicam o nível de contaminação da água por meio de fezes humanas ou de animais, as bactérias do grupo coliforme são as principais indicadoras de contaminação fecal uma vez que cerca de um terço a um quinto do peso das fezes humanas é constituída por bactérias de tal grupo, e são encontradas apenas em fezes humanas e de animais de sangue quente, e os coliformes apresentam resistência aproximada à maioria das bactérias patogênicas intestinais. Além de que os exames feitos em amostras de água para detecção de coliformes são rápidos e econômicos.

### **3.3.6.3 – Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O Potencial Hidrogeniônico (pH), de acordo com RIBEIRO (2010) representa a concentração de íons  $H^+$  em um meio, o que nos dá a indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, é apresentado em uma escala que varia de 0 a 14. O constituinte responsável pelo pH é formado por sólidos ou gases dissolvidos, sua origem se deve a fontes naturais como dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação de matéria orgânica e até mesmo pela fotossíntese ou por fontes antropogênicas como despejos domésticos e industriais.

SPERLING (1996) nos mostra que conhecimento deste parâmetro é de fundamental importância em diversas etapas do tratamento de água em estações, pois um pH baixo, ou seja, menor que 7, indica condições ácidas do meio o que possibilita corrosividade e agressividade das águas de abastecimento, e um pH elevado, acima de 7, indica condições básicas do meio e aumentam a possibilidade de incrustações nas águas de abastecimento e podem estar associados à proliferação de algas, os valores de pH afastados da neutralidade, ou seja, diferente de 7 podem afetar a vida aquática e microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico do esgoto.

#### **3.3.6.4 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Outro parâmetro de fundamental importância na classificação das águas e seu nível de poluição é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Sendo o principal efeito ecológico da poluição orgânica, o decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido, foi introduzida a ideia de se medir o grau de poluição de um determinado despejo pelo consumo de oxigênio que ele acarretaria, sendo então uma quantificação indireta da geração de um impacto.

Desta maneira SPERLING (1996) demonstra como pode ser medido em laboratório, o consumo de oxigênio que um volume padronizado de esgoto ou outro líquido exerce em período de tempo pré-fixado. Introduziu-se desta maneira o conceito de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea, sendo então uma indicação indireta do carbono biodegradável.

A estabilização completa da matéria orgânica demora cerca de 20 dias em média para esgotos domésticos, que corresponde a Demanda Última de Oxigênio ( $DBO_u$ ). Mas para que o teste de laboratório fosse realizado em tempo inferior, por convenção, a análise é feita no 5º dia, e para esgotos domésticos típicos esse consumo do pode ser relacionado com o consumo total final ( $DBO_u$ ), tal teste é efetuado a 20°C, uma vez que temperaturas diferentes interferem no metabolismo bacteriano, desta forma tem-se, a DBO padrão sendo expressa por  $DBO_5^{20}$ .

RIBEIRO (2010) explica que o teste da DBO é realizado da seguinte maneira, o dia da coleta da amostra é determinada a concentração de oxigênio dissolvido (OD), com a amostra sendo mantida em frasco fechado e mantido incubado a 20°C, é determinada a nova concentração de OD, que é reduzida com relação a primeira medida. Sendo assim a  $DBO_5$  é a diferença entre o teor de OD no dia zero e no dia cinco, o que representa o oxigênio consumido para oxidação da matéria orgânica. O teste da DBO indica a taxa de consumo de

oxigênio em função do tempo e determina aproximadamente a quantidade de oxigênio requerido para estabilização biológica da matéria orgânica presente.

### **3.3.6.5 – Nitrogênio**

O nitrogênio no meio aquático pode ser encontrado na forma de nitrogênio gasoso ( $N_2$ ), que escapa para atmosfera, nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia, nítrito ( $NO_2$ ), e nitrato ( $NO_3^-$ ), sendo encontrado, no meio na forma de sólidos em suspensão, ou dissolvidos, é constituinte de despejos domésticos, industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

A importância do nitrogênio quando tratamos de parâmetro para determinação da poluição pode ser entendido pelo fato de ser elemento indispensável para crescimento de algas e quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a crescimento exagerado desses organismos, acarretando assim no processo de eutrofização.

De acordo com SPERLING (1996), o processo bioquímico de conversão da amônia a nítrito e deste a nitrato, implica no consumo do OD no meio. O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes, além de o nitrogênio ser indispensável para crescimento dos organismos responsáveis pelo tratamento de esgoto. Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio de poluição do mesmo, a poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou na forma de amônia, enquanto a poluição mais antiga está associada ao nitrogênio na forma de nitrato.

### **3.3.6.6 - Temperatura**

SPERLING (1996) mostra como a medição da temperatura nos corpos d'água é importante, pois as elevações da temperatura aumentam a taxa das reações químicas e biológicas e diminuem a solubilidade de gases como o oxigênio dissolvido e aumentam a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro no caso da liberação de gases com odores desagradáveis. O aumento da temperatura pode estar vinculado a fatores naturais como a transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo), e pode estar vinculado ao lançamento de águas de torres de resfriamento e despejos industriais.

### **3.3.6.7 – Sólidos Totais**

Podemos enfim citar como parâmetro, a carga de sólidos que, de acordo com RIBEIRO (2010), com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para este todos os outros tipos de contaminantes da água, os sólidos podem ser classificados de acordo com, seu tamanho e estado em que temos sólidos em suspensão ou dissolvidos, suas características químicas como sólidos fixos ou voláteis e sua decantabilidade em que temos sólidos em suspensão, sedimentáveis ou em suspensão não sedimentáveis.

Segundo SPERLING (2005) ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada, na ordem de 550°C, a fração orgânica é oxidada, permanecendo após a combustão apenas a fração inerte (não oxidada). O sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, e os sólidos não voláteis representam a matéria inorgânica ou mineral. Os sólidos totais representam a soma dos sólidos voláteis (matéria orgânica) com os sólidos fixos (matéria inorgânica).

## **3.4 – Sistemas de Despoluição da Água**

Quando falamos de tratamento de água, temos como finalidade transformar a água com alteração de suas características por ações ou interferências, naturais ou provocadas pelo homem, que é por definição uma água poluída, em uma água adequada ao consumo seja ele para consumo doméstico, comercial, industrial ou público. Como já visto anteriormente, temos vários parâmetros utilizados para analisar o nível de poluição em que se encontra o corpo d'água analisado ou a água destinada ao consumo humano.

### **3.4.1 – Padrões de Poluição de acordo com legislação ambiental**

#### **3.4.1.1 – Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Doce**

O nível de qualidade da água esperado para os corpos d'água, considerados em cada estudo particular, assim como a qualidade esperada da água ao final de seu tratamento por processos de despoluição. Os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 que estabelece limites individuais de substâncias, em cada uma das classes de águas doces, salobras ou salgadas. Os principais índices por categoria de análise a serem considerados para as quatro classes de águas doces, podem ser analisados na Tabela 3.

### 3.4.1.2 – Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Salgada

Ainda de acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2005 temos para as águas salinas as seguintes considerações para classe 1, carbono orgânico total de até 3 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O<sub>2</sub>; e pH: 6,5 a 8,5, não devendo haver uma mudança do pH natural maior do que 0,2 unidade. Para classe 2 carbono orgânico total de até 5,00 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 5,0 mg/L O<sub>2</sub>; e pH conforme classe 1. Para classe 3 de águas salinas temos carbono orgânico total de até 10 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O<sub>2</sub>; e assim como observado na classe 2, o pH deve ser o mesmo da classe 1. Tais considerações podem ser vistas na Tabela 4.

Tabela 3 – Parâmetros de poluição para corpos d'água de água doce

Resolução CONAMA 357/2005 - Padrões do corpo d'água - Exemplos de parâmetros associados a esgotos domésticos						
Categoria	Parâmetro	Unidade	Águas Doces			
			1	2	3	4
Físicos	Cor	mgPt-Co/l	nível natural	75	75	–
	Turbidez	UNT	40	100	100	–
	Sólidos dissolvidos totais	mg/l	500	500	500	–
Biológicos	Coliformes totais	org/100ml	1000	5000	20000	–
	Coliformes termotolerantes	org/100ml	200	1000	4000	–
Químicos	DBO <sub>5</sub>	mg/l	3	5	10	–
	OD	mg/l	≥6	≥5	≥4	≥2
	pH	–	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Substâncias potencialmente prejudiciais	Amônia não ionizável	mgNH <sub>3</sub> /l	0,02	0,02	–	–
	Amônia total	mgN/l	–	–	1	–
	Nitrato	mgN/l	10	10	10	–
	Nitrito	mgN/l	1	1	1	–
	Fosfato total	mgP/l	0,025	0,025	0,025	–

Fonte: Adaptado de AMORIM (2011)

### 3.4.1.3 – Padrões de Poluição para Corpos d'água de Água Salobra

Assim como observado nas águas salinas, temos para águas salobras as seguintes determinações, para classe 1, carbono orgânico total de até 3 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O<sub>2</sub> e pH entre 6,5 e 8,5. Na classe 2 temos carbono orgânico total de até 5,00 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O<sub>2</sub>, o pH, assim como na classe 1 deve estar entre 6,5 e 8,5. Na classe 3, os limites máximos são fixados em carbono orgânico total de até 10,0 mg/L, como C; OD, em qualquer amostra, não inferior a 3 mg/L O<sub>2</sub> e pH entre 5 e 9. Tais observações podem ser analisadas na Tabela 5.

Vale lembrar que em todas as classes de águas salinas e salobras substâncias que produzem cor, odor e turbidez devem estar virtualmente ausentes.

Tabela 4 – Parâmetros de poluição para corpos d'água de água salgada

<b>Resolução CONAMA 357/2005 - Padrões do corpo d'água - Exemplos de parâmetros associados a esgotos domésticos</b>					
Categoria	Parâmetro	Unidade	Águas Salgadas		
			1	2	3
Físicos	Cor	mgPt-Co/l	nível natural	75	75
	Turbidez	UNT	40	100	100
	Sólidos dissolvidos totais	mg/l	500	500	500
Biológicos	Coliformes totais	org/100ml	1000	5000	20000
	Coliformes termotolerantes	org/100ml	200	1000	4000
Químicos	DBO <sub>5</sub>	mg/l	3	5	10
	OD	mg/l	≥6	≥5	≥4
	pH	–	6,5 a 9,5	6,5 a 9,5	6,5 a 9,5
Substâncias potencialmente prejudiciais	Amônia não ionizável	mgNH <sub>3</sub> /l	0,02	0,02	–
	Amônia total	mgN/l	–	–	1
	Nitrato	mgN/l	10	10	10
	Nitrito	mgN/l	1	1	1
	Fosfato total	mgP/l	0,025	0,025	0,025

Fonte: Adaptado de AMORIM (2011)

Tabela 5 – Limites de poluição para corpos d'água de água salobra

<b>Resolução CONAMA 357/2005 - Padrões do corpo d'água - Exemplos de parâmetros associados a esgotos domésticos</b>					
Categoria	Parâmetro	Unidade	Águas Salobras		
			1	2	3
Físicos	Cor	mgPt-Co/l	nível natural	75	75
	Turbidez	UNT	40	100	100
	Sólidos dissolvidos totais	mg/l	500	500	500
Biológicos	Coliformes totais	org/100ml	1000	5000	20000
	Coliformes termotolerantes	org/100ml	200	1000	4000
Químicos	DBO <sub>5</sub>	mg/l	3	5	10
	OD	mg/l	≥ 5	≥ 4	≥ 3
	pH	–	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	5,0 a 9,0
Substâncias potencialmente prejudiciais	Amônia não ionizável	mgNH <sub>3</sub> /l	0,02	0,02	–
	Amônia total	mgN/l	–	–	1
	Nitrato	mgN/l	10	10	10
	Nitrito	mgN/l	1	1	1
	Fosfato total	mgP/l	0,025	0,025	0,025

Fonte: Adaptado de AMORIM (2011)



#### **3.4.1.4 – Padrões de Poluição comuns a todos os Corpos d'água**

Além dos parâmetros observados anteriormente temos outras condições de qualidade de água pertinentes às classes de água doce, salobras e salgadas.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 357/2005, a não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, ou a sua ausência, comprovada pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido, somente é necessária nas classes 1 de todas as categorias de água.

AMORIM (2011) destaca que a ausência, de materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais, deve ser observada em todas as classes, assim como a presença de óleos e graxas onde são tolerados apenas iridescências na classe 4 de água doce e na classe 3 de águas salgadas e salobras, além da ausência de substâncias que comuniquem gosto ou odor deve estar ausente em todos os tipos e classes de água.

A presença de corantes provenientes de fontes antrópicas deve ser virtualmente ausente na classe 1 de água doce e em todas as classes de água salobra e salgada, já nas demais classes de água doce não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais, resíduos sólidos objetáveis devem ser virtualmente ausentes em todos os tipos e classes de água.

#### **3.4.2 – A Resolução CONAMA N° 274/2000**

A Resolução CONAMA n° 357/2005 toma como base a Resolução CONAMA n° 274/2000 para os padrões de balneabilidade, que estão explicitados na Tabela 6, que mostra os padrões tanto para águas doces quanto para águas salgadas.

Balneabilidade é a capacidade que um local tem de possibilitar o banho e atividades esportivas em suas águas, caracterizando assim, a qualidade mínima de padrões de águas quando destinadas à recreação de contato primário, ou seja, contato direto do banhista com o corpo hídrico em questão.

A balneabilidade é determinada a partir da quantidade de bactérias do grupo coliforme presentes na água. É feita análise que quantifica os coliformes totais, os coliformes fecais e a presença de agentes patológicos do tipo *Escherichia coli* e/ou *Enterococos*.

Tabela 6 – Padrões de Balneabilidade

Resolução CONAMA 274/2000 - Padrões de balneabilidade		
Balneabilidade - Categoria		Padrões para o corpo d'água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100 ml (1) ou 200 EC/100ml (3) ou 25 Enterococos/100 ml (4) em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
	Muito Boa	Máximo de 500 CF/100 ml (1) ou 400 EC/100ml (3) ou 50 Enterococos/100 ml (4) em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
	Satisfatória	Máximo de 1000 CF/100 ml (1) ou 800 EC/100ml (3) ou 100 Enterococos/100 ml (4) em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Imprópria		a) Não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias
		b) Incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicadas pelas autoridades sanitárias
		c) Valor obtido na última amostragem for superior a 2500 CF/100 ml (1) (termotolerantes) ou 2000 EC/100ml (3) ou 400 Enterococos/100 ml (4)
		d) Presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer risco à saúde ou tornar desagradável a recreação.
		e) pH menor que 6,0 ou maior que 9,0 (para águas doces), à execução das condições naturais.
		f) Floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana.
		h) Outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanente, o exercício da recreação de contato primário.
(1) Coliformes Fecais		(2) Coliformes Totais
		(3) <i>Escherichia Coli</i>
(4) Os padrões referentes aos enterococos aplicam-se somente às águas marinhas		

Fonte: Adaptado de AMORIM (2011)

### 3.4.3 – Autodepuração de Corpos d'água

Uma vez analisados quais são os padrões estabelecidos para os corpos d'água de acordo com a legislação federal vigente podemos ter como base o padrão de lançamento de esgotos tratados por estações de tratamentos de esgoto. E mostrar processos naturais que podem fazer com que corpos d'água voltem ao seu estado natural ou a padrões estabelecidos pela legislação.

Segundo SPERLING (1996), as águas constituem ambientes bastante pobres em oxigênio, em virtude da baixa solubilidade deste. Enquanto no ar a concentração é da ordem de 270 mg/l, na água sob condições naturais de temperatura e pressão, sua concentração se reduz aproximadamente a apenas 9 mg/l. Sendo assim, qualquer pequena alteração no consumo de oxigênio no meio repercute em grandes alterações de seu teor na massa líquida como um todo, sendo assim observada a grande importância da medição da quantidade de oxigênio dissolvido no meio.

A autodepuração é decorrente da associação de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica), química e biológica (oxidação e decomposição) de acordo com HYNES (1960) e SPERLING (1996), constitui o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático por processos essencialmente naturais após

alterações induzidas, por ações antrópicas ou não, devido o despejo de esgoto ou matéria orgânica em corpos hídricos.

Seguindo os padrões de qualidade requeridos para determinado trecho do curso d'água, uma água pode ser dita depurada, quando suas características não são conflitantes com a utilização prevista e seus padrões de acordo com o órgão competente.

O processo de autodepuração é um processo formado de etapas desenvolvidas ao longo do curso d'água de maneira gradativa ao longo do tempo.

Segundo BRAGA (2002), os estágios de sucessão ecológica presentes nesse processo são fisicamente identificados por trechos definidos como zonas de autodepuração, que são divididas em:

→ Zona de águas limpas, que está localizada em região à montante do lançamento do efluente (caso não exista poluição anterior) e também após a zona de recuperação, a região é caracterizada pela elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior;

→ A zona de degradação está localizada à jusante do ponto de lançamento, o que lhe confere a característica de possuir uma concentração de oxigênio dissolvido mais baixa, diminuição na variedade de espécies aquáticas e presença de organismos mais resistentes;

→ A zona de decomposição ativa é a região onde a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo, a vida aquática é predominada por bactérias e fungos (anaeróbicos);

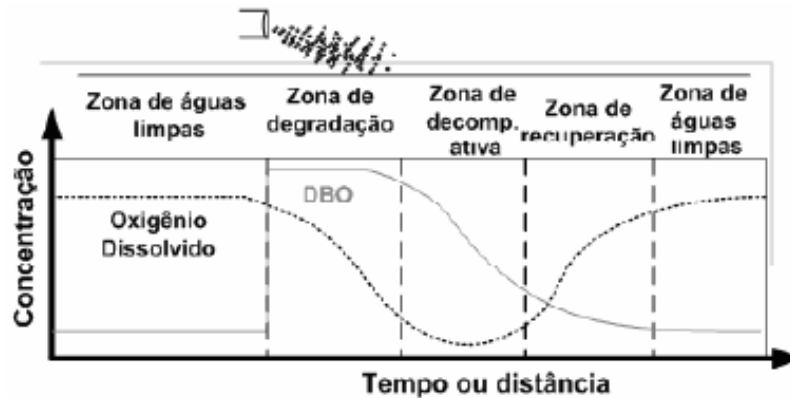
→ Zona de recuperação é a região onde se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição, com a volta da presença de vida aquática superior.

A Figura 1 adaptada de BRAGA (2002), nos mostra as zonas descritas anteriormente. Vale ressaltar, que ao final do processo de depuração, o ecossistema encontrado, mesmo com seu equilíbrio restabelecido, é diferente do inicial, uma vez que são inseridos no meio, produtos e subprodutos da decomposição, que fazem com que a comunidade aquática encontrada a jusante se apresente de forma diferente.

Temos alguns fatores que agem de forma significativa na velocidade de autodepuração de um curso d'água dentre os quais podemos citar, a diluição, a dispersão, a sedimentação, a reaeração atmosférica, a fotossíntese e a temperatura do meio.

Quanto menor a concentração de poluente em um curso d'água, maior será a velocidade de autodepuração deste. Sendo assim, quanto maior a vazão do corpo receptor em relação a vazão afluente, maior será a diluição do poluente introduzido no meio.

Figura 4- Zonas de Autodepuração



Fonte: BRAGA(2002)

A dispersão do poluente no meio está relacionada de forma diretamente proporcional com o espalhamento deste, devido a ação conjunta de difusão (molecular e/ou turbulenta) e advecção diferenciada, sendo assim, quanto mais turbulento for o curso d'água, mais rápida será a velocidade de autodepuração deste.

O esgoto é composto de matéria orgânica em suspensão, e dissolvida no meio, no caso a água. A matéria que se encontra em suspensão tende a se sedimentar no fundo do corpo d'água, desta maneira, quanto mais rápido se dá esta sedimentação, mais rápido será o processo de autodepuração.

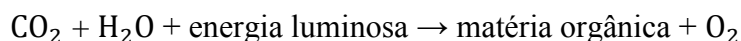
De acordo com ANDRADE (2010), tal processo está intimamente ligado com a concentração de matéria orgânica no meio e quantidade de oxigênio dissolvido, vale ressaltar que a matéria sedimentada encontrada no fundo do corpo d'água, também necessita ser estabilizada, porém tal estabilização ocorre em condições anaeróbias, devido a dificuldade de penetração do oxigênio na camada de lodo.

Temos a reaeração atmosférica como o principal fator responsável pela introdução de oxigênio no meio líquido, tal processo, se dá por meio da transferência de gases, que é um fenômeno físico no qual moléculas de gases são trocadas entre o meio líquido e gasoso pela sua interface. Esse intercâmbio resulta num aumento da concentração do oxigênio na fase líquida esta não esteja saturada com o gás. Esta transferência do meio gasoso para o meio líquido se dá basicamente por meio de dois mecanismos: a difusão molecular e a turbulenta.

Conforme dito por SPERLING (1996), o primeiro tipo de difusão se dá em corpos d'água parados ou com velocidade muito baixa de escoamento, como em lagos e rios de movimento lento, tal mecanismo faz as trocas gasosas com a superfície de maneira muito

lenta, o que demanda muito tempo para que o oxigênio atinja as camadas mais profundas do corpo d'água. Na difusão turbulenta tais trocas gasosas se dão de maneira mais rápida e eficiente, uma vez que no escoamento turbulento temos a criação de interfaces e a renovação de tais interfaces o que permite que o gás atinja profundidades maiores do corpo d'água e evite pontos de saturação de oxigênio, sendo assim um rio de menor profundidade e com grande número de corredeiras, apresenta uma velocidade de autodepuração muito maior que em rios que não se encontram nestas condições.

Em lagos e rios de movimento lento, temos a fotossíntese, que é caracterizada como processo utilizado pelos seres autótrofos clorofilados, como algas, por exemplo, para a síntese da matéria orgânica, representada pela seguinte equação simplificada.



A limitação para que se ocorra fotossíntese em um corpo d'água é a capacidade de penetração da energia luminosa neste, sendo assim, a turbulência das águas é um fator fundamental quando analisado este parâmetro, sendo assim quanto maior a taxa de realização da fotossíntese, maior a velocidade de autodepuração.

A influência da temperatura na autodepuração de um corpo d'água pode atuar na aceleração do processo de degradação da matéria orgânica, uma vez que a temperatura influencia de maneira significativa o metabolismo bacteriano, o que afeta diretamente os organismos que atuam na estabilização da matéria orgânica.

Segundo SPERLING (1996) o aumento da temperatura, até a temperatura ótima de funcionamento dos organismos faz com que a taxa de autodepuração se eleve de maneira diretamente proporcional, e faz também com que o processo de absorção do oxigênio nos corpos d'água, aumente na proporção de 2,4% a cada acréscimo de 1°C na temperatura, sendo assim aumenta a taxa de reaeração da água, porém o aumento da temperatura pode trabalhar de maneira oposta uma vez que este aumento, reduz a solubilidade do oxigênio no meio líquido.

A autodepuração de corpos d'água é um fator muito importante a ser levado em consideração quando se mede a capacidade de recuperação de um curso d'água, sendo assim, os fatores levados em consideração para se medir a velocidade e a capacidade de autodepuração são levados em modelos analíticos. Em estudo ANDRADE (2010) nos mostra que a hipótese básica do modelo Streeter - Phelps é que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático (ou taxa de desoxigenação  $dL/dt$ ) é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo, os fatores levados em consideração

são amplamente observados nos métodos de despoluição em estações de tratamento, por exemplo, como será visto a seguir.

#### **3.4.4 – Principais Sistemas de Despoluição de Corpos d’água**

Os principais sistemas de despoluição aos quais os esgotos são condicionados podem ser denominados processos de tratamento, que podem variar de acordo com os parâmetros de qualidade fixados para o trecho do curso d’água afetado pelo lançamento do efluente, é a capacidade receptora de tais águas que estabelece o grau de condicionamento ao qual o esgoto deverá ser submetido.

ANDRADE (2006) descreve uma série de operações unitárias que formam os processos de tratamento, trabalhando com o objetivo de remover substâncias indesejáveis ou transformá-las em outras substâncias que sejam aceitáveis, sendo assim, as principais operações unitárias empregadas nos sistemas de tratamento são:

→ As trocas de gases, que compreende a adição de oxigênio ou ar no esgoto, por meio de processo de aeração, para que condições aeróbias possam ser criadas para o melhor trabalho de bactérias que agem na depuração do esgoto, além da adição de gás cloro para eliminação de microrganismos;

→ O gradeamento é feito para que sólidos em suspensão, maiores que a abertura das grades, possam ser retidos e removidos;

→ O processo de sedimentação é feito de maneira que a velocidade do esgoto é diminuída, e assim, por meio da gravidade, partículas em suspensão se sedimentam, diminuindo assim a capacidade de carregamento do esgoto;

→ A flotação também trabalha no sentido de diminuir a capacidade de carregamento, porém aumenta a capacidade de empuxo do esgoto, permitindo a remoção de gorduras e óleos do esgoto;

→ A precipitação química faz com que a reação de produtos químicos apropriados, com o esgoto, possibilite a precipitação de elementos presentes neste;

→ A filtração retém matérias em suspensão presentes no esgoto, fazendo com que este passe em meio poroso; a desinfecção permite o extermínio de organismos infecciosos em potencial, por meio de operações como a cloração, ação de raios ultravioletas e ozonização;

→ Por fim temos a oxidação biológica onde microrganismos decompõe a matéria orgânica, processo que transforma substâncias complexas em produtos finais simples.

Os processos de tratamento a serem utilizados no tratamento do esgoto devem ser analisados de forma que atuem de forma inversa aos fenômenos atuantes na formação do esgoto, de acordo com ANDRADE (2006) se um esgoto é formado pela ação de agentes físicos, o sistema de remoção destes agentes deverá ser um processo físico. Em função destes fenômenos e da mesma forma que os poluentes contidos nos esgotos são de natureza física, química ou biológica, os processos de tratamento podem ser classificados em: físicos, químicos e biológicos.

Os processos físicos são caracterizados pela remoção de substâncias que não estejam dissolvidas e que sejam fisicamente separáveis, separando substâncias em suspensão no esgoto, removendo então sólidos grosseiros, sedimentáveis e flutuantes. Processos como remoção da umidade e incineração do lodo, filtração e diluição do esgoto, também constituem processos físicos de tratamento.

Os processos químicos de tratamento são os que utilizam produtos químicos e raramente são usados em esgotos sanitários, o uso de tal processo se torna indispensável quando os processos físicos e biológicos não atendem ou não atuam de forma eficiente nas características que se pretende remover ou reduzir, os processos adotados com maior frequência são a floculação e precipitação química, a oxidação química, a cloração e a neutralização do pH.

Nos processos biológicos conforme dito anteriormente, a ação de microrganismos presentes no esgoto é necessária, e segundo ANDRADE (2006), fenômenos de nutrição são predominantes na transformação de componentes complexos em compostos mais simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros. Os processos de tratamento procuram reproduzir em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos observados na natureza condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis. Os principais processos biológicos de tratamento são, a oxidação biológica (aeróbia, como lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e anaeróbia como reatores anaeróbios de fluxo ascendente); digestão do lodo (aeróbia, anaeróbia, fossas sépticas).

O processo de remoção de poluentes de um esgoto é dividido em etapas e é feito por meio de vários processos de acordo com o que se pretende remover e o tamanho do que se pretende remover.

Sendo assim temos os seguintes processos de remoção; a remoção ou transformação de sólidos grosseiros em suspensão é feita por meio de crivos, grades, peneiras ou desintegradores, em que pode ser usado mais de um meio para o objetivo final; a remoção de

sólidos sedimentáveis é feita usando-se desaneradores mais conhecidos como caixas de areia, centrífugas e decantadores; a remoção de óleos, gorduras, graxas ou substâncias análogas se dá por meio do uso de tanques de retenção de óleos conhecidas como caixas de gordura, tanques de flotação ou decantadores com removedores de espuma; a remoção de material miúdo em suspensão também pode utilizar tanques de flotação, mas conta com outros processos como o uso de filtros de areia e tanques e precipitação química.

A remoção de substâncias orgânicas dissolvidas, semidissolvidas e finalmente divididas é feita por meio da irrigação de grandes superfícies do solo, campos de nitrificação, com ou sem finalidade agrícola, filtros biológicos, lagoas de estabilização, tanques de lodo ativado e valos de oxidação que são sistemas de aeração prolongada; a eliminação de odores e o controle de doenças transmissíveis se dá por meio de desinfecção com uso de cloro, ação ultravioleta ou ozonização, uso de outros reagentes químicos específicos para cada caso ou instalações biológicas com bactérias aeróbias.

Conforme elucidado por ANDRADE (2006) é comum classificar as instalações de tratamento em função do grau de redução dos sólidos em suspensão e demanda bioquímica de oxigênio. Tais indicadores demarcam a eficiência do sistema de tratamento.

O tratamento do esgoto é subdividido em etapas, nas quais temos os processos de remoção e operações vistos anteriormente.

Tratamento preliminar:

- Remoção de sólidos grosseiros;
- Remoção de gorduras e óleos;
- Remoção de areias.

Tratamento primário:

- Sedimentação;
- Flotação;
- Digestão do lodo;
- Secagem do lodo;
- Sistemas compactos (sedimentação e digestão, Tanque Imhofh);
- Sistemas anaeróbios (lagoa anaeróbia, reator de fluxo ascendente).

Tratamento secundário:

- Filtração biológica;
- Lodos ativados;
- Lagoas de estabilização (aeróbias, facultativas, aeradas).

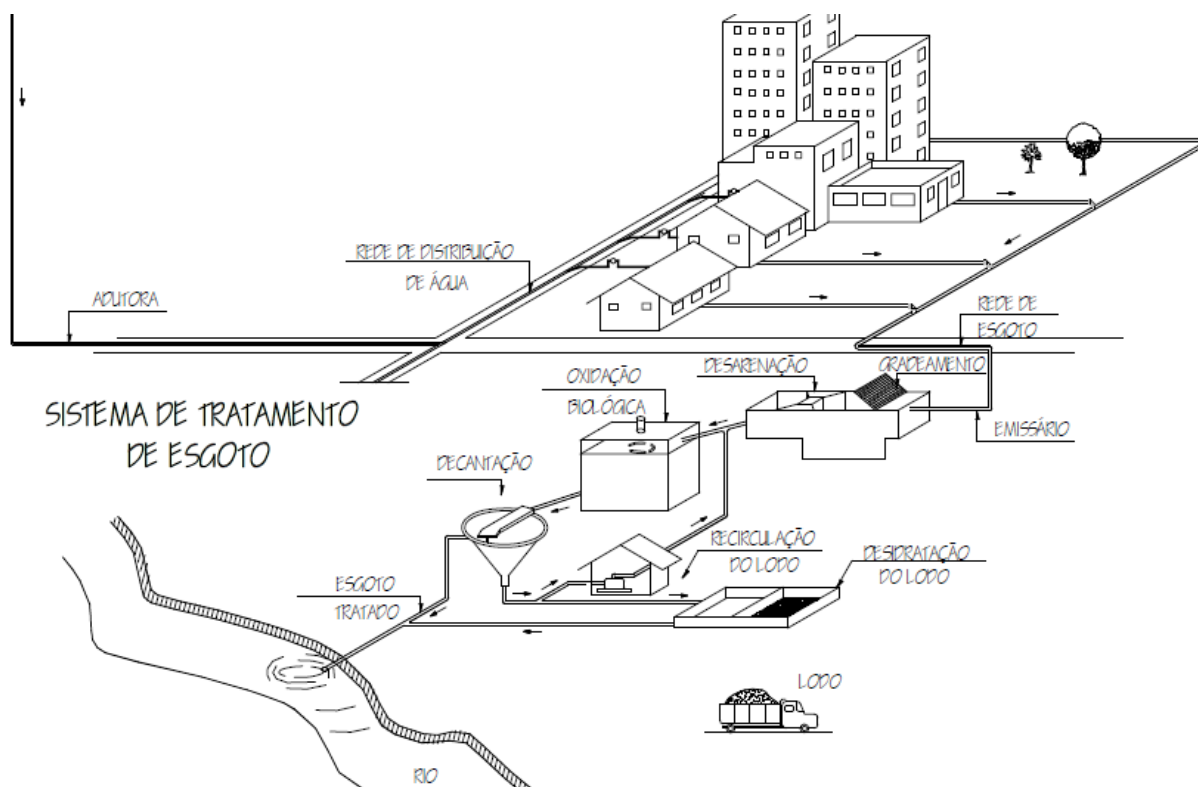


### Tratamento terciário

- ➔ Lagoas de maturação;
- ➔ Desinfecção;
- ➔ Filtração final;
- ➔ Processos de remoção de nutrientes.

Mostrando como pode ser dado um processo de tratamento por inteiro, uma estação de tratamento de esgoto pode ou não, utilizar de todos os processos mostrados e todas as etapas em questão, porém o grau e a eficiência serão sempre atendidas de acordo com a legislação vigente para o corpo d'água a ser lançado o esgoto tratado, assim como o destino do uso da água, condições de autodepuração e consequências dos lançamentos dos esgotos na Figura 5, podemos ver um esquema simples do processo de tratamento de esgoto, quando recebido da rede de esgoto proveniente de uma cidade por exemplo, até o lançamento final em um corpo d'água.

Figura 5 – Esquema Convencional de Funcionamento de uma ETE



Fonte: Adaptado de ANDRADE (2006)

No tratamento preliminar, é importante salientar a importância da remoção de sólidos grosseiros, uma vez que as seguintes finalidades devem ser observadas, como a proteção dos

dispositivos de transporte do esgoto, como bombas e tubulações, além de ser importante para futuras fases do tratamento como proteção dos aeradores, a remoção parcial da carga poluidora melhora o desempenho na etapa de desinfecção, a proteção dos corpos receptores é importante tanto pelo aspecto estético quanto nos regimes de fluxo e desempenho. A remoção de areias é de especial observância uma vez que a principal preocupação na sua remoção vem de abrandar ou eliminar efeitos no funcionamento de componentes da ETE porém, deve se atentar para o fato que tal remoção evita o assoreamento dos corpos receptores.

Nos processos de tratamento secundário e terciário, devemos nos atentar para o uso das lagoas de estabilização e maturação, uma vez que tais lagoas apresentam elevada eficiência no tratamento dos efluentes, sendo que a matéria orgânica dissolvida no efluente das lagoas é considerado estável. Segundo SPERLING (2005), havendo separação de algas, a DBO fica na ordem de 15 a 30 mg/l. As lagoas de maturação removem 99,999% de organismos coliformes. As lagoas tem alta aplicabilidade no tratamento de esgotos sanitários e para alguns tipos de esgotos industriais. Além de que a performance das lagoas nos países tropicais é excelente.

A Tabela 7, apresenta a atuação das operações, processos e dos sistemas como um todo na remoção dos poluentes.

Tabela 7 – Processo de Despoluição Usado Para Cada Tipo de Poluente

<b>Poluente</b>	<b>Operação, processo ou sistema</b>
Sólido em suspensão	Gradeamento
	Remoção de areia
	Sedimentação
	Disposição no solo
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização e variações
	Lodos ativados e variações
	Reatores aeróbios com biofilmes
	Tratamento anaeróbio
	Disposição no solo
Nitrogênio	Nitrificação e desnitrificação biológica
	Disposição no solo
	Processos físico-químicos
Fósforos	Remoção biológica
	Processos físico-químicos

Fonte: Adaptado de SPERLING (2005)

Partindo do estudo de legislações ambientais vigentes no Brasil e nas unidades federativas, uma vez que o quesito concentração efluente máxima é mais restritivo que o quesito eficiência mínima de remoção, e fazendo algumas estimativas seguindo as medidas de despoluição, BRITES (2010) chega ao resultado de que os sistemas que apresentam melhores padrões de lançamento quando considerado o parâmetro de qualidade da água DBO foram:

- Infiltração lenta e rápida;
- Sistemas compostos por UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) sigla em inglês para digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), seguidos de lodos ativados ou biofiltro aerado submerso ou filtro biológico de alta carga ou flotação por ar dissolvido;
- Sistemas de lodos ativados convencional, aeração prolongada, batelada, lodo ativado convencional com remoção biológica de N (Nitrato), lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P e lodo ativado convencional seguido por filtração terciária; e
- Filtro biológico de baixa carga, filtro biológico de alta carga, biofiltro aerado submerso com nitrificação e biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N.

Os sistemas de tratamento que apresentam melhores padrões para o efluente tratado quando o parâmetro analisado foi o nitrogênio foram:

- Infiltração lenta;
- Lodo ativado convencional com remoção biológica de N;
- Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P; e
- Tratamento biológico com remoção de N/P.

Quanto realizada a mesma análise considerando a remoção de fósforo os sistemas de tratamento que apresentam melhores padrões para o efluente tratado foram:

- Tratamento primário avançado, onde a eficiência varia conforme a dosagem do coagulante;
- Infiltração lenta e rápida;
- UASB seguido de flotação por ar dissolvido;
- UASB seguido de lagoas de polimento;
- Lodo ativado convencional com remoção biológica de N/P; e
- Lodo ativado convencional seguido de filtração terciária.

## **4 – ESTUDO DE CASO: DESPOLUIÇÃO DA BAÍA DE GUANABARA**

### **4.1 – Histórico e Contexto da Baía de Guanabara no Cenário Nacional**

A Baía da Guanabara localizada no Estado do Rio de Janeiro, possui grande importância histórica para o Brasil, uma vez que é o local de chegada dos colonizadores no Rio de Janeiro em 1502 se deu por tal local, sua beleza é aclamada desde o tempo da descoberta e serve de inspiração para livros, poemas e canções.

A cidade foi fundada aos pés do Morro Cara de Cão e seus fundadores se estabeleceram na área onde hoje é o Centro da cidade. Segundo OLIVEIRA (2013), o estabelecimento dos colonizadores neste local se deu pela facilidade em se atracar os barcos. A Baía de Guanabara ao longo do tempo se tornou um ponto estratégico para os portugueses, devido à proteção natural que ela oferecia a cidade, visto que sua entrada era estreita, dificultando assim a entrada de invasores.

A cidade se expandiu pela Zona Norte e por bairros da Zona Sul, o que consolidou o centro da cidade às margens da Baía da Guanabara, época na qual, plantações de cana de açúcar e outros produtos ocupavam áreas situadas ao fundo da baía. Com o passar do tempo, um elevado crescimento populacional, fez com que o entorno da baía fosse ocupado por áreas residenciais, comerciais, e uma extensa zona portuária.

A área hoje conhecida hoje como Baixada Fluminense, é caracterizada, por ter recebido ao longo do tempo, indústrias, principalmente indústrias têxteis e a indústria do petróleo, por exemplo, neste ponto podemos destacar a presença de refinarias de petróleo.

### **4.2 – Características Físicas e Políticas da Baía da Guanabara**

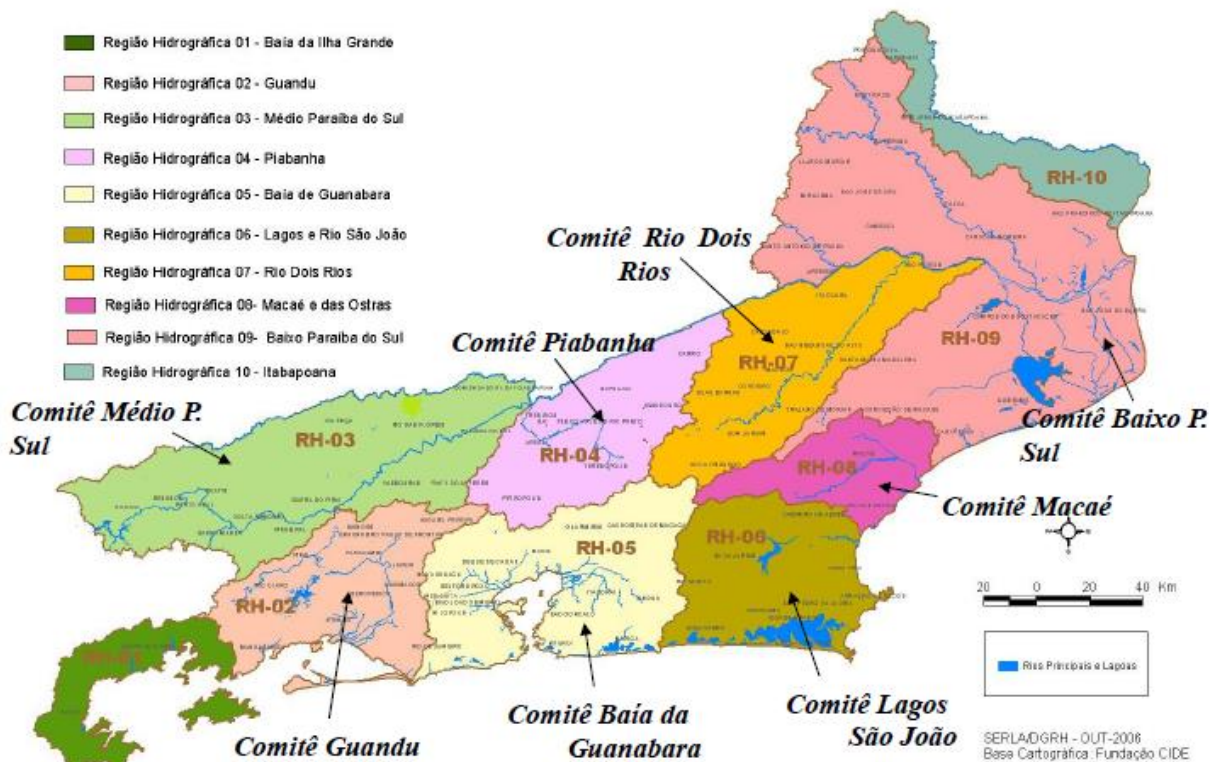
A FEEMA (1998) nos mostra que a Baía de Guanabara localiza-se no Estado do Rio de Janeiro, entre as longitudes 43°00'00" e 43°20'00" W, e latitudes 22°40'00" e 23°05'00" S. A baía se constitui num estuário com uma área total de 346 km<sup>2</sup>, incluindo 59 km<sup>2</sup> de ilhas. Sua bacia hidrográfica tributária abrange uma área aproximada de 4000 km<sup>2</sup>, e contribui por meio de 35 rios principais com elevada poluição por efluentes domésticos brutos ou parcialmente tratados de cerca de 10 milhões de habitantes e efluentes industriais de mais de 12.000 indústrias.

A região hidrográfica 5 (RH-5), mostrada na Figura 6 segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), e a bacia hidrográfica da Baía da Guanabara, mostrada na Figura 7 engloba de forma total ou parcial o território político-administrativo de 16 municípios, sendo os parcialmente incluídos os municípios de: Cachoeiras de Macacu, Niterói, Nova Iguaçu,

Petrópolis, Rio Bonito e Rio de Janeiro. Os municípios que se incluem inteiramente são: Nilópolis, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Duque de Caxias, Guapimirim, Magé, Itaboraí, Tanguá e São Gonçalo (COELHO, 2007). Porém, os municípios de Petrópolis e Cachoeiras de Macacu possuem somente pequenas áreas de Mata Atlântica, praticamente inabitadas, que podem ser inseridas à área da bacia hidrográfica.

COELHO (2007) mostra também que a Baía da Guanabara também abriga grande quantidade de ilhas, destacando-se a Ilha do Governador, com seus mais de 40 km<sup>2</sup>. As mais de 80 ilhas presentes no interior da Baía possuem características diferentes. Algumas habitadas, outras servindo como base militar ou com ocupação industrial, cobertas por vegetação, algumas desertas ou ainda dispostas em arquipélagos estão, em sua maioria, localizadas na área de fundo da Baía, onde a dinâmica das águas é mais tranquila. O principal ecossistema da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara é a Mata Atlântica, um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo, mas também fazem parte de sua paisagem os brejos e manguezais.

Figura 6- Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro  
Divisão em Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro

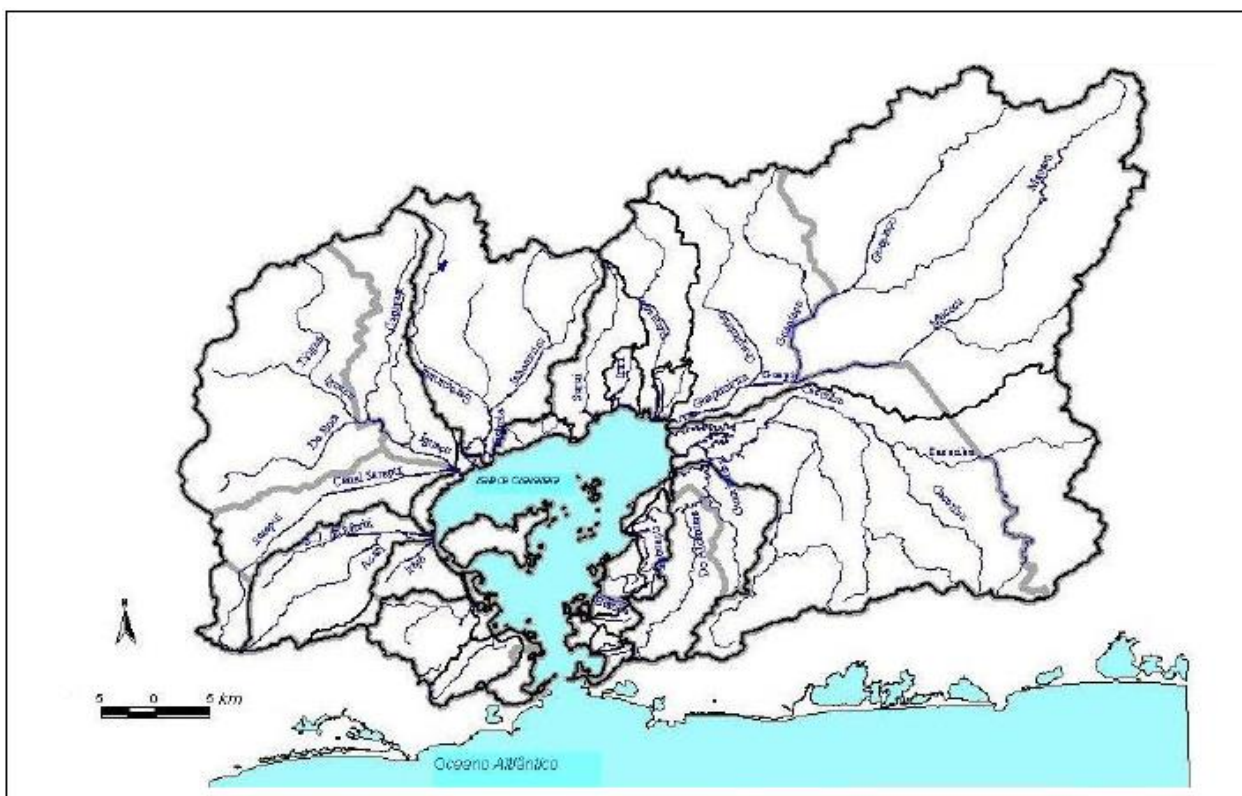


Fonte: INEA

De acordo com a Fundação CEPERJ (Centro Estadual de Estatísticas Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro), em seu último anuário estatístico de 2012 a população da região que é englobada pela bacia hidrográfica da Baía da Guanabara é de cerca de 11 milhões e 700 mil habitantes, distribuída entre os 16 municípios que constituem tal bacia.

Os municípios que constituem a maior parte deste contingente populacional são Rio de Janeiro com cerca de 6 milhões e 400 mil habitantes, São Gonçalo com cerca de 1 milhão de habitantes, Niterói com cerca de 500 mil habitantes e os municípios que constituem a baixada Fluminense, sendo assim, podemos analisar uma distribuição irregular da população pela área da bacia e desta forma a parte oeste da bacia formada por: Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Duque de Caxias, São João de Meriti e Nilópolis, que totalizam cerca 8 milhões e 700 mil habitantes, representando cerca de 75% da população de toda a bacia.

Figura 7 – Delimitação da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara



Fonte: JICA (2002)

#### 4.3 – Importância da Baía da Guanabara

Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Baía da Guanabara PDRH-BG (2005), a região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RHBG) que abriga o maior parque

industrial do Estado, apresenta um alto grau de complexidade tanto em sua dinâmica ecológica quanto no que se refere à sociedade que dá vida a este espaço geográfico.

No tangente à sociedade que abrange o espaço geográfico delimitado pela Baía da Guanabara, podemos ver tal espaço exercer grande importância para os cidadãos fluminenses, importância esta, presente tanto no âmbito econômico, quanto em outros setores como o de lazer e de turismo. Ao serem observadas as mais diversas atividades exercidas no entorno da baía como, esportes, pesca, atividades turísticas, transporte, fica evidente a importância do local para toda a sociedade.

Com o objetivo de enumerar e destacar cada uma das atividades OLIVEIRA (2013) destaca canoagem havaiana, vela, pesca esportiva, pesca submarina, canoagem, remo olímpico, entre outros, no âmbito esportivo. Já no âmbito das atividades turísticas podemos destacar os cruzeiros que aportam na zona portuária, passeios em iates, traineiras e saveiros e também o uso da paisagem da Baía de Guanabara como cartão postal. Em relação ao transporte podemos destacar o uso das barcas e catamarãs, os quais auxiliam no deslocamento diário entre Niterói e Rio de Janeiro. Além destas, devemos destacar atividades relativas ao comércio (restaurantes e bares no seu entorno) e logística entre os portos de diversas cidades do mundo, visto que o Rio de Janeiro tem grande importância no escoamento da produção brasileira e também no recebimento de produtos.

Observando todos estes pontos destacados, é inegável a importância econômica da Baía de Guanabara para o Rio de Janeiro.

Segundo SILVA (2001), após quase 400 anos do descobrimento do Brasil, a Baía de Guanabara pouco havia alterado o seu aspecto físico. As águas permaneciam límpidas, suas praias pareciam pinturas feitas pela natureza e recantos aprazíveis.

O desenvolvimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, que ocorreu principalmente a partir das décadas de 1950 e 1960, quando o Brasil começou a se desenvolver economicamente e industrialmente, foi na área que é caracterizada pela bacia da Baía de Guanabara, que se instalou um dos maiores pólos industriais do país. Indústrias de grande, médio e pequeno porte se instalaram no local, o que fez com que um grande contingente populacional originário de todos os cantos do país também se instalassem em tal local, ocorrendo então um elevado crescimento demográfico nesta área.

Este crescimento trouxe para o ecossistema da região periférica a baía elevada degradação, referente a poluição vindo do esgoto doméstico, aterro de um elevado número de espelhos d'água, destruição de fauna e flora do entorno, o uso descontrolado do solo trouxe

efeitos adversos como assoreamento de corpos d'água que desaguavam na baía, sedimentação do fundo da própria baía, inundações frequentes no entorno e deslizamentos de terra.

#### **4.4 – Poluição da Baía de Guanabara**

A partir do momento que a paisagem urbana do entorno da baía começou a se transformar de forma rápida e desordenada, o grau de poluição das águas do manancial que constitui a Baía de Guanabara começou a aumentar exponencialmente.

O processo de degradação culmina hoje em um crescimento de algas desordenado, que elevam o grau de eutrofização nas águas em regiões onde antes não se encontrava tal processo, que vem das regiões oeste e noroeste da baía, altamente urbanizadas, para a região a sudoeste, por exemplo, que não apresentava tal problema.

Segundo LIMA (2006) além da ação do despejo inadequado de esgoto doméstico, os despejos industriais se constituem em fonte de poluição considerável das águas da baía, representando cerca de 20% da poluição orgânica biodegradável, sendo, ainda, responsável pela quase totalidade da poluição química por substâncias tóxicas e metais pesados, nocivos à saúde humana, que acabam por se acumular nos sedimentos.

Tais indústrias estão localizadas em áreas onde o ecossistema de manguezais era predominante, tal observação, merece um grande destaque, do ponto de vista ecológico uma vez que este é um dos mais produtivos do planeta, são responsáveis pelo fornecimento e reciclagem de nutrientes por meio da decomposição de matéria orgânica e é de grande importância para um grande número de espécies animais e vegetais, encontradas na Baía da Guanabara.

Em artigo, OLIVEIRA (2013), nos mostra outros aspectos importantes do manguezal é que ele serve como estuário para diversas espécies de aves, crustáceos, peixes, etc., isso ocorre devido a sua alta disponibilidade de nutrientes. Diversas espécies “usam” o manguezal como ambiente para alimentação, reprodução e desenvolvimento. Ou seja, um ser vivo que se desenvolve no manguezal pode influenciar positivamente em todo o ambiente marinho, incluindo os oceanos. Desta maneira fica evidente a importância deste ecossistema para a manutenção de um ecossistema equilibrado.

Os manguezais, segundo PEREIRA FILHO & ALVES (1999) o manguezal desempenha diversas funções naturais de grande importância ecológica e econômica, dentre as quais podem ser destacadas ações que ajudam na despoluição do meio ou controle de algumas características poluidoras como as seguintes:



- Proteção da linha de costa - a vegetação desempenha a função de uma barreira, atuando contra a ação erosiva das ondas e marés, assim como em relação aos ventos.

- Retenção de sedimentos carregados pelos rios em virtude do baixo hidrodinamismo das áreas de manguezais, as partículas carregadas precipitam-se e somam-se ao substrato. Tal sedimentação possibilita a ocupação e a propagação da vegetação, o que viabiliza a estabilização da vasa lodosa a partir do sistema radicular dos mangues.

- Ação depuradora- o ecossistema funciona como um filtro biológico em que bactérias aeróbias e anaeróbias trabalham a matéria orgânica e a lama promove a fixação e a inertização de partículas contaminantes, como os metais pesados.

#### **4.5 – Principais poluentes da Baía da Guanabara**

Conforme visto anteriormente as áreas a oeste e noroeste da Baía da Guanabara, são as áreas que se encontram em estado mais crítico quando comparadas a outras áreas dentro da própria baía. A alta degradação é relacionada a elevada quantidade de matéria orgânica, nutrientes e elevado número de bactérias do tipo Coliformes, Fósforo e Nitrogênio. Clorofila-A (Chl-a) em altos níveis, explica o crescimento elevado da biomassa de algas, além de a turbidez da água estar muito elevada e o Oxigênio Dissolvido (OD) apresentar baixos níveis, tais elementos demonstram como os problemas relacionados a alta poluição, alto nível de eutrofização e alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) devem ser tratados com real preocupação.

De acordo com a FEEMA (1998), os níveis dos elementos encontrados na região noroeste e oeste da baía, se relacionam com a política pública adotada nessa região, uma vez que, somente a parte sul da baía se beneficiou dos investimentos do passado como sistemas de coleta e tratamento de esgotos, principalmente o emissário de Ipanema.

A FEEMA (1998) em seu estudo relacionado a todas as áreas da baía classifica os locais onde são encontrados os piores níveis de qualidade da água, onde encontramos Oxigênio Dissolvido abaixo de 1 mg/l, uma DBO de até 50 mg/l e elevados níveis de Nitrogênio, Fósforo, e Coliformes fecais. Esses níveis são encontrados no canal entre as Ilhas do Governador e do Fundão, devido aos lançamentos significativos de efluentes brutos ou parcialmente tratados provenientes das áreas industriais e residenciais de baixa renda nas localizadas ao norte do município do Rio de Janeiro. Tais locais sofrem com uma limitada influencia do movimento da maré, uma vez que a deposição de sedimento reduziu as seções transversais do canal. A qualidade de água é similar à dos esgotos sanitários parcialmente

tratados, dessa forma, problemas de odor são também significativos. Essa região recebe uma carga poluidora considerável proveniente das indústrias e das novas áreas residenciais da Baixada Fluminense, compreendendo os municípios de Duque de Caxias, São João de Meriti, Belford Roxo, Nilópolis e Nova Iguaçu.

LIMA (2006) destaca que, os níveis de OD são aceitáveis, mas a incidência de algas tem aumentado significativamente, influenciando, também, as condições de OD, causando *blooms*, que segundo BRAILE (1993) são a proliferação de algas e/ outras plantas aquáticas na superfície de corpos hídricos, com níveis de Clorofila-a acima de 200 µg/l, que podem ameaçar a saúde desse frágil ecossistema, principalmente, na região nordeste. Esta área é a mais rica em espécies aquáticas, sendo especialmente importante pela presença da maior mancha contínua de manguezais da baía, ameaçando tal sistema que já teve sua importância destacada acima.

#### **4.6 – Distribuição da Poluição ao Redor da Baía da Guanabara**

A elevada acumulação de Fósforo, Nitrogênio e metais pesados verificada em sedimentos de determinadas áreas, deve ser tratada com cautela, pois tais elementos, uma vez lançados no corpo d'água demoram muito tempo para serem depurados, mesmo com a redução imediata no lançamento direto de esgoto. A FEEMA (1998) afirma que as maiores concentrações de tais metais pesados presentes nos sedimentos superficiais se encontram na parte interna oeste (próximo às desembocaduras dos rios São João de Meriti, Sarapuí e Iguaçu), e decrescem quando analisados em direção ao canal central e à entrada da baía.

Alguns dos rios que formam a bacia da Baía da Guanabara alimentam a baía com elevado número de poluentes, principalmente os rios que atravessam grandes áreas urbanas com elevada densidade demográfica, pois recebem carga muito alta de efluentes provenientes de esgoto doméstico, lixo e descartes industriais irregulares.

LIMA (2006), lista que nesta categoria, estão incluídos os afluentes da costa oeste da baía, que vão do Canal do Mangue ao Canal de Sarapuí, além dos rios Alcântara, Mutondo, Bomba e Canal do Canto do Rio, a costa leste tem a água de melhor qualidade da bacia, sendo fonte de abastecimento público de Niterói e São Gonçalo, com captação no Canal de Imunana (Estação de Laranjal).

Dissertando sobre a condição no sistema da Baía de Guanabara a FEEMA (1998) chega a um resultado acerca de tal assunto onde é possível observar que as variáveis ambientais estão relacionadas às contribuições de cargas poluidoras provenientes da bacia

hidrográfica, às condições de maré e às condições meteorológicas. A poluição é significativa nas áreas de baixa circulação de água na baía e perto da foz dos rios com elevada carga poluidora, principalmente de esgotos domésticos. Em geral, a qualidade da água é pior durante a estação chuvosa do que na estação seca, devido à baixa cobertura de rede de esgotos da bacia contribuinte. A concentração de matéria orgânica e nutriente é mais baixa na região que se estende da boca da baía até a região norte-nordeste e é mais alta na área oeste interior à baía, no canal entre as ilhas do Governador e do Fundão.

Tendo em vista que a qualidade da água na Baía de Guanabara vem de uma forte relação com o processo de eutrofização que segundo ANDREOLI & CARNEIRO (2005), *apud* LIMA (2006) causa um desequilíbrio no ecossistema aquático que altera vários atributos físicos, químicos e biológicos. Com o aumento de nutrientes disponíveis, originam-se *blooms* de algas que provocam o aumento da produtividade primária devido ao enriquecimento das águas por matéria orgânica biodegradável e nutrientes, como Nitrogênio e Fósforo.

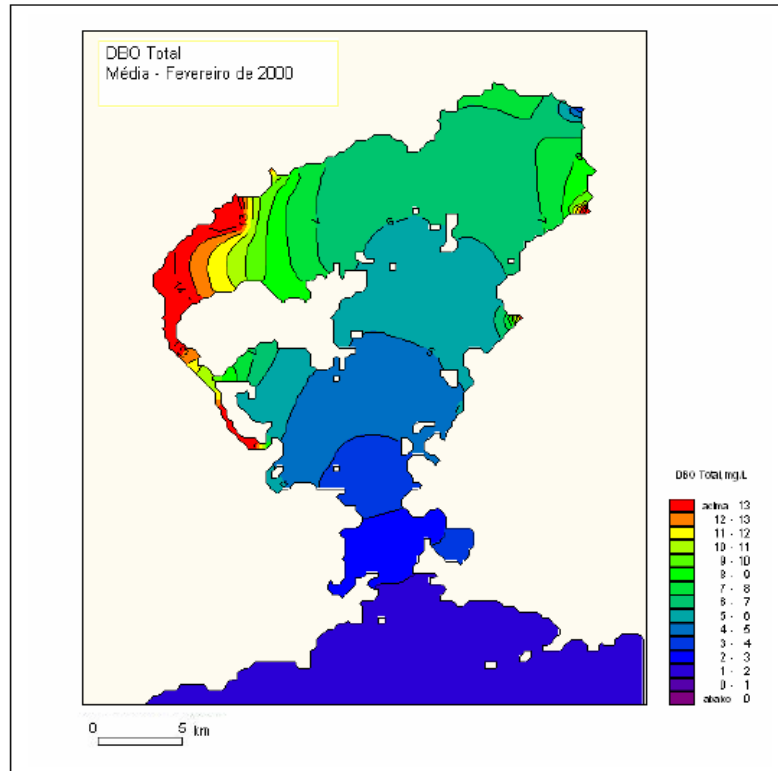
JICA (2002) afirma que a carga poluidora diária lançada na Baía de Guanabara, para o ano 2000, foi estimada em 275 toneladas de DBO, 72 toneladas de Nitrogênio Total e 18,4 toneladas de Fósforo Total.

Em dissertação de doutorado LIMA (2006) faz um estudo em que usa o regime de marés, lançamento de esgoto ao redor da baía e as correntes marítimas, confrontados com dados publicados pelo INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente do estado do Rio de Janeiro) em relatórios da FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), que demonstram os dados para DBO, Clorofila, Nitrogênio Total, Nitrogênio Inorgânico, Fósforo Total e Fosfato.

Na Figura 8 é possível observar a variação de DBO Total ao redor da baía, em seguida, na Figura 9, encontra-se o comportamento e a concentração de Fósforo na baía. Posteriormente, na Figura 10, o Nitrogênio é utilizado como parâmetro para se medir o nível de poluição na Baía de Guanabara.

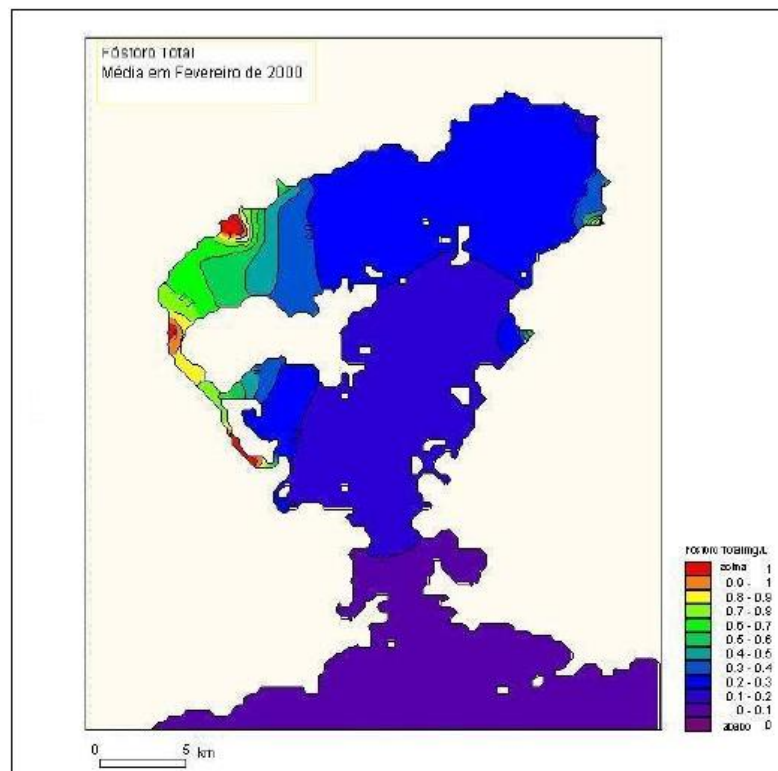
LIMA (2006) distribui em números e afirma que a carga total de DBO convertida em Carbono Detrito é 100.484 ton e a produtividade primária líquida em termos de Carbono é 296.850 ton. Chegando a conclusão que, a carga de Carbono, proveniente da bacia hidrográfica contribui com apenas 25,4 % da carga total de Carbono da Baía de Guanabara. Em áreas próximas aos rios poluídos, na parte oeste e noroeste, a contribuição relativa é maior do que 25,4%, enquanto que, no centro da baía, esta relação entre carga lançada e carga total é menor.

Figura 8- DBO Total na Baía de Guanabara



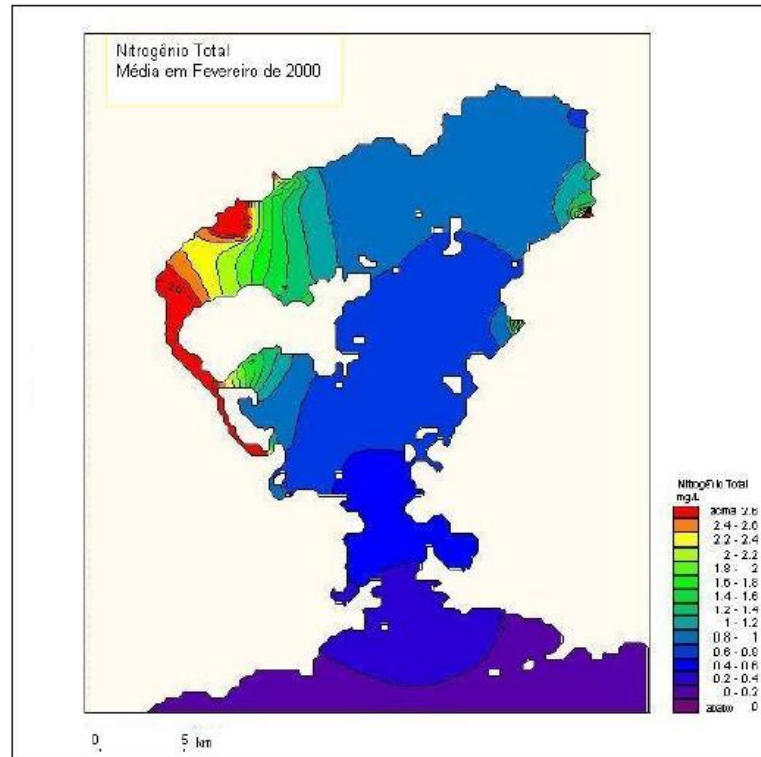
Fonte: Adaptado de LIMA (2006)

Figura 9 – Fósforo Total na Baía de Guanabara



Fonte: Adaptado de LIMA (2006)

Figura 10 – Nitrogênio Total na Baía de Guanabara



Fonte: Adaptado de LIMA (2006)

O balanço de massa para Nitrogênio mostra que a carga proveniente da bacia hidrográfica é de 26.280 ton/ano e que a carga exportada para o Oceano Atlântico é de 22.500 ton/ano, significando que 14,5% da carga lançada, fica retida na baía ou imobilizada a uma taxa de 9,97 ton N/km<sup>2</sup>/ano. A carga total de Fósforo que entra na baía, proveniente da bacia hidrográfica, é estimada em 6.716 ton/ano, das quais 6.149 ton são exportadas para o Oceano Atlântico. O balanço de massa para Fósforo estima uma retenção de 8,4% da carga de Fósforo ou uma imobilização de 1,48 kg P/ km<sup>2</sup>/ano.

Ainda de acordo com a CEDAE (2006) Companhia Estadual de Águas e Esgotos, destaca outros poluentes lançados na baía, como o lançamento diário de 400 toneladas por de esgoto doméstico com pouco ou nenhum tratamento, são lançadas cerca de 64 toneladas diárias de óleos e metais pesados como chumbo, zinco, mercúrio e cromo. É despejado também, 7 toneladas diárias de óleo proveniente de refinarias e postos de gasolina.

SCHEEFFER (2001) É destacado o lançamento uma quantidade de 800 litros de chorume proveniente de lixões, que são lançados diariamente na baía, além de lixo flutuante que causa assoreamento na baía perdendo cerca de 5 cm de profundidade todos os anos.

#### **4.7 – Legislação Ambiental que enquadra a Baía de Guanabara**

No início dos anos 1980 a Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA), órgão normativo e deliberativo do sistema ambiental do Estado do Rio de Janeiro, fez com que a classificação das águas da Baía de Guanabara fosse aprovada, por meio da Diretriz de Classificação das Águas da Baía de Guanabara (DZ-105). O enquadramento aprovado estabeleceu que somente as águas das áreas portuárias dos municípios do Rio de Janeiro e Niterói seriam destinadas a usos menos nobres como navegação e harmonia paisagística. Para o restante da Baía de Guanabara, foram definidos os usos de proteção das comunidades aquáticas e de recreação como usos preponderantes pretendidos.

Dessa maneira, ficam definidos os parâmetros da Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece limites individuais de substâncias em cada uma das classes de águas doces, salobras ou salgadas, mostrados anteriormente pela Resolução CONAMA nº 274/2000 para os padrões de balneabilidade.

#### **4.8 – Plano de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG)**

Tendo em vista que a recuperação da Baía de Guanabara tornou-se um sério problema ambiental, é necessário que sua recuperação seja gerenciada em conjunto com o desenvolvimento de sistemas de esgotamento eficiente a fim de evitar o despejo irregular. É igualmente importante o tratamento de esgotos sanitários ao redor da bacia com a preocupação de reverter o crescente e alarmante processo de poluição e degradação da Baía de Guanabara. O Programa de Despoluição da Baía da Guanabara - PDBG, foi desenvolvido pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro, tratando-se de um conjunto de ações realizadas de maneira integrada, com a CEDAE, o INEA, governo federal e estadual, além de investidores privados com o objetivo de restabelecer a pesca comercial realizada no interior da bacia, a melhoria da balneabilidade das praias localizadas no interior da baía, a redução do surto de doenças de veiculação hídrica e a redução do processo de assoreamento dos rios que a alimentam e o fundo da própria Baía da Guanabara.

Os estudos referentes ao programa de despoluição começaram a ser financiados pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, em conjunto com o Fundo Japonês para Cooperação Internacional – OECF a partir da ECO-92, que ocorreu no Rio de Janeiro em Junho de 1992, de acordo com CARNEIRO (2011), o programa teve impulso no período de 1995 a 1998, onde foram gastos em obras e consultorias cerca de 350 milhões de dólares com o PDBG.

O PDBG tem seu planejamento dividido em fases que segundo GONÇALVES (1998), *apud* CARNEIRO (2011) são as seguintes, a Fase 1 é o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara que é estruturada em cinco componentes:

→ Como primeiro componente, o saneamento básico, que é o abastecimento de água e esgoto Sanitário, representando cerca de 70% do total investido no programa, de forma a suprir os serviços sanitários adequados à população da bacia.

→ O segundo componente é a drenagem urbana.

→ O terceiro componente dispõe sobre os resíduos sólidos visando dar uma forma adequada ao lixo coletado

→ O quarto componente prevê a necessidade de programas ambientais complementares, como controle da poluição industrial, monitoramento ambiental, educação ambiental e reforço institucional.

→ O quinto e último componente da Fase 1 é o mapeamento digital, com o objetivo de atualizar e retificar cadastros imobiliários.

A Fase 2 do programa compreende o Programa de Recuperação Ambiental da Bacia da Baía de Guanabara, que visa complementar as obras realizadas na primeira fase, com foco no controle do uso de recursos naturais além de seu monitoramento, caracterizando a criação de uma gestão ambiental.

E por último temos a Fase 3 do programa que define a criação de Programas Ambientais Complementares, que se destina a complementar as obras constituintes das duas outras fases, com foco no fortalecimento das instituições públicas da área ambiental.

De acordo com CARNEIRO (2011), inicialmente definiu-se, como prazos limites para o alcance dos objetivos traçados, os anos de 2000 e 2010, respectivamente, para os objetivos de curto prazo (conclusão da Fase 1) e médio prazo (conclusão da Fase 2).

#### **4.9 – Sistemas de Despoluição usados no PDBG**

Segundo a FEEMA (1998) na primeira etapa do PDBG pretendia-se seguir o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário do Rio de Janeiro (SANERIO), que foi elaborado em 1978 pela CEDAE, que previa o lançamento de parte dos esgotos originários das bacias contribuintes no Oceano Atlântico e o restante na Baía de Guanabara, com tratamento secundário na maioria das ETE's a serem construídas.

Porém tal Plano Diretor não foi seguido e de acordo com orientações providas do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), na primeira fase do programa, foi

priorizada a construção de rede de esgotos, e implantação de um tratamento primário ao esgoto, com o objetivo de impactar diretamente nos problemas referentes a saúde pública, assim como impedir uma degradação ainda maior na baía.

Segundo LIMA (2006), a opção por implantar apenas o tratamento primário na primeira fase do PDBG, permitia que as futuras expansões das Estações de Tratamento de Esgotos pudessem incorporar, num futuro próximo, mudanças na tecnologia visando aumentar a eficiência de remoção de nutrientes.

FEEMA (1998) afirma que os centros de tratamento previstos no programa foram: Alegria mostrada na Figura 11, Pavuna, Sarapuí, São Gonçalo (Sistema II), Niterói Sul-Icaraí, Ilha do Governador e Paquetá, além do condicionamento adequado do lodo produzido na ETE Penha. Foram executadas, ainda, obras de esgotamento sanitário em 29 favelas da Zona Sul do Rio de Janeiro, Ilha do Governador e Niterói.

LIMA (2006) nos mostra que, com o andamento das discussões acerca do problema de eutrofização da baía, ficou decidida a adoção do *Chemical Enhanced Primary Treatment* (CEPT), que propõe a adição de coagulantes químicos ainda no tratamento primário. Com estudos posteriores pode-se verificar que a adoção de tal tecnologia, privilegiou a redução da área de decantação de sedimentos ao invés da remoção do Fósforo, que ficou limitada a 35%, o que já é um grande avanço uma vez que 75% de tal substância foi removida pelo CEPT.

A Tabela 8 nos mostra as Estações de Tratamento de Esgoto, existentes na Bacia da Baía de Guanabara, construídas a partir da década de 1980 ou com recursos aplicados na primeira fase do PDBG.

Figura 11- ETE Alegria, maior estação em funcionamento do PDBG



Fonte: CEDAE



Tabela 8 – Sistemas de Despoluição usados no PDBG

Bacia de Esgotamento	ETE	Situação atual		
		Vazão Média (L/s)	Capacidade (L/s)	Tipo de Tratamento
Emissário submarino		8000	12000	
Alegria	Alegria	5000	5000	Primário
		2500	2500	Secundário em 2013
Penha	Penha	1600	1600	Secundário
Pavuna-Meriti	Pavuna	1500	1500	CEPT - Sedimentação + floculante químico
		1500	1500	Secundário em 2013
	Acari	210	210	Secundário
Sarapuí	Gramacho	185	185	Lagoas de Estabilização
	Sarapuí	1500	1500	CEPT - Sedimentação + floculante químico
		1500	1500	Secundário em 2013
Bota	Joinville	100	100	Primário
Imboassu	São Gonçalo	120	765	Secundário
Niterói	Icaraí	952	952	CEPT - Sedimentação + floculante químico
	Toque-Toque	260	260	UASB
	Barreto	260	260	UASB
Ilha do Governador	Ilha do Governador	525	525	Secundário
Paquetá	Paquetá	27	27	Secundário + Emissário

Fonte: Elaboração própria usando dados de LIMA (2006) e CEDAE (2013)

A Tabela 9 serve como resumo mostrando o total de esgoto tratado que é lançado na Baía da Guanabara em l/s, mostrando cada tipo de tratamento que o esgoto recebeu antes de ser lançado. Sendo destacados o tratamento primário, o tratamento primário usando CEPT, onde pode ser visto a parcela do esgoto que recebe tratamento se prevendo uma combate à eutrofização, e os esgotos que recebem tratamento de esgoto secundário usando de métodos mais elaborados, buscando maior eficiência no resultado final.

Tabela 9: Lançamento de esgoto tratado na Baía da Guanabara

<b>LANÇAMENTO TOTAL DAS ETE's DO PDBG</b>	
<b>Tipo de Tratamento</b>	<b>Total de esgoto Tratado (l/s)</b>
Lançado ao mar por emissário	8800
Tratamento Primário	5460
Tratamento Primário + CEPT	3952
Tratamento Secundário	8812
<b>TOTAL</b>	<b>27024</b>

Fonte: Elaboração Própria

#### **4.10 – Despolição do Canal do Fundão**

Sendo o Canal do Fundão um dos locais mais poluídos e degradados da Baía de Guanabara, localizado entre a Ilha do Fundão, que abriga a Universidade Federal do Rio de Janeiro, e o Complexo da Maré, conjunto de favelas que abriga cerca de 130.000 habitantes, é local de entrada do Rio de Janeiro, devido sua proximidade com o Aeroporto Internacional do Galeão e às margens da linha vermelha.

Para quem chegava ao Rio de Janeiro era um ponto com odor desagradável e de estética muito denegrada pela grande quantidade de lixo no local, com o objetivo de desassorear o canal e diminuir a poluição do local recorreu-se ao uso de tubos geotêxteis. Uma vez que tal sistema é uma alternativa recente usada principalmente para conter o lodo e sedimentos contaminados oriundos de dragagens de corpos d'água, já usada em vários países e agora aplicada em vários locais do Brasil.

Segundo CASTRO (2005), a principal função dos tubos geotêxteis é permitir uma maior desidratação do material dragado, após contê-lo dentro de sacos com pequenas ou grandes dimensões longitudinais, por isso são denominados tubos. O efluente dos tubos são filtrados nas malhas existentes no próprio geotêxtil feito de tecido de alta resistência, diminuindo assim significativamente alguns parâmetros de poluição das águas, principalmente orgânicos e sólidos em suspensão. A costura do geotêxtil deve ser resistente a pressões, principalmente, durante as operações de bombeamento do material dragado para dentro do tubo.

De acordo com PEREIRA (2012), o excesso de água decorrente do processo de dragagem é drenado através dos poros do geotêxtil, resultando num processo de desidratação efetiva, com conseqüente redução do volume de água. Tal redução permite que cada “geobag”, como é chamado pelo nome comercial, possa ser preenchido por bombeamentos

sucessivos, até que considerável parcela do volume disponível seja ocupado pela fração sólida existente nos sedimentos dragados.

O efluente drenado pelos “*geobags*” poderá retornar ao ambiente de origem após ensaios que confirmem a redução dos níveis de contaminação presente na água resultante do processo para valores inferiores aos indicados pela legislação. Depois do ciclo final de enchimento e desidratação, o material sólido retido continuará a sofrer um processo de consolidação, por desidratação e evaporação da água residual.

Pode-se comparar a disposição dos tubos geotêxteis com um aterro sanitário, uma vez que eles são empilhados com o objetivo de economizar espaço. COELHO (2008) mostra que os tubos devem possuir células previamente preparadas com mantas geotêxteis impermeáveis (geomembranas), bermas e filtros de brita graduada (colchão drenante). Os tubos inferiores são feitos geralmente de não tecido, para estruturalmente suportar as cargas dos tubos superiores. A aplicação de polímero serve para auxiliar no condicionamento do lodo armazenado nos sacos, ou seja, para formar os flocos que permitem a separação prévia entre a parte sólida e a parte líquida do lodo.

Conforme descrito por ALLONDA (2007) o tubo pode ficar exposto às intempéries e à radiação solar, tal qual uma célula de aterro sanitário, o sistema não é afetado significativamente, caso o material geotêxtil tenha uma costura correta e uma malha de filtração com as dimensões apropriadas para as características do sedimento, e quanto maior a radiação solar maior a desidratação do material contido.

Pode-se destacar o uso do tubo geotêxtil como um sistema utilizado em sistemas de despoluição e recuperação ambiental de alguns corpos d’água que apresentam sedimentos contaminados assim como visto no Canal do Fundão, a despoluição do rio do rio *Fox* em *Appleton*, no estado de *Wisconsin* dos Estados Unidos da América, TENCATE (2007) nos mostra que fábricas de papel localizadas ao longo do rio *Fox* contribuíram para a sua contaminação industrial. Atualmente, os tubos geotêxteis estão sendo utilizados para conter e desaguar um volume que varia entre 575.000 e 65.000m<sup>3</sup> de sedimentos contaminados. Unidades geotêxteis com 18,30 m de circunferência foram empilhadas em três e quatro linhas de altura. A operação de dragagem mantém uma vazão de 480m<sup>3</sup>/h. Os sólidos desidratados estão numa percentagem de 50% e a tecnologia de tubos geotêxteis apresentou uma relação custo-benefício maior do que filtros-prensa e outros métodos de desidratação, com os objetivos de acelerar o processo de desidratação e reduzir drasticamente o volume do material

contaminado foi usada tal tecnologia que proporcionou uma economia nos custos de disposição final do lodo e dos sedimentos.

PEREIRA (2012) descreve o processo de instalação dos tubos geotêxteis, denominado pelo nome comercial *geobag* que consta de várias etapas, nas quais são evidenciados o nivelamento, compactação e colocação de uma primeira camada de brita, instalação de geogrelha com o objetivo de facilitar a percolação da água. Acima de uma nova camada de brita, é instalado um geotêxtil não tecido na parte inferior de uma geomembrana, que recebe novamente um geotêxtil não tecido na parte superior, com o objetivo de impermeabilizar e servir de proteção extra no caso da passagem de resíduos tóxicos dos *geobags*. Após nova camada de brita, unidades do *geobag*, são posicionadas. O processo que descreve a instalação pode ser observado nas Figuras 12 e 13.

Figura 12: Preparação da fundação da célula de disposição do tubo geotêxtil



Nivelamento, compactação do solo e colocação da primeira camada de brita

Instalação da Geogrelha



Instalação do geotêxtil não tecido de proteção da face inferior da geomembrana

Fonte: PEREIRA (2012)

Segundo informado pelo portal do Governo do Estado do Rio de Janeiro na internet, em maio de 2009, foi dado início às obras de recuperação ambiental do Canal do Fundão na Baía de Guanabara no Rio de Janeiro, tais obras compreendiam o desassoreamento de 7 km

de extensão do Canal, e uma estimativa de dragagem de aproximadamente 2 milhões e 200 mil metros cúbicos de material, uma vez que o sedimento presente no Canal possuía uma camada de pelo menos quatro metros, a partir do nível da água.

Figura 13: Instalação das células de tubo geotêxtil



Fonte: PEREIRA (2012)

A análise dos sedimentos contaminados em 107 pontos da região além de estudo do solo que receberia os tubos geotêxteis, nos sedimentos a serem tratados foram constatadas a presença de metais pesados como mercúrio, chumbo, cádmio antimônio e outros metais.

PEREIRA (2012) destaca que o processo apresenta como principais vantagens a retenção efetiva da fração sólida dos materiais dragados associada a uma eficiente filtragem dos líquidos efluentes. Face às características da tecnologia, a solução apresenta redução nas áreas requeridas para disposição e redução significativa de prazos em relação às soluções convencionais de disposição em terra por leitos de secagem tendo em vista a aceleração dos

processos de disposição, incluindo interface com as operações de dragagem, e de reaproveitamento futuro e reinserção das áreas utilizadas.

A solução apresentada vem de encontro à resolução de grandes problemas que provêm do atendimento de três objetivos, uma vez que proporciona o armazenamento de grande volume de sedimentos contaminados, mesmo recebendo grandes vazões em um período curto de tempo, possui grande eficiência na contenção e desidratação da massa sólida contida nos materiais dragados, e garante a qualidade do efluente drenado, que é devolvido ao corpo d'água.

Segundo ALLONDA (2012), o projeto de dragagem que utilizou o processo de tubo geotêxteis teve fim em dezembro de 2012 e os bolsões de desassoreamento foram instalados em aproximadamente 56.000 m<sup>2</sup>, e ao final do processo, os “*geobags*”, serviram de base para a construção de um platô a 7,2 metros acima do nível da água, com fins de reurbanização da região.

E segundo a Secretaria do Estado do Rio de Janeiro, o volume final de sedimentos dragados ao longo de 7 km do Canal do Fundão foi da ordem de três milhões de metros cúbicos, e o projeto de reurbanização e revitalização do ecossistema contou com o plantio de mais de 500 mil mudas de plantas, com a revitalização de 400 mil m<sup>2</sup> de áreas degradadas e a recuperação de mais de 33 km<sup>2</sup> de manguezais.

## 5 CONCLUSÕES

Quando o problema da poluição é tratado de forma séria e planos de trabalho são elaborados frente à situação apresentada, bons resultados podem ser colhidos.

Frente ao problema de escassez em que se encontra a água no mundo, devido sua má distribuição e usos indevidos. Sistemas de despoluição de recursos hídricos, são utilizados com o objetivo de reverter o problema apresentado. É evidenciada a importância de uma legislação ambiental forte e uma gestão eficaz e atuante sobre tais recursos.

O estudo de caso apresentado no presente trabalho mostra como o uso de plano de ações como o Plano de Despoluição da Baía de Guanabara, pode reverter situações de elevados níveis de poluição, para níveis mais aceitáveis, número de ETE's distribuídas ao redor da Baía de Guanabara vem crescendo, e ampliações são feitas nas mais antigas, como podemos ver que algumas destas já estão além da primeira fase do plano, o que culmina em reduzir cada vez mais o número de lançamento de poluentes na Baía.

Investimentos estão sendo feitos em maior escala nos últimos anos, onde ações, como a despoluição do Canal do Fundão, que antes era a área mais degradada da Baía, vem sendo financiadas por um maior número de empresas e acordos com os Governos Federal e Estadual, uma vez que a consciência ambiental por parte da população tem aumentado e a maior projeção deste tipo de ação gera bons frutos para os investidores.

Mesmo com a despoluição do Canal do Fundão ter melhorado gradativamente a situação do meio ambiente do local, ações como esta devem continuar a ser adotadas, com o objetivo de recuperar não só a Baía de Guanabara, mas todos os corpos d'água, independente da situação de degradação em que se encontram.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

ALLONDA. Contenção e Desidratação de Lodo e Sedimentos Diversos (apresentação de agosto de 2007), ALLONDA Geossintéticos Ambientais e TenCate Geotube, São Paulo, SP. 2007.

ALLONDA. Uso de geobags na despoluição do Canal do Fundão, ALLONDA Geossintéticos Ambientais e TenCate Geotube, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

AMORIM, Eduardo Lucena Cavalcanti. Tratamento de Efluentes Domésticos e Industriais. UFAL. Maceió, 2011.

ANA, Agencia Nacional de Águas, Ministério do Meio Ambiente. Água na medida certa: A hidrometria no Brasil. Brasília-DF 2012.

ANDRADE, Larice Nogueira, Autodepuração de Corpos d'água. – UFES. Vitória. 2010

ANDRADE, João Bosco, Apostila disciplina Saneamento Básico. Saneamento Básico-Sistema de Esgotamento Sanitário – UCG. Goiânia. 2006.

ARAUJO, Selma Maria. Apostila Engenharia Sanitária e Ambiental – Introdução às ciências do Ambiente para Engenharia. – UFPB. João Pessoa. 1997.

BRAGA, B., Hespanhol, I., Lotufo, J.G., Conejo . Introdução à engenharia ambiental. – São Paulo: Prentice Hall. (2002).

BRAILE, P.M, CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de Tratamento de Águas Residuárias. São Paulo: CETESB, 1993.

BRANCO, Pércio de Moraes (2013). Coisas que você deve saber sobre a água. Disponível em: [www.cprm.gov.br/publique/cgi/cglua.exe](http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cglua.exe). Acesso em 25 de julho de 2013



BRITES, Ana Paula Zubiaurre, Enquadramento de corpos d'água através de metas progressivas, probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica. – USP. São Paulo. 2010.

CARNEIRO, Alessandra Cavalcante. Estudo da poluição e do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, Faculdade Integrada AVM. Rio de Janeiro. 2011.

CASTRO, N. P. B. de. Sistemas tubulares para contenção de lodo e sedimentos contaminados. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, São José dos Campos, SP, Brasil. 2005.

CEDAE, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Rio de Janeiro. Programa de Despoluição da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro. 2006.

CEDAE, Companhia de Água e Esgoto do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em [www.cedae.com.br](http://www.cedae.com.br). Acesso em 22/07/2013.

CEPERJ, Fundação CEPERJ. Anuário estatístico do Rio de Janeiro (2011-2012). Disponível em [www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ceep.html](http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/ceep.html). Acesso em 04/08/2013.

COELHO, Victor. Baía de Guanabara: Uma história de agressão ambiental. Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2007.

COELHO, Frederico Menezes. Avaliação de propostas para garantia do abastecimento de água da região metropolitana oeste do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2008.

CONSTANZI, Ricardo Nagamine, Tratamento de efluentes domésticos por sistemas integrados de lodos ativados e membranas de ultrafiltração visando o reuso da água. – USP. São Paulo. 2007.

FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro. Qualidade de água da Baía de Guanabara (1990/1997). Programa de Despoluição da Baía de Guanabara / Programas Complementares. Rio de Janeiro, 1998. 1.v.

Hynes, H.B.N. *The Ecology of Running Waters*. University of Toronto Press. 1960.

INEA, Instituto Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro. Disponível em [www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br). Acessado em 04/08/2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em 21/07/2013

JICA. Japan Internacional Cooperation Agency. *The Study on Management and Improvement of the Environmental Conditions of Guanabara Bay of Rio de Janeiro, The Federative Republic of Brazil*. Rio de Janeiro, Interim Report. 2002.

JORDÃO, E. D.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 40 Edição, Rio de Janeiro, 932p., 2005.

Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 - Dispõe sobre a “Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento Costeiro de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

LEITE, Alfredo Estevão de Barros. *Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA*. DSSA/ENSP/FIOCRUZ. Rio de Janeiro (2004).

LIMA, Elizabeth Cristina da Rocha. *Qualidade de água da Baía de Guanabara e Saneamento: Uma abordagem sistêmica*. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006

MENEZES, José Carlos. *Uma Análise Científica da Água*. São Cristóvão – SE. 2011

NASCIMENTO, Jailton Ferreira do. Avaliação de membranas de osmose inversa no tratamento de purga de torres de refrigeração de indústria petrolífera com finalidade de reuso. UFF. Niterói. 2004.

OLIVEIRA, Igor Lourenço. Baía de Guanabara: uma jóia abandonada no coração do Rio de Janeiro. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2013.

PACÍFICO, Alan. O espaço da Baía de Guanabara e suas múltiplas tensões. PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2013

(PDRH-BG) Plano Diretor de Recursos Hídricos da Baía de Guanabara, Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005

PEREIRA FILHO, O. & ALVES, J.R.P. **Conhecendo o manguezal**. Apostila técnica, Grupo Mundo da Lama, RJ. 4a ed. 10p. 1999.

PEREIRA, Fernanda Cristina de Souza. Análise da disposição do material dragado no Canal do Fundão e no Canal do Cunha – Rio de Janeiro/RJ. UERJ – Rio de Janeiro. 2012.

Programa Hidrológico Internacional para América Latina e o Caribe (PHI), Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), Disponível em <http://www.unesco.org.uy/phi/pt/areas-de-trabajo/ciencias-naturales/programa-hidrologico-internacional>. Acessado em 05/06/2013.

Relatório do Desenvolvimento Humano (2006). A água pra lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial de água. UNPD. Disponível em: <http://hdr.undp.org>. Acesso em 30 de maio de 2013.

Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986 - Classifica, segundo seus usos preponderantes, em nove classes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.

Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, que Dispõe sobre a classificação dos corpos de água edretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões de lançamento de efluentes. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Resolução CONAMA 274, de 29 de novembro de 2000, que dispõe sobre a balneabilidade. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo, Apostila de Mananciais e Qualidade da água. Disciplina Mananciais e Qualidade da água. UFJF. Juiz de Fora, 2010.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo S.A. Padrões de Lançamento para ETE's. AESBE. Reunião AESBE. 2011.

SCHEEFFER, Milena. Uma Avaliação do Controle Industrial do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara. O caso das 55 indústrias prioritárias. COPPE UFRJ. Rio de Janeiro. 2001

SILVA, Ademir Brandão. Gestão ambiental na indústria: Uma avaliação do comportamento dos setores químico e petroquímico com relação aos passivos ambientais e os problemas causados em torno da Baía de Guanabara. Fundação Oswaldo Cruz. 2011.

SILVA, Tarcísio Cabral. Curso sobre gerenciamento de bacias hidrográficas. Recursos hídricos no Brasil e no mundo. UFPB, 2004.

SILVA, Ana Flávia da Cruz (2013). A água na história do homem. Disponível em [www.colanaweb.com/historia](http://www.colanaweb.com/historia). Acesso em 26 de julho de 2013

SPERLING, Marcos Von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Ed. UFMG, 1996.

SPERLING, Marcos Von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1). 2005.

SPERLING, Marcos Von. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Ed. UFMG, 2007.

TENCATE. Tecidos Industriais: sistema de desidratação – tecnologia de desidratação Geotube®, TenCate Geosynthetics North América, Georgia, USA. 2007.

VICTORINO, Célia Jurema Aito, PLANETA ÁGUA MORRENDO DE SEDE, UMA VISÃO ANALÍTICA NA METODOLOGIA DO USO E ABUSO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Ed. PUCRS, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2007.