

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA DESINFECÇÃO MEDIANTE
USO DE CLORO GÁS NA ETE INSULAR – FLORIANÓPOLIS, SC.**

Catherine Diniz dos Santos

Orientador: Maria Eliza Nagel Hassemer

2014/1





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

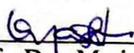


AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA DESINFECÇÃO MEDIANTE
USO DE CLORO GÁS NA ETE INSULAR – FLORIANÓPOLIS, SC.

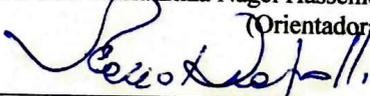
CATHERINE DINIZ DOS SANTOS

Trabalho submetido à banca examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. Maria Eliza Nagel Hassemer
(Orientadora)



Prof. Dr. Flávio Rubens Lapolli
(Membro da Banca)



Eng. MSc Felipe Gustavo Trennepohl
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/ 2014.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus que sempre ilumina e guia meus passos me dando fê e coragem para eu alcançar todos os objetivos da minha vida e para enfrentar todos os obstáculos.

Agradeço à minha orientadora, Maria Eliza Nagel Hassemer, por sempre me receber de forma carinhosa, amiga e sempre sanar minhas dúvidas de forma rápida e objetiva.

Agradeço ao engenheiro Felipe por me dar a oportunidade de realizar o TCC na CASAN e por sua paciência, gentileza e disposição em sempre me ajudar. Agradeço aos funcionários do setor SEOPE e ao Laboratório Regional de Esgotos que me apoiaram na realização do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço aos meus pais, José Luiz e Margarete, que sempre me deram a oportunidade dos estudos, apoiando-me e dando carinho nessa longa caminhada.

Agradeço aos meus irmãos André e Marcela que me apoiaram nos estudos e sempre tinham um ombro fraterno pra me acolher.

Agradeço aos meus amigos e colegas de faculdade por estes bons anos vividos dentro da UFSC. Em especial, um muito obrigada à minha amiga Juliana pela amizade! Apesar de estarmos distantes, você se faz presente, dando força e me apoiando.

Agradeço ao grande amor da minha vida, meu noivo, Bruno Müller dos Anjos, que sempre esteve presente em toda minha faculdade, ajudando-me nos estudos, dando-me forças para persistir, acalmando-me nos momentos difíceis. Faltam palavras pra dizer o quanto sou grata por ter você ao meu lado.

Por fim, agradeço também aos demais professores, colegas e amigos que foram importantes nessa conquista!

Muito Obrigada!

“Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é pra quem é corajoso o suficiente para se arriscar e humilde o bastante para aprender” Clarice Lispector.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo avaliar o processo de desinfecção na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Insular, localizada em Florianópolis/SC, que possui uma unidade de desinfecção a qual utiliza como agente desinfetante o cloro gás. Em Santa Catarina não há um padrão normativo para o lançamento de coliformes fecais em efluentes, há apenas para o corpo receptor, no sentido de classificar este quanto à balneabilidade. Neste caso, a Resolução CONAMA 274/2000, que classifica como satisfatória para o contato primário as águas com o máximo de 800 NMP/100mL de *Escherichia Coli*. Desta forma, a CASAN definiu como meta alcançar o padrão equivalente ao da balneabilidade (800 NMP/100mL) no efluente tratado para a ETE Insular, pois assim há garantia que a referida unidade não causará prejuízos à balneabilidade em qualquer momento. Este trabalho avaliou a eficiência da desinfecção através de diferentes dosagens de cloro gás na ETE, com auxílio de coletas e de análises laboratoriais de cloro residual, colimetria, pH e turbidez. O estudo permitiu encontrar uma dosagem ideal que otimiza, ao mesmo tempo, tanto os níveis desejáveis para a desinfecção quanto os custos relacionados a esse processo, bem como propôs melhorias nas unidades de desinfecção.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção por cloro gás, coliformes fecais, *Escherichia Coli*, cloro residual.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the disinfection process in the Wastewater Treatment Plant (WWTP) Insular, located in Florianópolis / SC, which has an unit that uses chlorine gas as a disinfectant agent. In the State of Santa Catarina there isn't a normative standard for the discharge of fecal coliforms in effluents, just to the receiver body of water, in order to classify this as bathing area. In this case, the CONAMA 274/2000 Resolution, which ranks as satisfactory for primary contact waters with maximum 800 NMP/100mL of *Escherichia Coli*. Thus, CASAN set a goal to reach the equivalent of bathing (800 NMP/100mL) in treated effluent for Insular ETE standard because that way it can be ensured that this WWTP will not cause harm to a bathing area at any time. This study evaluated the efficiency of disinfection by different dosages of chlorine gas at WWTP, with the aid of collection and laboratory analysis of residual chlorine, colimetric analysis, pH and turbidity. The research allowed to identify the ideal dosage which optimizes, at the same pace, both the desirable disinfection levels and the costs related to this process, along with improvement proposals in the disinfection units.

KeyWords: Disinfection with chlorine gas, fecal coliforms, *Escherichia Coli*, residual chlorine.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	HIPÓTESES	2
3	OBJETIVOS	2
3.1	Objetivo geral	2
3.2	Objetivos específicos	2
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1	Esgoto Sanitário.....	3
4.1.1	Histórico do Saneamento	6
4.2	Saúde x Saneamento	9
4.3	Tratamento de Esgotos	11
4.3.1	Sistemas de Tratamento de Esgotos	12
4.4	Agentes Patogênicos e Organismos Indicadores	16
4.5	Desinfecção	18
4.5.1	A importância da Desinfecção	18
4.5.2	Alternativas de Desinfecção.....	21
4.6	Cloro.....	23
4.6.1	Histórico.....	23
4.6.2	Características do Cloro	23
4.6.3	Principais Compostos.....	26
4.6.4	Cloro Gasoso.....	26
4.6.5	Cloro Livre disponível	27
4.6.6	Cloro Combinado disponível	27
4.6.7	Demanda de Cloro.....	28
4.6.8	Cloro Residual.....	28
4.6.9	Princípios da Desinfecção por Cloro.....	29
4.6.10	Fator CT	30
4.6.11	Escolha da Dosagem ideal.....	31

4.6.12	Sistema de Cloração.....	33
4.6.13	Descloração.....	37
4.6.14	Custo da Desinfecção por Cloração.....	38
4.6.15	Formação de trihalometanos (THMs).....	38
4.7	Toxicidade.....	41
4.8	Legislação.....	42
4.8.1	Exemplos de Legislação Nacional e Internacional.....	45
5	ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO JÁ AVALIADAS PARA A ETE INSULAR.....	46
6	METODOLOGIA.....	51
6.1	Caracterização da área.....	52
6.2	Dosagem de Cloro.....	54
6.3	Decantadores.....	59
6.4	Tanque de Água de Serviço.....	60
6.5	Análises em laboratório.....	62
6.5.1	Coliformes.....	62
6.5.2	pH e Turbidez.....	63
6.6	Tempo de Contato.....	64
6.7	Teste de Toxicidade.....	66
7	ANÁLISES E RESULTADOS.....	68
7.1	Teste de Toxicidade.....	75
8	ANÁLISE DE CUSTO X BENEFÍCIO.....	76
9	ALTERNATIVAS PROPOSTAS.....	79
10	CONCLUSÃO.....	81
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

Os esgotos sanitários contêm uma série de organismos patogênicos que afetam a saúde humana, caso o homem ou os animais entrem em contato com esses agentes. A transmissão de organismos patogênicos ao homem pode ocorrer por ingestão direta de água não tratada, ingestão direta de água tratada de má qualidade, ingestão de alimentos contaminados, ou pela infecção resultante do contato da pele com água ou solo contaminados (CHERNICHARO, 2001). Esses meios de transmissão mostram o quão importante é controlar a qualidade das águas utilizadas para recreação, das fontes de abastecimento de água para consumo humano e irrigação, assim como dos alimentos e do solo. As bactérias, os vírus, protozoários e helmintos patogênicos são transmitidos ao ser humano através da contaminação dos corpos d'água e do solo por excretas e, em especial, pelos esgotos sanitários (GONÇALVES, 2003).

Os tratamentos de esgotos convencionais não são eficientes no processo de eliminação desses organismos. A forma de implantar barreiras contra estes agentes é através do processo de desinfecção. A desinfecção de esgotos tem por objetivo a inativação seletiva dos organismos que ameaçam a saúde humana. Porém, de acordo com Bassani (2003), a grande maioria das estações de tratamento de esgotos no Brasil não possui uma etapa específica para a desinfecção e não há um padrão de lançamento de efluentes para coliformes, ou outro organismo indicador.

Existem várias formas de desinfecção, sendo elas naturais ou através de processos químicos como: a cloração, a radiação ultravioleta e a ozonização.

O cloro, tanto em estado líquido como em gasoso, é o agente desinfetante mais econômico e difundido, sendo muito eficiente na inativação de organismos patogênicos, como as bactérias e os vírus, presentes em esgotos sanitários. Entretanto, alguns de seus compostos possuem a capacidade produzir subprodutos que podem ser nocivos ao homem e ao meio ambiente (GONÇALVES, 2003).

No presente estudo, avaliou-se em escala real a eficiência da desinfecção por cloro gás na estação de tratamento de esgotos (ETE) Insular em Florianópolis-SC. A eficiência foi calculada para diferentes dosagens de cloro gás e em seguida através de análises laboratoriais de cloro residual, colimetria, pH e turbidez, a fim de encontrar a dosagem

ótima de cloro gás que atinja a desinfecção, adotando como parâmetro o máximo de 800 NMP *Escherichia Coli*/100mL. Este valor partiu da referência da Resolução CONAMA 274/2000, que classifica como satisfatória para contato primário água com o número máximo de 800 NMP de *Escherichia Coli*/100mL, isto no corpo receptor.

Visto que não há um padrão normativo de lançamento de coliformes fecais, a CASAN adotou como meta que o efluente final da ETE Insular atingisse o padrão equivalente ao da balneabilidade. Após diversas análises, foi possível definir a dosagem ótima de cloro (em Kg/dia), bem como o custo da desinfecção desta ETE (R\$/mês e R\$/m³), além disso, foi realizado um teste de toxicidade com o intuito de verificar o grau de toxicidade deste efluente, de acordo com a Portaria N° 017/2002 da Fundação de Meio Ambiente.

2 HIPÓTESES

O cloro gás atua de forma eficaz na desinfecção do esgoto tratado da Estação de Tratamento de Esgotos Insular, atendendo assim os padrões da Resolução CONAMA 274/2000? Está havendo atualmente superdosagem ou subdosagem de cloro gás aplicada na unidade de desinfecção da ETE Insular? A implementação de uma melhoria em algum ponto do processo de desinfecção diminuiria o consumo de cloro gás atendendo ao critério de 800 NMP de *Escherichia Coli*/100mL?

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar a eficiência do processo de desinfecção, mediante o uso de cloro gás, no esgoto previamente tratado pelo sistema de lodos ativados por aeração prolongada na Estação de Tratamento de Esgotos Insular – Florianópolis/SC.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficácia de diferentes dosagens de cloro gasoso.
- Fazer a correlação entre cloro residual e colimetria.
- Buscar a melhor relação custo x benefício no processo de desinfecção por cloro gás na ETE Insular.

- Determinar o custo da desinfecção por metro cúbico de efluente tratado.
- Realizar um teste ecotoxicológico com a dosagem ótima obtida.
- Propor alternativas e/ou melhorias para o processo de desinfecção na ETE Insular.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Esgoto Sanitário

Esgoto é classificado segundo Jordão e Pessôa (2009) em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. Os esgotos sanitários são um conjunto de esgotos domésticos, mais uma quantidade de águas pluviais, águas de infiltração e uma quantidade quase desprezível de contribuições industriais, tendo características bem definidas. Tratando-se de esgoto doméstico, estes são compostos por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, águas de lavagem e são originados das residências, comércios, instituições as quais possuem banheiros, lavanderias, cozinhas e todo local onde se utilize a água com fins domésticos.

Esgoto Sanitário é definido por Gonçalves e Souza (1997) como sendo águas de abastecimento (99,92%) que foram utilizadas pelo homem em residências, comércio e indústria e foram acrescentados materiais sólidos, semissólidos e líquidos totalizando aproximadamente 0,08% do esgoto, sendo que estas substâncias, muitas delas podem ser patogênicas ou poluidoras, as quais alteram suas características físicas, químicas e biológicas. Os esgotos recebem também contribuições irregulares como águas de infiltração através das juntas, conexões e onde a tubulação apresenta mal estado de conservação. Além disso, podem receber também contribuições de origem industrial, as quais muito contribuem para determinar suas características.

De acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA (2006), os esgotos domésticos possuem características físicas, químicas e biológicas. As principais características físicas são: matéria sólida, cor, turbidez, temperatura, odor e variação de vazão.

- Matéria Sólida: os esgotos domésticos possuem 0,1% de matéria sólida e 99,9% de água.
- Temperatura: os esgotos possuem temperatura um pouco acima das águas de abastecimento e a sua velocidade de

decomposição é maior com o aumento da temperatura. De acordo com Jordão e Pessôa (2011), a temperatura típica dos esgotos é entre 20 a 25 °C.

- Odor: é proveniente dos gases contidos nos esgotos formados pelo processo de decomposição. O odor de mofo caracteriza um esgoto novo, já o odor de ovo podre é característico de esgoto velho ocasionado pelo gás sulfídrico.
- Cor e Turbidez: A cor acinzentada no esgoto contendo alguma turbidez indica um esgoto fresco, já a cor preta caracteriza um esgoto velho.
- Variação de vazão: característica que varia de acordo com os costumes dos habitantes. É estimado que para cada 100 litros de água consumida, 80% são direcionados para a rede de esgoto.

Com relação às características químicas dos esgotos domésticos, ainda de acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA (2006), as principais são: matéria orgânica e matéria inorgânica.

- Matéria Orgânica: 70% dos sólidos no esgoto possuem origem orgânica. Sendo, geralmente, formados por uma combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e algumas vezes com nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídos por compostos de proteínas (entre 40 a 60%), de carboidratos (entre 25 e 50%), gorduras e óleos (10%) e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, entre outros.

Segundo Jordão e Pêsoa (2011), as proteínas produzem nitrogênio e contêm carbono, hidrogênio, oxigênio, fósforo, enxofre e ferro. Estes são os principais componentes do organismo animal e são encontradas também em plantas. É a partir do enxofre fornecido das proteínas que é gerado o gás sulfídrico presente nos esgotos.

Os carboidratos são compostos por carbono, hidrogênio e oxigênio. São as primeiras substâncias a serem decompostas pelas bactérias formando ácidos orgânicos, razão pela qual os esgotos mais velhos possuem maior acidez. Exemplos de carboidratos: açúcares, amido, celulose e fibra de madeira.

A gordura é caracterizada pela presença de matéria graxa, óleos e substâncias semelhantes encontradas no esgoto. A gordura está sempre presente no esgoto doméstico devido ao uso de manteiga e óleos vegetais, de carne, entre outros. É comum uma concentração de gordura nos esgotos de 100mg/L, medida em termos de óleos e graxas solúveis em hexano. Pode variar entre 50 e 150 mg/L.

Os surfactantes, compostos formados por moléculas orgânicas, possuem a propriedade de formar espuma no corpo receptor ou na estação de tratamento de esgoto. São encontrados em detergentes e formam espumas difíceis de serem quebradas. O tipo de surfactante mais comum é o ABC – alquil-benzeno-sulfonado, sendo um detergente sintético que possui alta resistência à ação biológica. Este tipo de detergente vem sendo substituído pelo “LAS”- alquil-sulfonado-linear os quais são biodegradáveis.

Os fenóis são compostos orgânicos provenientes principalmente de despejos industriais e que possui como característica causar gosto à água, em especial à água clorada.

- **Matéria Inorgânica**

Caracterizada pelas areias e substâncias minerais dissolvidas.

Tratando-se da composição dos esgotos, mais especificamente na composição microbiológica, os esgotos sanitários são compostos por bactérias, protozoários, helmintos e vírus. A Tabela 1 apresenta as ocorrências típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgotos brutos:

Tabela 1 - Ocorrências típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgotos brutos.

Microrganismo	Contribuição per capita (org/hab.d)	Concentração (org/100 ml)
Bactérias		
Coliformes totais	10^9 a 10^{12}	10^6 a 10^{10}
Coliformes fecais	10^8 a 10^{11}	10^6 a 10^9
<i>Escherichia coli</i>	10^8 a 10^{11}	10^6 a 10^9
<i>Salmonellae</i> spp.	10^5 a 10^6	10^2 - 10^3
<i>Streptococos fecais</i>	10^8 a 10^9	10^5 a 10^6
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10^4 - 10^5	10^1 a 10^2
Protozoários		
Cistos de <i>Giardia</i> sp.	10^5 a 10^7	10^2 a 10^4
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	10^4 a 10^5	10^1 a 10^2
Helmintos		
Ovos de helmintos	10^4 a 10^6	10^1 a 10^3
Vírus		
Vírus	10^5 a 10^7	10^2 a 10^4

Fonte: Gonçalves (2003).

De acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA (2006), as bactérias são organismos presentes nos esgotos considerados como os

mais importantes, pois elas agem tanto na natureza como nas estações de tratamento decompondo e estabilizando a matéria orgânica.

Tratando-se dos microrganismos indicadores de contaminação, o Manual de Saneamento da FUNASA (2006) menciona que existem vários organismos os quais na presença num corpo d'água indicam uma poluição. Porém quando se refere à indicação de contaminação de origem fecal, é comum a utilização de bactérias do grupo coliforme. As bactérias do grupo coliforme são típicas do intestino do homem e de outros animais mamíferos e estão presentes nas fezes humanas, totalizando de 100 a 400 bilhões de coliformes/hab.dia. São de simples determinação e são utilizadas como referência para indicar e medir uma poluição fecal, pois, por segurança, admite-se que na presença de bactérias do grupo dos coliformes existem organismos patogênicos e seria muito dificultosa e financeiramente inviável a realização de análises para determinar a presença de patogênicos no esgoto.

4.1.1 Histórico do Saneamento

De acordo com Nuvolari (2003), a história do saneamento remota de 3750 a.C., em Nipur e na Babilônia onde havia a preocupação com a coleta dos esgotos sanitários, através da construção de galerias de esgotos. Em 3100 a. C. já existia o emprego de manilhas cerâmicas para a coleta de esgoto. Entretanto, consoante Tsutiya e Sobrinho (2011) no século 6 a.C., a Cloaca Máxima de Roma foi considerada o primeiro sistema de esgoto planejado e implantado no mundo, a qual recebia parte dos esgotos domésticos das áreas ao redor do fórum Romano, além de promover a drenagem superficial, controlando assim a malária.

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011) em 1596, a privada com descarga hídrica foi criada por Sir John Harington, entretanto seu uso demorou a ocorrer e se propagar. Na idade média não houve grandes realizações em termos de saneamento, o que resultou em grandes epidemias na Europa, entre os séculos XIII e XIX (Sawyer e McCarty apud Nuvolari, 2003). Entre 1345 e 1349, houve uma pandemia de peste bubônica na Europa a qual culminou na morte de 43 milhões de pessoas, onde existia na época uma população mundial de 400 milhões (NUVOLARI, 2003).

Em Londres, na Inglaterra, somente a partir de 1815, os esgotos passaram a ser lançados nas galerias pluviais, assim como em Hamburgo, na Alemanha, em 1842, no Rio de Janeiro em 1857, em

Paris, na França, em 1880, sendo denominado de sistema unitário. Em 1879, foi concebido nos Estados Unidos o sistema separador absoluto na cidade de Memphis e a partir de então muitos dos sistemas implantados utilizaram este tipo de coleta, separando assim as águas residuárias das águas das chuvas, reduzindo assim os portes das obras e consequentemente diminuindo custos (TSUTIYA E SOBRINHO, 2011).

No Brasil, com a vinda da corte portuguesa em 1808, em apenas duas décadas, a população do Rio de Janeiro duplicou para aproximadamente 100.000 habitantes em 1822 e em 1840 passou para 135.000. Entretanto, o saneamento não acompanhou o crescimento populacional. As instalações sanitárias eram localizadas nos fundos das casas e as excretas eram armazenadas em barris e quando estes ficavam cheios eram recolhidos pelos escravos e despejados na atual Praça da República ou na beira-mar, onde eram lavados. Entre 1830 a 1851, ocorreram vinte e três epidemias letais na cidade, principalmente de febre amarela (PAULI, 2008).

Em 1857 foi implantada a primeira rede de esgotos do país, na cidade do Rio de Janeiro, entre um contrato firmado entre o Imperador D. Pedro II e uma empresa Inglesa (NUVOLARI, 2003). Entre os séculos XIX e XX, o Brasil era conhecido no exterior por ser um local onde proliferavam epidemias de febre amarela, varíola e peste bubônica. As cidades eram grandes viveiros de ratos, pernilongos e outros vetores de doenças. Em 1903, no Rio de Janeiro, Oswaldo Cruz, médico especializado em saúde pública, iniciou um trabalho para erradicar estas epidemias. Em 1907, o sanitarista Saturnino de Brito iniciou obras de saneamento em Santos, São Paulo, onde um de seus projetos é a rede de canais de drenagem de Santos, construída para secar terras encharcadas onde proliferavam mosquitos transmissores da febre amarela. Em 1930, todas as capitais possuíam sistemas de distribuição de água e coleta de esgotos, devido principalmente aos esforços de Saturnino de Brito (PAULI, 2008).

De acordo com Rezende e Heller (2002), Saturnino de Brito atuou no saneamento do Brasil entre os períodos de 1893 a 1929. Em 1918, o escritor Monteiro Lobato destaca-se como um dos principais colaboradores da liga Pró-Saneamento, através da divulgação de histórias que traduziam a concepção daquela época sobre a relação saúde-desenvolvimento, na qual a doença representava o maior desafio ao desenvolvimento econômico. Em 1919, houve a criação do

Departamento Nacional de Saúde Pública (DNSP), contando com um fundo especial para o financiamento de obras de saneamento. Já em 1937, ocorreu a criação do Departamento Nacional de Saúde (DNS). No ano de 1959, a SUDENE foi criada propiciando nova dinâmica ao financiamento dos serviços de saneamento do Brasil.

No Regime Militar, em 1971, é instituído o PLANASA – Plano Nacional de Saneamento, com o objetivo de organizar uma sistemática de financiamento do setor com recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS – o plano estabeleceu a prática de concessão dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário às companhias estaduais de saneamento (BARROS et al., 1995). Recentemente foi criada a Lei do Saneamento – 11445/07, a criação do Ministério das Cidades e a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

De acordo com Fernandes (2000), analisando os acontecimentos históricos, percebe-se que na antiguidade as maiores preocupações eram com as obras de esgotamento pluvial, devido à falta de peças sanitárias com descarga hídrica e também pela ignorância dos povos sobre a gravidade dos rejeitos domésticos. Na idade média não houve nenhuma evolução em termos de saneamento os quais promoveram as devastas doenças deste período. Após o renascimento e o avanço tecnológico e científico, além do surgimento da água encanada e das peças sanitárias com descarga hídrica, incorreram na consciência do homem a necessidade de implantar sistemas eficazes de saneamento, afastando os esgotos da população e realizando o abastecimento de água potável.

Panorama atual do Saneamento

De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de água e esgoto do Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS) em 2012, a região Sul do Brasil de onde pertence a cidade de Florianópolis, conta com um índice de atendimento com rede de água de 87,2% da população total e 97,2 % da população urbana. Já o atendimento com rede de esgoto era somente 36,6% da população total e 47,2% da população urbana. Com relação ao tratamento de esgoto na região Sul, 36,2% do que era coletado era tratado e 79,7% de todo o esgoto gerado era tratado.

Com relação ao cenário brasileiro em 2012, 48,3% da população total e 56,1% da população urbana era atendida com rede de esgoto. Dos

esgotos gerados, apenas 38,7% era tratado e 69,4% do esgoto coletado era tratado. A Tabela 2 apresenta os quantitativos citados:

Tabela 2 - Níveis de Atendimento com água e esgotos dos municípios cujos prestadores de serviços são participantes do SNIS em 2012, segundo região geográfica e Brasil.

Região	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
	(IN ₀₅₅)	(IN ₀₂₃)	(IN ₀₅₆)	(IN ₀₂₄)	(IN ₀₄₆)	(IN ₀₁₆)
Norte	55,2	68,6	9,2	11,9	14,4	85,1
Nordeste	72,4	89,5	22,2	29,4	31,0	81,2
Sudeste	91,8	97,0	75,4	80,3	42,7	63,6
Sul	87,2	97,2	36,6	42,7	36,2	79,7
Centro-Oeste	88,0	96,5	42,7	47,1	44,2	90,0
Brasil	82,7	93,2	48,3	56,1	38,7	69,4

Fonte: SNIS (2012).

Os mesmos índices citados acima são apresentados para o município de Florianópolis, o qual possuía em 2012, 53,11% da população total e 55,20% da população urbana atendida pela rede de esgoto. De acordo com a Tabela 3, 100% dos esgotos coletados eram tratados e apenas 38,97% do que era gerado era tratado.

Tabela 3 - Níveis de Atendimento com água e esgotos do município de Florianópolis.

FLORIANÓPOLIS					
Índice de atendimento com rede de água		Índice de atendimento com rede de esgotos		Índice de tratamento de esgotos	
População total	População urbana	População total	População urbana	Esgoto coletado	Esgoto gerado
%	%	%	%	%	%
100	100	53,11	55,20	100	38,97

Fonte adaptada: SNIS (2012).

4.2 Saúde x Saneamento

Leme (1982) menciona que o saneamento está diretamente relacionado à defesa da saúde pública, pois o mesmo possui como objetivo a proteção da saúde humana através de meios os quais controlem o manejo dos recursos ambientais. A Organização Mundial da Saúde define saúde pública como sendo a ciência e a arte de evitar doenças, e conseqüentemente prolongando assim a vida e promovendo a saúde e a eficiência através dos esforços advindos das comunidades.

A promoção do saneamento segundo Barros et al. (1995), se dá através de um conjunto de fatores, os quais são compostos pelas infra-estruturas físicas – obras e equipamentos – e pela estrutura educacional, legal e institucional, os quais contemplam:

- Os serviços de abastecimento de água com qualidade e quantidade que garantam a saúde e o conforto da população;
- Coleta, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários provenientes das atividades doméstica, comercial e de serviços, industrial e pública;
- Coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos sólidos;
- Drenagem urbana, controlando os empoçamentos e inundações;
- Controle de vetores de doenças transmissíveis;

O Saneamento está diretamente ligado à saúde. São inúmeras as doenças infecciosas e parasitárias que possuem no meio ambiente uma fase de seu ciclo de transmissão, como, por exemplo, uma doença de veiculação hídrica, com transmissão feco-oral. Portanto a intervenção no meio ambiente, através da implantação de um sistema de saneamento, poderia impedir o ciclo de transmissão de determinada doença. O controle da transmissão de doenças vai além dos serviços médicos e de saneamento, é preciso que haja uma campanha promovendo a educação sanitária, adotando-se hábitos higiênicos como a utilização e manutenção adequadas das instalações sanitárias e a melhoria da higiene pessoal, doméstica e dos alimentos (BARROS et al., 1995).

De acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA (2006), doenças como a cólera, leptospirose e a dengue têm agravado o quadro epidemiológico do Brasil, ocasionadas pela falta de saneamento adequado. Os déficits de saneamento são centralizados, principalmente nos bolsões de pobreza. Investir em saneamento é sinônimo de economia na saúde, pois através de dados divulgados pelo Ministério da Saúde, pode-se afirmar que para cada R\$1,00 investido no setor de saneamento, economiza-se R\$4,00 na área de medicina curativa. As doenças parasitárias e infecciosas, provocadas pelo saneamento

inadequado podem incorrer na inatividade do homem ou diminuir sua potencialidade para o trabalho.

Portanto, com a construção de um sistema de esgotos sanitários em uma comunidade, tem-se como consequência:

- Melhoria das condições sanitárias locais;
- Conservação dos recursos naturais;
- A eliminação de fontes de poluição e contaminação;
- Eliminação de problemas estéticos;
- A melhoria do potencial produtivo do ser humano;
- Diminuição de doenças relacionadas à água contaminada por dejetos;
- Diminuição dos recursos aplicados no tratamento de doenças;
- Redução de custos do tratamento de água para abastecimento, devido à poluição dos recursos hídricos (BARROS et al., 1995).

4.3 Tratamento de Esgotos

O crescimento da população mundial tem exigido uma demanda maior de água, seja ela potável, como de lazer, bem como para fins agrícolas. Em consequência disso, há uma maior geração de esgotos, o que, pela falta de saneamento básico, uma vez que são lançados em corpos d'água sem tratamento, promove a exposição do homem, dos animais e das plantas a esses dejetos (CHERNICHARO, 2001).

De acordo com Nuvolari (2003), lançar esgotos sanitários em corpos hídricos sem um tratamento preliminar, pode provocar uma descaracterização da qualidade da água, ameaçando assim a saúde da população. Entretanto, a relação carga poluente lançada pode ou não ser prejudicial dependendo da vazão do corpo d'água, portanto a escolha do nível de tratamento para um determinado tipo de despejo sanitário irá depender da análise das condições locais.

O tratamento dos esgotos sanitários baseia-se na remoção de matérias orgânicas e inorgânicas e de microrganismos patogênicos, os quais estão presentes ou em suspensão ou dissolvidos na água. São utilizados processos físicos, químicos e biológicos a fim de remover estes materiais. Além disso, os sistemas podem ser classificados através da sua eficiência ou grau de tratamento, segundo uma ordem crescente de eficiência em preliminares, primários e secundários. Os processos físicos empregados são: Gradeamento, Mistura, Flocculação,

Sedimentação, Flutuação, Elutriação, Filtração à vácuo, Transferência de calor, e Secagem. Os processos químicos empregados são: Precipitação Química, Transferência de gases, Adsorção, Desinfecção e Combustão. Os processos biológicos realizam a decomposição de matéria orgânica através do metabolismo celular dos microrganismos, além de promover a coagulação e a remoção de sólidos coloidais, não sedimentáveis. (LEME,1982).

Segundo Gonçalves e Souza (1997), tratar esgoto sanitário consiste na inserção de energia para separar os poluentes e contaminantes das águas de abastecimento pelo uso que delas foi feito. Além disso, de acordo com as considerações de Lapolli et al (2007), os sistemas de tratamento de esgotos podem ser ferramentas para a prevenção à poluição e à saúde pública e como equipamentos para produção de água para reúso.

4.3.1 Sistemas de Tratamento de Esgotos

Como já mencionado anteriormente, os processos de tratamento podem ser classificados em:

- Processos físicos;
- Processos químicos;
- Processos biológicos;

Consoante Jordão e Pessôa (2011), estes processos atuam em conjunto, e em cada um ocorrem transformações que irão influenciar no processo seguinte. Os tipos de tratamento são definidos em termos do fenômeno predominante.

Tratando-se dos processos biológicos, estes simulam os processos naturais que ocorrem nos corpos d'água ao receber os despejos, onde a matéria orgânica é transformada em produtos mineralizados através de mecanismos naturais chamados de autodepuração. Em uma estação de tratamento de esgotos, os mesmos fenômenos ocorrem, porém com o auxílio de tecnologia empregada (VON SPERLING, 1996).

Os principais processos biológicos de tratamento segundo Jordão e Pessôa (2011) são:

- Oxidação biológica – aeróbia, como lodos ativados, filtros biológicos aeróbios, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbia, como reatores anaeróbios e de fluxo ascendente, ou de manta de lodo, lagoas anaeróbias e tanques sépticos.

- Digestão do lodo – aeróbia e anaeróbia, fossas sépticas.

No caso da ETE Insular o sistema de tratamento utilizado é o de lodos ativados com aeração prolongada. O sistema de lodos ativados é uma das técnicas mais utilizadas em estações de tratamento de esgotos, sendo um processo aeróbio que pode chegar a até 98% de eficiência na remoção de DBO solúvel (NUVOLARI, 2003). Jordão e Pessoa (2011) definem o lodo ativado como um floco o qual é produzido, na presença de oxigênio, no esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zoogleias e é acumulado devido ao retorno de outros flocos anteriormente formados.

O sistema de lodos ativados é formado pelas seguintes unidades, conforme Figura 1 (VON SPERLING, 2012):

- Tanque de aeração (reator);
- Tanque de decantação (decantador secundário);
- Recirculação de lodo.

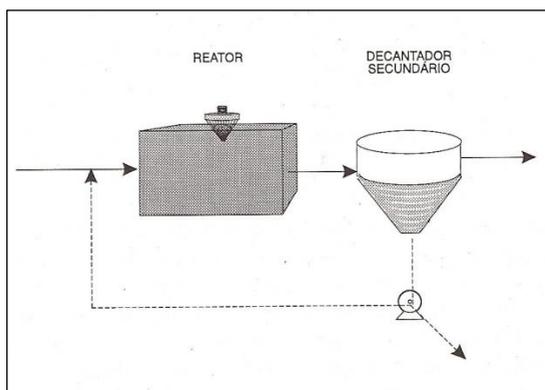


Figura 1 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lodos ativados. Fonte: VON SPERLING (2012).

No tanque de aeração é onde ocorre a remoção da matéria orgânica e, em alguns casos da matéria nitrogenada. A massa biológica, a qual cresce devido ao substrato presente no esgoto, é colocada constantemente em contato com a matéria orgânica dentro do reator. No decantador secundário a biomassa se sedimenta, o que permite um efluente clarificado. Parte da biomassa sedimentada no decantador é recirculada para o tanque de aeração e o excedente é descartado. A parte recirculada contribui para o aumento da massa biológica que realiza a

degradação da matéria orgânica, sendo esta biomassa responsável pela eficiência do sistema. A massa biológica possui uma propriedade de flocular, pois as bactérias são formadas por uma matriz gelatinosa que permite agregar outras bactérias e microrganismos, como protozoários, sendo assim, o floco formado, como mostra a Figura 2, é facilmente separado no decantador secundário (VON SPERLING, 1996).

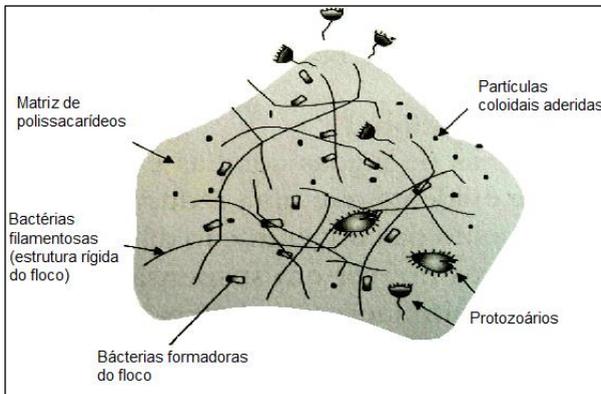


Figura 2 - Esquema de um floco de lodo ativado. Fonte: VON SPERLING (2012).

O processo de lodos ativados pode ser dividido em:

- Lodos ativados convencional;
- Aeração Prolongada;
- Sistemas de Fluxo intermitente;
- Lodos ativados com remoção biológica de nutrientes;

O processo de aeração prolongada, de acordo com Jordão e Pessoa (2011), é caracterizado pelo fato de manter um contato longo da biomassa com pouco substrato, (com o tempo de aeração e tempo de detenção celular prolongado), até que o lodo residual resulte em uma boa sedimentação, boa filtrabilidade e inodoro, decorrendo em uma alta eficiência do processo e uma oxidação na fase endógena. Nesta fase endógena, a matéria orgânica é utilizada para suprir as necessidades energéticas das células, sendo oxidada, e a massa de lodo diminui, resultando em uma mineralização do lodo, com uma DBO residual do substrato baixa.

Em relação à capacidade de remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos, são apresentados na Tabela 4 os diversos sistemas de tratamento de esgotos, incluindo o sistema por aeração prolongada e a capacidade de remoção destes microrganismos. Observa-se que os processos que envolvem lagoas de maturação, infiltração no solo e desinfecção são as alternativas capazes de reduzir significativamente os níveis de coliformes e ovos de helmintos. Já os sistemas convencionais projetados para a remoção de matéria orgânica e de sólidos não atingem uma resultado satisfatório (CHERNICHARO, 2001).

Tabela 4 - Níveis de qualidade do efluente esperados para diferentes tecnologias de tratamento de esgotos, em termos de coliformes fecais e ovos de helmintos.

Sistema	Coliformes fecais (CF/100 mL)				Ovos de helmintos
	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³	≤ 1 ovo/L
Lagoa facultativa	✓				✓
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	✓	✓			✓
Lagoa aerada facultativa	✓				
Lagoa aerada mistura completa + lagoa de sedimentação	✓				✓
Lagoa + lagoa de maturação	✓	✓	✓	✓	✓
Lagoa + lagoa de alta taxa	✓	✓			
Lagoa + remoção de algas	✓	✓			
Infiltração lenta	✓	✓	✓	✓	✓
Infiltração rápida	✓	✓	✓		✓
Escoamento superficial	✓				✓
Terras úmidas (wetlands, banhados artificiais)	✓	✓			✓
Tanque séptico + filtro anaeróbio	✓				
Tanque séptico + infiltração	✓	✓	✓	✓	✓
Reator UASB	✓				
Reator UASB + lodos ativados	✓				
Reator UASB + biofiltro aerado submerso	✓				
Reator UASB + filtro anaeróbio	✓				
Reator UASB + filtro biológico de baixa carga	✓				
Reator UASB + lagoas de maturação	✓	✓	✓	✓	✓
Reator UASB + escoamento superficial	✓	✓			✓
Lodos ativados convencional					
Aeração prolongada	✓				
Reator por batelada					
Lodos ativados c/ remoção biológica de N					
Lodos ativados c/ remoção biológica de N/P					
Lodos ativados + filtração	✓	✓	✓	✓	✓
Filtro biológico de baixa taxa					
Filtro biológico de alta taxa					
Biofiltro aerado submerso					
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N					
Biodisco					
Qualquer das tecnologias acima + desinfecção ^(a)	✓	✓	✓	✓	Variável

Fonte adaptada: CHERNICHARO (2001).

4.4 Agentes Patogênicos e Organismos Indicadores

Nos esgotos sanitários existem microrganismos que desempenham fundamental importância, principalmente no que se refere ao tratamento biológico, os quais estes são essenciais no processo de tratamento. Entretanto, dentre os organismos presentes nos esgotos, os quais podem ser saprófitos, comensais, simbioses, existem os parasitos. Estes últimos são responsáveis pela transmissão de doenças aos homens e aos animais, e são chamados de patogênicos. Os principais organismos classificados dentro deste grupo são: as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos (VON SPERLING, 2005).

As bactérias, segundo Gonçalves (2003), estão presentes em maior quantidade nos esgotos se comparado a outros organismos.

De acordo com Jordão e Pessoa (2009), existem vários organismos indicadores de poluição, entretanto, para indicar contaminação fecal num corpo d'água e determinar a sua extensão, é usual adotar como indicadores as bactérias de origem fecal. Essas bactérias, comumente encontradas no intestino humano e dos animais, estão presentes em grande quantidade nas fezes humanas, na ordem de 100 bilhões de coliformes totais/hab.dia, e por isso são de fácil isolamento e quantificação, possibilitando, assim, a indicação de uma possível contaminação fecal. No caso dessas bactérias estarem presentes em portadores de doenças, o organismo patogênico será eliminado juntamente com as fezes.

Estas bactérias, de acordo com Von Sperling (2005), chamadas de organismos indicadores de contaminação fecal, são predominantemente não patogênicas, mas possibilitam uma satisfatória indicação da contaminação de uma água por fezes humanas ou animais, e da sua potencialidade para transmitir doenças. Os principais indicadores usualmente utilizados para comprovar a contaminação fecal são: coliformes totais (CT), os coliformes fecais (CF) ou coliformes termo tolerantes e a *Escherichia Coli* (E. Coli).

De acordo com a PORTARIA Nº 518/GM de 25 de março de 2004:

coliformes totais são bactérias do grupo coliforme que possuem como características: bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tenso ativos que fermentam a

lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.

Os Coliformes Totais, segundo Jordão e Pessoa (2009), foram as primeiras bactérias utilizadas para indicação de contaminação humana. Porém estas não indicam necessariamente a contaminação de águas residuárias por contribuição humana ou animal, pois estas bactérias também se desenvolvem no solo e na vegetação. Sua unidade de medida é dada por: Número Mais Provável de Coliformes - NMP/100ml.

Também de acordo com a PORTARIA Nº 518/GM de 25 de março de 2004:

Os coliformes termo tolerantes são um subgrupo de bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia Coli*, de origem exclusivamente fecal. Já a *Escherichia Coli* é uma bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas β galactosidase e β glucuronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

Os Coliformes Fecais ou coliformes termo tolerantes, definidos por Jordão e Pessoa (2009), pertencem ao Grupo dos Coliformes totais, são tolerantes a altas temperaturas e são praticamente de origem exclusivamente fecal. Espécies de coliformes fecais: *Escherichia Coli* e *Klebsiella*. O esgoto bruto apresenta aproximadamente 10^5 a 10^8 NMP/100ml de coliformes fecais. *Escherichia Coli*: Único coliforme que se desenvolve exclusivamente na flora intestinal dos animais de sangue quente, sendo um indicador de contaminação fecal. O esgoto bruto apresenta aproximadamente 10^9 E. Coli/g.fezes.

O esgoto possui diversos agentes nocivos à saúde humana, que provocam doenças como: cólera, febres tifóides e paratifóides, salmoneloses, gastroenterites, leptospirose, tuberculose, poliomielite,

hepatite, entre outros. Como não é possível identificar e quantificar cada agente patogênico padronizou-se utilizar o coliforme como indicador, pressupondo-se que na ocorrência de bactérias provenientes das fezes humanas, haverá em proporção, outras bactérias patogênicas sendo eliminadas pelo mesmo processo. A população elimina um número constante de coliformes em suas fezes, porém a quantidade de patogênicos eliminados será em função da existência de portadores destes agentes, da fase endêmica ou epidêmica de determinada doença, sendo, portanto um padrão de saúde da comunidade (AISSER, 2000).

4.5 Desinfecção

A desinfecção é definida, de acordo com Von Sperling (2005), como sendo a inativação seletiva de organismos presentes nos esgotos sanitários, os quais ameaçam a saúde humana, seguindo os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes usos da água. A etapa de desinfecção numa estação de tratamento é inserida de forma específica através da construção de uma unidade exclusiva para desinfecção, ou através de uma adaptação aos processos existentes a fim de obter também a desinfecção (GONÇALVES, 2003).

A finalidade principal da desinfecção de esgotos, segundo Jordão e Pessoa (2009) é a proteção da saúde pública atendendo à legislação de acordo com os usos da água. Os usos definidos como os principais são: abastecimento para consumo, irrigação ou uso agrícola e recreação. São considerados, para cada um desses usos, os critérios e padrões de qualidade, abrangendo não somente as concentrações máximas dos organismos como também os próprios organismos, grupos e tipos.

As formas de desinfecção destacadas por Daniel (2001) são agrupadas em três grupos:

- Destruição da parede celular, do citoplasma ou núcleo celular dos microrganismos;
- Alteração de compostos relacionados ao catabolismo, modificando o balanço de energia da célula;
- Modificação dos processos de síntese e crescimento celular;

4.5.1 A importância da Desinfecção

A contaminação das águas por organismos patogênicos como bactérias, protozoários, vermes e vírus traz consigo uma série de fatores

indesejáveis, afetando a saúde pública e a economia de um local, como por exemplo: o aumento das doenças, o crescimento da mortalidade infantil, a diminuição da produtividade e da vida média das pessoas, o crescimento das despesas hospitalares e, além de tudo, os próprios incômodos com as doenças (JORDÃO e PESSÔA, 2009).

Portanto, a desinfecção dos esgotos deve ser aplicada quando se objetiva a redução dos riscos de transmissão de doenças infectocontagiosas (LAPOLLI et al., 2005). Neste sentido, a desinfecção de esgoto bruto e de efluentes é geralmente utilizada para proteger os corpos d'água que servem para usos públicos, como lazer e recreação, ou também quando reutilizados para fins agrícolas (NUVOLARI, 2003).

Afirma Chernicharo (2001) que o risco de contaminação do homem se dá pelo fato de que os esgotos contêm uma sequência de organismos patogênicos, os quais são excretados por meio das fezes de indivíduos infectados. Os organismos considerados mais preocupantes são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais, os quais uma grande variedade destes organismos encontra-se usualmente presente em todos os esgotos domésticos e sua transmissão para o homem pode ocorrer através da:

- Ingestão direta de água não tratada;
- Ingestão direta de água tratada – onde há falha no processo de tratamento;
- Ingestão de alimentos infectados com patógenos presentes em águas contaminadas;
- Penetração resultante do contato da pele com a água contaminada;

Os principais organismos patogênicos encontrados nos esgotos, segundo Jordão e Pessoa (2011) são listados na Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 - Organismos patogênicos encontrados nos esgotos.

Organismo	Doença Principal
Bactérias	
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratífóide
Outras Salmonellas	Salmonelose
<i>Shigella</i>	Desintéria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>E coli enteropatogênica</i>	Gastroenterite

Organismo	Doença Principal
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite
Enterovirus	
Vírus da pólio	Poliomielite
Vírus da hepatite A	Hepatite infecciosa
Enterovirus (vários)	Meningite, encefalite
Protozoários	
<i>Balantidium coli</i>	Desintéria
<i>Entamoeba histolytica</i>	Desintéria amebiana
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase
Helmintos	
Nematóides	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuríase
<i>Ancilostoma duodenale</i>	Ancilostomíase

Fonte adaptada: Jordão e Pessôa (2011)

O fato é que, de acordo com Chernicharo (2001), o saneamento no Brasil sendo extremamente precário além da saúde pública ser ineficiente, traz como consequência pessoas portadoras de diversas doenças as quais podem ser transmitidas pelas fezes e assim pelos esgotos oriundos desta população.

O mesmo autor, Chernicharo (2001), ainda explica que os processos de tratamento convencionais não são eficientemente capazes de remover os microrganismos patogênicos e que somente os processos de tratamento de esgotos que incluem: lagoas de maturação, infiltração no solo e desinfecção são capazes de alcançar níveis reduzidos de coliformes no efluente.

A decisão sobre desinfetar os esgotos de determinado local deve envolver (USEPA, 1986 apud CHERNICHARO, 2001):

- Uma análise sobre os usos da água à jusante do ponto de lançamento e sobre os riscos de saúde pública associados àquela água;
- Uma avaliação das possibilidades disponíveis para o controle dos esgotos contaminados por patógenos;
- Um estudo dos impactos ambientais que as medidas de controle podem ocasionar.

Um estudo realizado em junho de 1993, para a ETE Insular, pelo consultor David W. M. Johnstone, avaliou os processos de desinfecção utilizando o cloro e a radiação ultravioleta. Este estudo concluiu que não era necessário o processo de desinfecção, visto que embora o tratamento por lodos ativados com aeração prolongada gere um efluente com coliformes fecais na faixa de 10^5 a 10^6 coliformes fecais por 100mL, deve se levar em conta a diluição, a purificação natural e o efeito parcial de desinfecção do corpo receptor, no caso a baía norte.

Entretanto, mesmo que este estudo de 1993, antes da implantação da ETE Insular, tenha concluído a não necessidade de utilização da desinfecção, a CASAN optou por aplicar o processo de cloração para garantir que o efluente seja lançado até uma faixa limite que atenda o CONAMA 274/2000 para águas de contato primário e assim não alterando a qualidade da água do corpo receptor. A escolha do método partiu da experiência da CASAN em utilizar o cloro no processo de desinfecção das águas para abastecimento.

4.5.2 Alternativas de Desinfecção

De acordo com Chernicharo (1997) quando se decide realizar a desinfecção, alguns processos existentes naturais e artificiais podem ser utilizados, tais como:

- Processos naturais: lagoas de maturação e infiltração no solo;
- Processos artificiais: cloração, ozonização, radiação ultravioleta, membranas.

As alternativas de desinfecção citadas, com exceção da cloração, serão abordadas brevemente, visto que o cloro é o desinfetante utilizado na ETE Insular.

Lagoas de Maturação

A desinfecção por lagoas de maturação se dá através da radiação ultravioleta do sol incidindo sobre as lagoas rasas, destruindo assim os microrganismos patogênicos. Este processo apesar de possuir baixo custo de implantação e operação, e de não necessitar de produtos químicos, necessita de grandes áreas (CHERNICHARO, 1997).

Infiltração no Solo

Já no processo de desinfecção por infiltração no solo a ação se dá por meio das condições desfavoráveis do solo os quais promovem a

morte dos patogênicos. Como vantagem, este processo não demanda o uso de produtos químicos, porém exige grandes áreas (CHERNICHARO, 1997).

Ozonização

O processo de ozonização, o qual utiliza o ozônio como desinfetante, atua na membrana citoplasmática, nos sistemas enzimáticos e nos ácidos nucleicos dos microrganismos. Ele é eficaz principalmente na eliminação dos cistos de protozoários e nos vírus. Além de ser um desinfetante, ele reage com a matéria orgânica (CHERNICHARO, 2001).

A geração de ozônio, explica Jordão e Pessoa (2009), ocorre no local de aplicação, através da passagem de uma massa de ar filtrado, seco, com alto teor de oxigênio, entre dois eletrodos os quais se aplica uma corrente elétrica de alta voltagem.

Possui como vantagens a rápida ação devido ao alto potencial de oxidação-redução, a alta eficiência na eliminação de patogênicos no tratamento de esgotos e a baixa toxicidade produzida (CHERNICHARO, 2001). Entretanto é um processo caro e não há muitas experiências na sua utilização no Brasil (CHERNICHARO, 1997). Além disso, exige um esgoto de alta qualidade, não gera residual, e há a necessidade de ozonizadores reserva (JORDÃO e PESSOA, 2009).

Radiação Ultravioleta

O processo de desinfecção por radiação ultravioleta utiliza lâmpadas especiais, e o meio de atuação se dá através da interferência na reprodução dos patógenos (CHERNICHARO, 1997). Geralmente é montado um conjunto de lâmpadas em bandejas removíveis, a fim de facilitar a manutenção, e estas são colocadas no meio líquido de tal maneira que estejam favoráveis a fornecer a quantidade adequada de aplicação.

Como vantagem pode-se citar que este tipo de desinfecção é um método simples e eficiente, não demanda a utilização de produtos químicos e não gera produtos organoclorados. Possui como desvantagem a exigência de limpeza dos tubos das lâmpadas e não gera residual (JORDÃO e PESSOA, 2009). Além disso, exige que o efluente seja clarificado para que a radiação atinja os microrganismos patógenos (CHERNICHARO, 1997).

Membranas

A utilização de membranas como forma de desinfecção se dá através da passagem do esgoto tratado por membranas as quais possuem uma porosidade maior se comparada aos organismos patogênicos, retendo-os. Como exemplo deste processo é a ultrafiltração e a nanofiltração. Apesar de não utilizar produtos químicos, este método é considerado caro (CHERNICHARO, 1997).

4.6 Cloro

4.6.1 Histórico

Em 1774 foi descoberto pelo químico sueco Karl Scheele, o cloro, através da reação entre o ácido clorídrico com o dióxido de manganês. Thomas Northmore foi o primeiro a liquefazer este gás o qual foi identificado pela primeira vez como elemento por Sir Humphrey Davy. Este gás foi nomeado com o nome grego *cloros*, o qual quer dizer verde, devido a sua cor característica. Por volta de 1800, De Morveu, na França e Cruishank, na Inglaterra, o empregaram pela primeira vez como desinfetante geral (AWWA, 1995 apud NUVOLARI, 2003).

O cloro foi aplicado pela primeira vez com a finalidade de promover a saúde pública por volta de 1831, sendo utilizado como profilaxia durante a epidemia de cólera na Europa (CHERNICHARO, 2001). O cloro foi reconhecido formalmente, em 1854, como desinfetante de esgotos na Inglaterra apesar de que a cloração de esgotos neste país somente tenha ocorrido de 1884 em diante.

A partir do século 20 ocorreram investigações sobre a eficiência do cloro e então se deu início a sua crescente utilização na desinfecção de esgotos. No fim da década de 50, aproximadamente 30% das estações de tratamento dos Estados Unidos utilizavam o cloro nos sistemas de esgoto, onde o processo de desinfecção passou a beneficiar 50% da população com esgotos tratados.

4.6.2 Características do Cloro

O cloro, de acordo com Imhoff e Imhoff (1986), apresenta uma série de funções e aplicabilidade no tratamento de esgotos, onde pode ser utilizado na desinfecção de esgotos brutos ou tratados, na melhoria

da decantação, na melhora da eficiência da remoção de óleos, no controle do odor provocado pelo esgoto, no combate à formação de fungos, lodo e larvas de moscas nos filtros, além de ser utilizado no adensamento de lodo ativado, na precaução à contaminação das águas fluviais, balneários e águas de abastecimento. O cloro age nos processos de oxidação e na eliminação de organismos vegetais e animais. Na Tabela 6 são apresentadas as propriedades físicas do cloro:

Tabela 6 – Propriedades Físicas do cloro.

Propriedade	Cloro líquido	Cloro gasoso
Afinidade pela água	Pequena	Pequena
Ponto de ebulição (a 1 atm)	-34,05 °C	-
Cor	Âmbar claro	Amarelo acizentado
Corrosividade	Extremamente corrosivo ao aço, na presença de pequena quantidade de umidade	Extremamente corrosivo ao aço na presença de pequena quantidade de umidade
Densidade	1422 kg/m ³ (a 16 °C)	3,2 kg/m ³ (a 1,1 °C e 1 atm)
Limites de explosão (no ar)	Não explosivo	Não explosivo
Inflamabilidade	Não inflamável	Não inflamável
Odor	Penetrante e irritante	Penetrante e irritante
Solubilidade	-	Abaixo de 9,6 °C
Gravidade específica (em relação à água a 4 °C)	1,468	-
Viscosidade	0,385 centipoise (a 0 °C)	167,9 micropoise (a 100 °C)

Fonte: USEPA (1986); WEF (1992) apud Chernicharo (2001).

De acordo com EPA (1999), o cloro é um desinfetante altamente utilizado na desinfecção de esgotos, pois elimina os organismos patogênicos através da oxidação do material celular. O cloro pode ser encontrado nas formas: cloro gás, soluções de hipoclorito, e outros compostos na forma sólida e líquida.

O cloro possui variadas vantagens as quais contribuem para seu amplo uso em saneamento. Sendo eles:

- Inativação eficaz de uma grande variedade de patogênicos geralmente encontrados nas águas;
- Deixa um residual na água, o qual prolonga a desinfecção, que é facilmente medido e controlado;
- É econômico;
- Possui um histórico de utilização bem-sucedido, apesar dos perigos interligados com sua aplicação e manipulação,

principalmente quando está no estado gasoso (NUVOLARI, 2003)

Além destas vantagens, EPA (1999), complementa:

- Quando comparado aos métodos de desinfecção por ultravioleta e ozonização, o cloro possui maior custo-benefício (porém quando a descloração é requerida, pode não ser tão vantajoso);
- O cloro oxida a matéria orgânica e inorgânica;
- O método de cloração permite uma variação de dosagem;
- O cloro elimina odores;

As desvantagens do cloro apresentadas por EPA (1999) são:

- O cloro residual pode ser tóxico para os seres aquáticos e pode por este fato, necessitar de descloração;
- Qualquer forma de cloro é corrosiva e tóxica, portanto devem ser tomadas medidas de segurança na estocagem, no transporte e no manuseio;
- Pode ocorrer formação de trihalometanos (THMs), na oxidação pelo cloro da matéria orgânica;
- Há um aumento no efluente tratado dos sólidos dissolvidos;
- Há uma elevação na quantidade de compostos de cloro no efluente;
- Determinadas espécies parasitas como oocistos de *Cryptosporidium parvum*, cistos de *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*, e ovos de vermes parasitas apresentam, geralmente, resistência às baixas dosagens de cloro.
- Não é conhecido o efeito dos compostos desclorados lançados no meio ambiente.

Na Tabela 7 são apresentados os efeitos que as características do esgoto causam com a presença do cloro:

Tabela 7 – Características do esgoto que afetam o desempenho da cloração.

Característica do efluente	Efeitos da desinfecção com o cloro
Amônia	Forma cloraminas quando combinadas com cloro
DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	O grau de interferência depende dos grupos funcionais e das estruturas químicas.
Dureza, ferro e o nitrato	Menor efeito, se houver.

Característica do efluente	Efeitos da desinfecção com o cloro
Nitrito	Reduz a efetividade do cloro e resulta em trihalometanos.
pH	Afeta a distribuição entre ácido hipocloroso e os íons hipocloritos e entre as várias espécies de cloraminas.
Sólidos Suspensos totais	Blindagem das bactérias e demanda de cloro.

Fonte adaptada: EPA (1999).

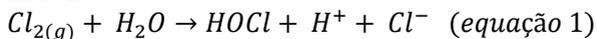
4.6.3 Principais Compostos

Quando usado na desinfecção, o cloro é utilizado numa das três formas: gás, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio (NUVOLARI, 2003). Na ETE Insular o cloro utilizado é na forma de gás.

4.6.4 Cloro Gasoso

Segundo Metcalf and Eddy (2003), o cloro (Cl_2) pode estar presente como um gás ou líquido. O cloro gás possui uma cor amarelo esverdeado e é aproximadamente 2,48 vezes mais pesado que o ar. O cloro é fornecido como um gás liquefeito à alta pressão dentro de cilindros variando em tamanho de 45 kg (100lb) e 68 kg (150lb). Pode ser fornecido também em cilindros de 907 kg ou ainda em caminhões tanque (NUVOLARI, 2003).

O cloro gás segundo Nuvolari (2003) hidrolisa de forma rápida na água formando o ácido hipocloroso (HOCl). A equação 1 apresenta a reação de hidrólise:



O ácido hipocloroso (HOCl) possui a capacidade oxidante e desinfetante do cloro (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O acréscimo de cloro gás na água faz com que o pH da água diminua de acordo com a equação acima apresentada, com a liberação de íons H^+ . O ácido hipocloroso é um ácido fraco o que faz com que ele se dissocie em íons hidrogênio e íons hipoclorito, de acordo com a equação 2:



Entre valores de pH na faixa de 6,5 e 8,5 a dissociação apresentada na equação 2 é incompleta e tanto o HOCl como o OCl⁻ estão presentes (WHITE, 1992 apud NUVOLARI, 2003). Já para pH acima de 8,5 a dissociação de HOCl é completa restando na solução somente íons OCl⁻, e pH abaixo de 6,5 a dissociação de HOCl não acontece. Portanto, como o HOCl possui um potencial germicida maior que o íon OCl⁻ é ideal que a cloração seja realizada em pH com valores baixos (NUVOLARI, 2003). Na Tabela 8 é apresentada a distribuição de HOCl e OCl⁻ em função do pH.

Tabela 8 – Distribuição de HOCl e OCl⁻ em função do pH.

pH	Percentagem de cloro livre, %	
	HOCl	OCl ⁻
6,0	96,8	3,2
7,0	75,2	24,8
7,5	49,1	50,9
8,0	23,2	76,8
9,0	2,9	97,1

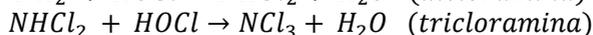
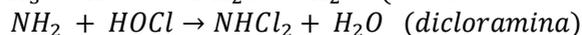
Fonte Adaptada: Jordão e Pessoa (2011).

4.6.5 Cloro Livre disponível

O cloro livre disponível é representado pelo ácido hipocloroso (HOCl) e os íons hipoclorito (OCl⁻) (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

4.6.6 Cloro Combinado disponível

São os cloros existentes em água em forma combinada com amônia e compostos orgânicos contendo nitrogênio. São chamados de cloro-derivativos e as cloraminas. O cloro que reage com o nitrogênio (em presença de amônia da água) forma as cloraminas. Nestes casos combinados o poder de desinfecção diminui. A capacidade bactericida das cloraminas é muito baixa (JORDÃO e PESSÔA, 2011).



As cloraminas apresentam cerca de 200 vezes menos poder desinfetante se comparado ao ácido hipocloroso, porém quando somadas com o cloro estes possuem um poder desinfetante maior do que a soma das capacidades individuais dos dois (USEPA, 1999 apud CHERNICHARO, 2001). Um fator considerado importante é que o uso das cloraminas é considerado melhor, apesar de possuir um efeito desinfetante muito inferior ao cloro, pois estas são pouco reativas aos compostos orgânicos, produzindo conseqüentemente menos subprodutos, no caso os THMs, e favorecendo assim a saúde pública (CHERNICHARO, 2001).

4.6.7 Demanda de Cloro

É a utilização do cloro em reações secundárias, pela presença de compostos na água que se ligam ao cloro, resultando na sua perda da capacidade de oxidação e desinfecção. Para determinar a demanda de cloro em um determinado tempo, mensura-se a concentração de cloro após este tempo, e então a diferença entre a dosagem aplicada de cloro com a concentração medida obtém-se a demanda de cloro (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

4.6.8 Cloro Residual

Cloro residual combinado

É a concentração de cloro residual combinado com a amônia ou outros compostos orgânicos nitrogenados. Sendo este um caso geral da cloração de esgotos, pois há sempre a presença de nitrogênio (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Os compostos, monoclорamina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) e tricloramina (NCl_3), contribuem para o residual de cloro combinado. Essas reações químicas proporcionam o fenômeno do breakpoint (ver Figura 3) quando águas contendo amônia são cloradas (Gonçalves, 2003).

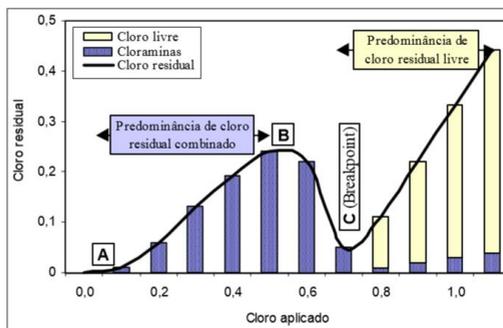


Figura 3 - Curva de cloro residual em águas com presença de amônia. Fonte: Chernicharo et al. (2001).

Cloro residual livre

É a concentração de cloro residual sob a forma de ácido hipocloroso ou íon hipoclorito (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O somatório das concentrações de cloro residual livre e cloro residual combinado indica a concentração de cloro residual total (CHERNICHARO, 2001).

4.6.9 Princípios da Desinfecção por Cloro

A ação do cloro depende (BATALHA e COSTA, 1994):

- Da concentração: quanto maior a concentração, mais efetiva sua ação;
- Do tempo de contato: quanto maior o tempo de contato, mais efetiva sua ação;
- Da característica físico-química da água: a presença de certas impurezas consome parte do cloro adicionado, onde altos valores de turbidez prejudicam a cloração;
- Da temperatura da água: o aumento da temperatura favorece a desinfecção;
- Do pH: pois além de alterar a forma de apresentação do cloro, altera as cargas elétricas dos microrganismos;
- Do tipo dos microrganismos a serem destruídos;

Para Gonçalves (2003) projetar uma unidade de desinfecção de esgotos requer conhecimentos sobre a taxa de decaimento dos microrganismos indicadores através da ação do agente desinfetante. O

efeito da concentração do agente desinfetante sobre a taxa de inativação dos microrganismos permitirá conhecer a combinação mais eficiente entre o tempo de contato e a concentração de desinfetante que deve ser utilizado. A equação 3 de Chick-Watson descreve o processo de desinfecção:

$$\frac{N}{N_0} = \exp(1 - k'xC^nxt) \text{ (equação 3)}$$

Onde:

No: concentração inicial de coliformes (NMP /100mL);

N: concentração final de coliformes (NMP/100mL);

Ct: concentração de cloro residual ao final do tempo de contato t (mg/L);

t: tempo de contato (min);

k': constante de decaimento ($L^n \text{mg}^{-n} \text{min}^{-1}$);

n: coeficiente.

De acordo com Chernicharo (2001) existem dois parâmetros muito importantes no processo de desinfecção: o tempo de contato e a concentração do agente desinfetante. Quando tempos de contato são elevados, necessita-se de pequenas concentrações de desinfetante. Já para tempos de contato reduzidos são necessárias elevadas concentrações de desinfetante, para se atingir uma desinfecção equivalente. Além disso, a mistura da solução de cloro com o efluente, o tempo de contato do cloro com o efluente e o teor de cloro residual são os três principais parâmetros envolvidos na destruição efetiva de organismos patogênicos.

4.6.10 Fator CT

O fator CT, sendo o produto da concentração residual do desinfetante (mg/L) pelo tempo (min) em que o produto fica em contato com a água é um dos principais aspectos para determinação da eficiência germicida de um desinfetante (NUVOLARI, 2003).

De acordo com Lapolli et al (2005) utilizando-se o fator CT, em relação a um microrganismo selecionado, é possível comparar a eficiência de sua remoção para diferentes desinfetantes. Quanto menor o fator CT, maior será a ação do desinfetante. Portanto, quanto maior o valor CT, mais resistente é o microrganismo selecionado. Na Tabela 9

são apresentados valores do fator CT de alguns desinfetantes na remoção de 99% dos microrganismos.

Tabela 9 - Valores do fator CT (mg.min/L) de alguns desinfetantes para remoção de 99% dos microrganismos.

Microorganismo	Cloro (pH = 6-7)	Cloramina (pH = 8-9)	Dióxido de Cloro (pH = 6-7)	Ozônio (pH = 6-7)
<i>Escherichia coli</i>	0,034-0,05	95-180	0,4-0,75	0,02
Pólvirus 1	1,1-2,5	768-3740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavírus	0,01-0,05	3806-6476	0,2-2,1	0,006-0,06
Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	47-150	2200	26	0,5-0,6
Cistos de <i>Giardia muris</i>	30-630	1400	7,2-18,5	1,8-2,0
<i>Criptosporidium parvum</i>	7200	7200	78	5-10

Fonte: Caffaro (2004) apud Lapolli et al (2005).

4.6.11 Escolha da Dosagem ideal

A escolha da dosagem de cloro, bem como a locação das unidades de desinfecção, dependem dos objetivos a serem alcançados, de acordo com as diretrizes impostas pela legislação ambiental. Os parâmetros a serem levados em conta no momento do projeto do sistema de desinfecção são: o cloro residual ou o número máximo de organismos indicadores, no caso os coliformes fecais, admitidos a serem lançados no corpo receptor. Independente de qual seja o parâmetro, pode-se utilizar como ferramenta testes laboratoriais para buscar a concentração de cloro requerida (Gonçalves, 2003).

4.6.11.1 Coliformes

Os atuais padrões microbiológicos, segundo Jordão e Pessôa (2009), para águas destinadas à recreação, encontram-se na Resolução CONAMA 274/2000, a qual trata dos Padrões de Balneabilidade. A referida legislação estabelece para águas de contato primário a qualidade indicada na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Classificação da água de contato primário - Resolução CONAMA 274/2000, Padrões de Balneabilidade.

Qualidade	Enterococos	<i>Escherichia Coli</i>	Coliformes fecais
Excelente	<25/100mL	<200/100mL	<250/100mL
Muito Boa	<50/100mL	<400/100mL	<500/100mL
Satisfatória	<100/100mL	<800/100mL	<1000/100mL
Imprópria	>100/100mL	>800/100mL	>1000/100mL

Fonte: Jordão e Pessoa (2009); Resolução CONAMA 274/2000.

O processo de desinfecção, para Jordão e Pessoa (2009), é unitário, o qual objetiva a diminuição dos microrganismos atendendo os padrões limites estabelecidos de acordo com a tabela acima (Padrão de Balneabilidade).

É usual em projetos de disposição oceânica de esgotos sanitários, utilizar como parâmetro os limites permitidos estabelecidos para a classificação satisfatória, garantindo assim os limites que não poderão ser extrapolados (GONÇALVES e SOUZA, 1997).

4.6.11.2 Cloro Residual

A dosagem de cloro necessária é geralmente obtida através da medição de cloro residual no fim do tanque de contato, após o tempo de residência do efluente no tanque, ajustando a dosagem de cloro até que seja obtido o residual de cloro desejado. O cloro residual deve ser tal que obedeça a classe d'água do corpo receptor do efluente de acordo com a legislação vigente. Comumente se utiliza testes em laboratório para a obtenção do teor de cloro residual necessário para alcançar a qualidade microbiológica desejada para o efluente (CHERNICHARO, 2001).

A obtenção da concentração de cloro residual é geralmente determinada por meio de testes em laboratório os quais se utilizam das dosagens de cloro aplicadas e a quantidade de coliformes fecais remanescentes no efluente. A concentração de cloro residual pode ser estimada de acordo com o modelo de Selleck-Collins, em função do tempo de contato e das concentrações inicial e final de coliformes fecais (METCALF & EDDY, 1991 apud CHERNICHARO, 2001):

$$\frac{Nt}{N_0} = (1 + 0,23 \times Ct \times \theta h)^{-3}$$

Modelo de Selleck – Collins (1970) (equação 4)

Onde:

- Nt: concentração de coliformes fecais no tempo “t” (org/100mL);
- N₀: concentração inicial de coliformes fecais (org/100mL);
- Ct: concentração de cloro residual (mg/L);
- θh: tempo de contato (min).

4.6.12 Sistema de Cloração

De acordo com Nuvolari (2003), um sistema de cloração com a finalidade de realizar a desinfecção de esgoto tratado de uma estação de tratamento de esgoto é composto por quatro subsistemas:

- Suprimento/armazenamento de cloro e segurança;
- Alimentação e aplicação;
- Mistura e contato;
- Sistemas de controle;

A Figura 4 mostra um fluxograma de um sistema de cloração com cloro gás.

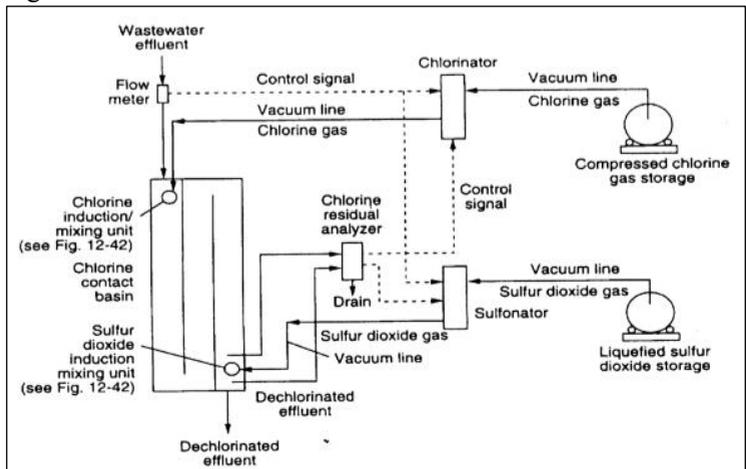


Figura 4 - Fluxograma do sistema de cloração com cloro gás. Fonte: EPA (1999).

Suprimento/armazenamento de cloro e segurança

Gonçalves (2003) explica que o cloro gasoso é fornecido em cilindros de aço e são disponíveis nas capacidades de 54 kg, 68 kg e 900 kg. Dentro do cilindro, o cloro gasoso se apresenta parcialmente liquefeito. Os cilindros de 900 kg, como é o caso da ETE Insular, são armazenados na posição horizontal, apoiados sobre duas vigas com calços, afastadas do piso, para evitar contato com a umidade. O fechamento das bases do cilindro é feito através de calotas convexas que formam uma reentrância, utilizada para abrigar as válvulas de segurança e de saída do cloro.

Os cilindros devem ser armazenados em locais secos, ventilados e com cobertura, livres do calor e do sol. Além disso, devem ser mantidos longe de metais finamente divididos, da amônia ou outro material combustível, evitando assim um possível incêndio. A movimentação dos cilindros é realizada através de talha elétrica atrelada a uma monovia (GONÇALVES, 2003).

Alimentação e aplicação

- **Retirada de cloro**

O fornecimento dos cilindros de cloro para os cloradores podem ser de cloro gasoso ou cloro líquido. Caso a retirada seja de gás, a taxa máxima para um recipiente é de 180 kg/d à temperatura ambiente, caso seja necessário uma taxa superior devem ser interligados dois ou mais recipientes, com temperatura do recinto superior a 18 °C (NUVOLARI, 2003).

- **Evaporadores**

São utilizados quando a taxa de retirada de cloro for superior à 680 kg/d. O evaporador transforma o cloro líquido na forma gasosa. Os evaporadores devem conter um redutor de pressão, uma válvula de fechamento automático a fim de evitar que o cloro líquido entre no clorador (NUVOLARI, 2003).

- **Interruptores automáticos**

Estes interruptores servem para permitir o fluxo de cloro entre um cilindro e outro assim que um recipiente estiver vazio (NUVOLARI, 2003).

- **Clorador**

Recebe o cloro gasoso dos cilindros ou do evaporador e faz a regulagem do fluxo para o ejetor. Existem quatro tipos: alimentação direta, de pressão, vácuo distante e tipo de fluxo sônico. Um clorador

comum possui como componentes: válvula redutora de pressão de entrada, um rotâmetro, um orifício de controle de dosagem e uma válvula reguladora de diferencial de vácuo (NUVOLARI, 2003).

- **Sistema injetor**

Fornece a dosagem de cloro no ponto de aplicação. Existem dois tipos de sistema injetor: Injeção de gás pressurizado e alimentação à vácuo. Em sistemas de alimentação à vácuo é aplicada no injetor uma subpressão, para evaporar e mover o cloro gasoso da fonte de suprimento até o clorador, o gás é então misturado com a água e em seguida é encaminhado para o ponto de aplicação. A água deve ser suficiente para manter a concentração de cloro na solução abaixo da saturação que é de 3500mg/L e de promover um vácuo na linha do clorador e nos outros componentes do sistema (NUVOLARI, 2003).

O sistema ejetor possui como componentes: bomba para fornecimento de água e tubulação para o injetor; manômetro indicador de pressão da água no injetor; injetor; tubulação de vácuo do clorador; vacuômetro e tubulação de vácuo do injetor (para casos de injetores localizados em pontos distantes); tubulação de solução de cloro; manômetro indicador de pressão da solução de cloro (localizado logo após o injetor – usado para injetores de secção variável); interruptor de pressão da água da solução e alarme de pressão baixa da água; medidor de vazão de água da solução; interruptor de vácuo e alarme para vácuo alto e baixo; manômetro indicador de pressão de retorno para descarga de alívio do injetor (NUVOLARI, 2003).

Mistura e contato

Gonçalves (2003) explica que o tanque de contato serve para garantir que o esgoto entre em contato com o cloro por tempo suficiente que possibilite a desinfecção. Para um melhor desempenho, afirma EPA (1998), o sistema de cloração deve ser projetado de forma que o esgoto flua de forma turbulenta de maneira que o fluxo alcance toda a câmara de contato, garantindo uma mistura completa. Esta mistura permite que o cloro possa ter o máximo contato com as águas residuais e garanta que não haja áreas mortas (partes não utilizadas) do tanque. Para evitar o curto-circuito, Gonçalves (2003) recomenda que as dimensões do tanque possuam as relações comprimento:largura de no mínimo 10:1 e, preferencialmente, da ordem de 40:1. O volume do tanque de contato pode ser calculado da seguinte forma:

$$V = Q_{méd} \times t \text{ (equação 5)}$$

Onde:

V = volume do tanque de contato (m^3); $Q_{méd}$ = vazão média afluyente ao tanque de contato (m^3/min); t = tempo de contato (min).

Os valores usuais para o tempo de contato são entre 15 e 45 minutos. Os tanques de contato podem ser desnecessários caso a descarga do efluente da estação seja realizado por longos emissários onde o tempo de percurso ultrapasse o tempo de contato determinado para realizar a desinfecção.

De acordo com a NBR 12209/2011, o projeto do tanque de contato deve prever descargas de fundo para possibilitar a limpeza do tanque.

Jordão e Pessoa (2011) explicam que para garantir que o tempo de contato do cloro com o efluente foi obedecido é necessário expor o esgoto a ser clorado num tanque de contato com uma boa mistura de forma a retê-lo por tempo determinado. Alguns cuidados devem ser seguidos como:

- A utilização de um difusor para a injeção da solução de cloro.
- Deve haver um mistura homogênea para não haver pontos do esgoto que não seja clorado. A mistura pode ser natural, através de turbulência hidráulica ou agitador mecânico.
- A potência da agitação é calculada pela equação: $P=0,01 (m.V.G^2)$; Onde m= viscosidade cinemática do esgoto – $0,001kg/m.s$; V = volume do tanque de mistura – m^3 ; G = gradiente de velocidade – s^{-1} .
- É recomendado um tanque com chicanas ou compartimentada, evitando assim curtos-circuitos e garantindo o tempo de permanência de pelo menos 15 minutos em relação à vazão máxima e 30 minutos em relação à vazão média.
- Velocidade horizontal mínima de 2,5 a 7,5cm/s.
- Espaçamento entre as chicanas de 3 a 5; 2 a 4 mudanças de direção.

Sistemas de controle

Gonçalves (2003) cita que um método de controle simples da dosagem de cloro é manual, e o próprio operador ajusta a quantidade de cloro que atenda as concentrações de cloro residual desejadas no efluente final. Através de testes laboratoriais determina-se a quantidade

de cloro residual desejado, atendendo a legislação vigente, e assim obtém-se a dosagem requerida.

NUVOLARI (2003) menciona que existem controladores automáticos de cloro residual. Neste caso, um sistema de controle automático de dosagem de cloro é uma ótima alternativa para casos onde há variações de vazões e demanda de cloro. O sistema é formado por um dispositivo de retorno de informações, o qual monitora a vazão e o cloro residual através de um analisador de cloro residual, clorador com válvula automática para cloro gás, sistema de controle para receber os sinais de vazão e cloro residual e sistema automático de alimentação de cloro, a fim de manter o cloro residual no valor estipulado. A Figura 5 ilustra o sistema mencionado.

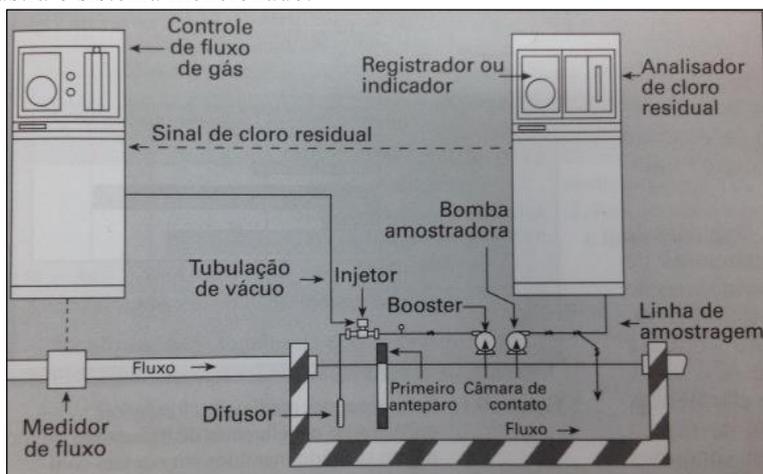


Figura 5 - Típico controlador automático de cloração. Fonte: Qasim, (1999) apud Nuvolari, (2003).

4.6.13 Descloração

Após a cloração, o cloro residual pode persistir no efluente por muitas horas. (EPA, 1999). O cloro residual pode ter efeitos tóxicos aos seres aquáticos. Em concentrações reduzidas, o residual de cloro, pode interferir com os testes de biomonitoramento exigidos para determinar a toxicidade do efluente e para controlar a descarga de contaminantes tóxicos (NUVOLARI, 2003).

A descloração é um processo de remoção do cloro residual livre e combinado para reduzir a toxicidade residual depois da cloração e antes da descarga no corpo receptor. Dióxido de enxofre, bissulfito de sódio e metabissulfito de sódio são os compostos químicos geralmente utilizados na descloração. Carvão ativado também pode ser usado. O cloro residual total pode ser reduzido a um nível capaz de não gerar toxicidade aos organismos aquáticos. Os sistemas de cloração/descloração são mais complexos de operar e manter do que os sistemas de cloração (EPA, 1999).

4.6.14 Custo da Desinfecção por Cloração

De acordo com EPA (1998), o custo do sistema de desinfecção por cloração depende do fabricante, do local, da capacidade da estação e das características do esgoto a ser desinfetado.

Um estudo conduzido pela Water Environment Research Foundation em 1995 para uma vazão média em tempo seco de 1 milhão de galões por dia ou $3780\text{m}^3/\text{d}$ (Considerando que um galão equivale a 3,78 litros) mostrou uma custo estimado pela O&M de \$49,300 por ano. (Com uma dose de cloro de 5 a 20 mg/L, foi gasto uma tonelada de cilindro de cloro gás). Os custos anuais incluem consumo de energia, materiais de limpeza, diversos reparos de equipamentos, e despesas com pessoal. Geralmente, o custo total da cloração pode crescer cerca de 30 a 50% quando se adiciona a etapa de descloração. Além disso, os compostos de hipoclorito são mais caros do que o cloro gás.

4.6.15 Formação de trihalometanos (THMs)

É afirmado por Chernicharo (2001) que em muitas estações de tratamento utiliza-se a descloração do efluente, pois os altos valores de cloro residual encontrados no efluente desinfetado podem trazer toxicidade aos organismos aquáticos. Somado a isso, o cloro residual pode reagir com a matéria orgânica presente no efluente e no corpo receptor e formar compostos organoclorados e trihalometanos (THM), os quais são produtos potencialmente carcinogênicos. Por isso, existe uma grande preocupação com a desinfecção de efluentes tratados em ETEs por cloração, pois a formação dos compostos haloorgânicos é contribuída pelos compostos orgânicos residuais do efluente e do corpo receptor (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Jordão e Pessoa (2011) definem os trihalometanos como sendo membros de um grupo de compostos químicos orgânicos contendo um átomo de hidrogênio, um de carbono e três de halogênios. O clorofórmio é o THM mais comum.

Jordão e Pessoa (2011) apontam ainda que em estações de tratamento com efluentes com alta concentração de amônia, a formação de cloraminas é alta, e a taxa de formação de THM é baixa. O inverso é verdadeiro, quando se tem baixa concentração de amônia, o índice de THM chega a aumentar até 10 vezes.

Com o objetivo de avaliar a formação de subprodutos da desinfecção por cloro, Pianowski e Janissek (2003), realizaram um estudo em bancada com o efluente da ETE Colombo-Sede no Paraná. A ETE utiliza como processo de tratamento um Ralf seguido de um Filtro Biológico Anaeróbio. Foram analisados, por cromatografia gasosa, os seguintes THMs: clorofórmio, bromofórmio, diclorometano e dibromoclorometano. Foi utilizado para o estudo um litro do efluente para cada dosagem de cloro (na forma de hipoclorito) aplicada: 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20 e 30 mg/L. Os tempos de contato adotados foram de 30 minutos e 21 horas (para as dosagens de 6 e 10 mg/L). Através do cromatógrafo foram realizadas as leituras dos THMs, obtendo-se como resultado a Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11 – Resultados obtidos após 30 minutos de contato.

ETE COLOMBO - Tempo de contato 30 minutos - coleta 26/08/2002								
Parâmetros	Unidade	Cloro adicionado						
		0 mg/L	4 mg/L	8 mg/L	12 mg/L	16 mg/L	20 mg/L	30 mg/L
Clorofórmio	ig/L	< 2,0	16,80	48,80	97,10	388,30	375,40	936,40
Bromofórmio	ig/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Diclorobromometano	ig/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Dibromoclorometano	ig/L	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
DQO	mgO ₂ /L	138,05						
DBO	mgO ₂ /L	65,41						
Sólidos Totais	mg/L	486,00						
Sólidos Totais Fixos	mg/L	358,00						
Sólidos Tot Voláteis	mg/L	128,00						
Nitrogênio Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	59,92						
pH	7,34	7,30	7,30	7,30	7,30	7,20	7,10
Temperatura	°C	21,00	22,00	22,50	22,00	22,50	23,00	24,00
Cloro Residual Livre	mg/L	< 0,10	0,60	2,00	4,00	4,00	3,00	8,00
Cloro Residual Total	mg/L	< 0,10	1,00	6,00	9,00	10,00	10,00	20,00
Coliformes Totais	NMP/100 mL	3,0 x10 ⁶	< 2,0	80	270	4	< 2,0	4
Coliformes Fecais	NMP/100 mL	1,7 x10 ⁶	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0

Fonte: Pianowski e Janissek (2003).

Tabela 12 – Resultados obtidos após 21 horas de contato.

ETE COLOMBO - Tempo de contato 21 horas - coleta 26/08/2002				
Ensaio	Unidade	Cloro adicionado		
		0 mg/L	6 mg/L	10 mg/L
Clorofórmio	ig/L	< 2,0	⁽¹⁾ 347,6	⁽¹⁾ 474,3
Bromofórmio	ig/L	< 2,0	⁽¹⁾ < 2,0	⁽¹⁾ < 2,0
Diclorobromometano	ig/L	< 2,0	⁽¹⁾ < 2,0	⁽¹⁾ < 2,0
Dibromoclorometano	ig/L	< 2,0	⁽¹⁾ < 2,0	⁽¹⁾ < 2,0
DQO	mgO ₂ /L	138,05		
DBO	mgO ₂ /L	65,41		
Sólidos Totais	mg/L	486,00		
Sólidos Totais Fixos	mg/L	358,00		
Sólidos Tot.Voláteis	mg/L	128,00		
Nitrogênio Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	59,92		
pH	7,34	7,30	7,20
Temperatura	°C	21,00	22,00	22,50
Cloro Residual Livre	mg/L	< 0,10	1,50	2,40
Cloro Residual Total	mg/L	< 0,10	4,00	6,00
Coliformes Totais	NMP/100 mL	3,0 x10 ⁶	500 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾
Coliformes Fecais	NMP/100 mL	1,7 x10 ⁶	< 2,0 ⁽²⁾	< 2,0 ⁽²⁾

Fonte: Pianowski e Janissek (2003).

Analisando as tabelas percebem-se os altos índices de formação de clorofórmio para este efluente se comparado aos outros THMs e os resultados obtidos com as dosagens de 12mg/L são alarmantes. O caso se agravou ainda mais quando o tempo de contato passou para 21h, visto que o limite admissível de THMs é de 100mg/L.

A Tabela 13 apresenta produtos químicos potencialmente carcinogênicos, subprodutos da desinfecção com cloro de águas contendo matéria orgânica (NUVOLARI, 2003).

Tabela 13 – Subprodutos dos processos de cloração de águas contendo matéria orgânica.

Clorobenzeno	1,1,1 – tricloroetano	1,2 – dicloroetano
m-diclorobenzeno	1,1,2 - tricloroetano	Tetracloroeto de carbono
p-diclorobenzeno	1,2 – dicloropropano	Clorofórmio
1,2,4 – triclorobenzeno	1,4 – diclorobutano	Ácido cloroacético
Tetracloroetileno	Bromofórmio	Ácido dicloroacético
Diclorometano	tricloroetileno	Ácido tricloroacético
Cloral		

Fonte: ONO et al., (1991) apud Nuvolari (2003).

4.7 Toxicidade

Tratando-se do fator toxicidade, os esgotos domésticos se enquadram na Portaria da FATMA nº 017/02 de 18/04/2002, a qual estabelece o limite máximo de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências. A mesma norma exige que:

Art 1º - As substâncias existentes no efluente não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos capazes de provocar alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos presentes no corpo receptor.

Art. 2º - A toxicidade aguda do efluente será determinada em laboratório, mediante a elaboração de testes ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados deverão ser expressos em Fator de Diluição (FD).

§ 1º - O Fator de Diluição (FD) representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra na qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste.

Na Tabela 14 são apresentados os limites máximos de toxicidade para efluentes de diferentes origens, previstos pela Portaria nº 017/02.

Tabela 14 – Estabelece os Limites Máximos de Toxidade Aguda para os microcrustáceos - *Daphnia magna* (Straus, 1820) e para as bactérias bioluminescentes - *Vibrio fisheri*, dos efluentes de diferentes categorias.

Origem dos Efluentes		Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Daphnia magna</i>	Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Vibrio fisheri</i>
Origem dos Efluentes Categoria da Atividade	Subcategoria da Atividade	FDd	FDbl
Metal Mecânica	Siderurgia	4	6
	Metalurgia	4	6
	Galvanoplastia	16	8
Alimentícia	Frigoríficos,	2	4

	Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos.		
Esgotos Domésticos e/ou hospitalares		1	4
Resíduos Urbanos	Efluentes de Aterros Sanitários	8	16
Papel e Celulose		2	4
Couro, Peles e produtos similares		4	6
Química	Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados	2	4
Têxtil	Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confecção e tinturaria	2	2
Farmacêutica		2	4

Fonte: PORTARIA Nº 017/02 – FATMA DE 18/04/2002

4.8 Legislação

Em termos de Legislação e Normas em âmbito Nacional ou Estadual, não existe definição de valores de coliformes fecais para lançamento de efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos, porém devem-se considerar as características do corpo receptor. Sabe-se que o corpo receptor, no caso da ETE Insular, é o mar e de acordo com a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, capítulo VI, artigo 42:

“Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1 [...]”

Na mesma Resolução, na seção III, Art.18:

As águas salinas de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I – condições de qualidade de água:

- a) Não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente [...]
- b) coliformes termo tolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA 274, de 2000.

Por sua vez, a Resolução CONAMA 274 de 29 de novembro de 2000, a qual define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras, diz em seu artigo 2:

As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) terão sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria.

§ 1o As águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

- a) Excelente: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 coliformes fecais (termo tolerantes) ou 200 *Escherichia Coli* ou 25 enterococos por 100 mililitros;
- b) Muito Boa: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 coliformes fecais (termo tolerantes) ou 400 *Escherichia Coli* ou 50 enterococos por 100 mililitros;
- c) Satisfatória: quando em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local, houver, no máximo 1.000 coliformes fecais termo tolerantes ou 800 *Escherichia Coli* ou 100 enterococos por 100 mililitros.

É importante salientar que existe a Zona de Mistura, definida pela Resolução CONAMA 430/2011:

Zona de mistura: região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto de lançamento do efluente, e delimitada pela superfície em que é atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos e químicos, bem como o equilíbrio biológico do efluente e os do corpo receptor, sendo específica para cada parâmetro.

Complementando, o artigo 13 da mesma Resolução diz:

Na zona de mistura serão admitidas concentrações de substâncias em desacordo com os padrões de qualidade estabelecidos para o corpo receptor, desde que não comprometam os usos previstos para o mesmo.

Portanto, mesmo que não haja um padrão de lançamento em termos de coliformes fecais, o objetivo a ser alcançado na desinfecção na ETE Insular é lançar até 800 *Escherichia Coli*/100mL. O fato é que lançando no corpo receptor o limite exigido por norma, sabe-se que ultrapassando a zona de mistura, a condição no corpo hídrico será melhor.

Com relação ao cloro residual, de acordo com a norma da ABNT NBR 12209/2011, que trata sobre a Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, a mesma cita:

8.1.2 Como controle da ação da desinfecção, um ou mais dos seguintes indicadores devem ser considerados:

- a) número mais provável (NMP) de coliformes totais (CT)/100 mL;
- b) número mais provável (NMP) de coliformes fecais ou termo tolerantes (CF, CTer)/100 mL;
- c) concentração de *Escherichia coli* (EC)/100 mL;
- d) concentração de estreptococos fecais (EsF)/100 mL;
- e) concentração de enterococos fecais (EnF)/100 mL.

[...] 8.2.2 Qualquer que seja a forma da desinfecção com composto à base de cloro, à exceção do dióxido de cloro, a dosagem aplicada deve ser tal que um residual total mínimo de 0,5

mg/L seja mantido após um tempo de contato mínimo de 30 minutos em relação à vazão média e de 15 minutos em relação à vazão máxima.

4.8.1 Exemplos de Legislação Nacional e Internacional

Há exemplos de municípios que estabeleceram valores de referência para lançamento de efluentes em termos de coliformes, como é o caso de Joinville, que possui como Resolução 001/2009:

Art. 1º Os efluentes sanitários lançados em corpo hídrico ou rede de drenagem pluvial, na área de abrangência do município de Joinville, a jusante dos pontos de captação de águas para abastecimento público, devem atender no mínimo os parâmetros abaixo:

Parâmetro - Limite de Coliformes termo tolerantes (NMP/100ml) Máximo: 2000.

Já a nível internacional, como exemplo na cidade de Austin no Texas – EUA existem duas grandes Estações de Tratamento de Esgotos, Walnut Creek e South Austin Regional. O esgoto é tratado através do processo de lodos ativados e o lodo gerado na estação é bombeado para “Austin Water Utility's biosolids facility”, chamado Hornsby Bend, onde o lodo é tratado a fim de reduzir os patógenos e então é utilizado como adubo para aplicação em solos e também na comercialização do mesmo. Após passar pelo processo de tratamento por lodos ativados, o efluente recebe como desinfetante o cloro. Na Estação Walnut Creek é utilizado o cloro gás em cilindros de uma tonelada e na Estação South Austin Regional é utilizado o hipoclorito de sódio. Para reduzir ainda mais os sólidos em suspensão, o efluente flui através de filtros ou clarificador. Em seguida, uma pequena quantidade de dióxido de enxofre ou o bissulfeto de sódio é aplicado para remover o cloro da água e então o efluente é parte lançado no corpo receptor, no caso o Rio Colorado, e outra parte é reutilizada no Programa de Reutilização de Águas da cidade.

De acordo com contato realizado com um dos responsáveis pelos relatórios de monitoramento de descarga de efluentes, a funcionária informou que eles devem atender aos parâmetros permitidos de descarga, contido no documento chamado de “Permit to Discharge Wastes” emitido pelo Comitê do Texas de Qualidade Ambiental, conforme Tabela 15. Onde esta licença exige que o efluente após passar

por processo de desinfecção por cloro deve conter no mínimo 1mg/L após passar por um tempo de contato de 20 minutos sob vazão máxima. O efluente deve ser desclorado até um residual de cloro abaixo de 0,1mg/L, antes da descarga. A licença exige que eles devem somente relatar os níveis de coliformes, conforme é apresentado na Tabela 15, portanto não existe um padrão de lançamento. Entretanto, como parte do efluente tratado é enviado para reúso, estas águas de reúso possuem exigências máximas de coliformes, então o efluente já é tratado dentro da própria estação e o que é lançado no corpo receptor é de certa forma controlado. A descloração ocorre, segundo a funcionária, para que o cloro não seja tóxico aos organismos aquáticos.

Tabela 15 – Limites de descarga dos Parâmetros exigidos pela Permissão de Descarga (Permit to Discharge) da Estação de Tratamento de Esgotos Walnut Creek.

Effluent Characteristic	Discharge Limitations				Minimum Self-Monitoring Requirements	
	Daily Avg mg/(lbs/day)	7-day Avg mg/l	Daily Max mg/l	Single Grab mg/l	Report Daily Avg. & Daily Max. Measurement Frequency	Sample Type
Flow, MGD	Report	N/A	Report	N/A	Continuous	Totalizing Meter
Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand (5-day)	10 (6255)	15	25	35	One/day	Composite
Total Suspended Solids	15 (9383)	25	40	60	One/day	Composite
Ammonia Nitrogen	2 (1251)	5	10	15	One/day	Composite
<i>E. coli</i> , number per 100 ml	Report	N/A	Report	N/A	Five/week	Grab

Fonte: Walnut Creek Permit – Permit to Discharge (2010).

5 ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE DESINFECÇÃO JÁ AVALIADAS PARA A ETE INSULAR

No ano de 2003 foi publicado o livro: “Desinfecção de Efluentes Sanitários”, através do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, formado pelo Edital 03/2000. As pesquisas realizadas para desenvolver este livro tiveram como tema a: “Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de patógenos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia”. O objetivo da pesquisa foi colocar em prática as tecnologias apresentadas nos editais anteriores, no sentido de obter efluentes de melhores qualidades, controlando os organismos patogênicos do esgoto tratado. O estudo foi

coordenado pelo Prof. Ricardo Franci Gonçalves do Departamento de Saneamento Ambiental da UFES.

A rede foi composta por 12 instituições: UFPB, UFRN, UFPE, Unicamp, UFMG, UFV, UFES, UNB, USP, UFSC, PUC/PR e UFRGS. As instituições apresentaram um total de 14 subprojetos de pesquisa, abordando temas relacionados à desinfecção de efluentes e à reutilização dos efluentes tratados para fins produtivos.

A UFSC realizou pesquisas em escala piloto com três tipos de desinfetantes: Dióxido de cloro, Ozônio e Ultravioleta, utilizando o efluente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Insular.

Dióxido de cloro

Foi realizada em escala piloto, ensaios com diferentes dosagens de dióxido de cloro. A produção do dióxido de cloro foi feita *in loco*, por gerador e dosador da marca BI-O-CHLOR, modelo A 12, com capacidade produtiva de 12 a 120 g ClO_2/h , construído pela Sodi Científica S.P.A., da Itália. A reação química é feita no reator em ambiente controlado, com os reagentes químicos clorito de sódio (NaCl_2), 25%, ácido clorídrico (HCl), 32%, e água de diluição. Esses reagentes não podem ser utilizados em suas concentrações comerciais, pois podem formar o desinfetante em concentração explosiva, por isso é utilizada a água de diluição durante a produção do ClO_2 .

O efluente da ETE Insular foi bombeado com uma vazão média de $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ para o tanque de contato, proporcionando um tempo de contato máximo de 30 minutos. Foram coletadas amostras antes e depois da desinfecção. No tanque de contato foram coletadas amostras em 6 pontos, permitindo a variação dos tempos em intervalos de 5 minutos. Com as amostras foram realizadas as análises de pH, cor, DQO, coliformes totais e E. Coli. No efluente desinfetado foi realizada a medição do residual de dióxido de cloro. As análises de cor e residual de cloro livre e de dióxido de cloro foram realizadas com o espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR/2010. O residual de dióxido de cloro foi medido por leitura direta no espectrofotômetro. As análises de DQO foram realizadas pelo método de refluxo fechado e as de coliformes totais e fecais foram determinadas pela técnica do Colilert, através do meio enzimático MUG.

As dosagens adotadas apresentaram uma boa desinfecção como mostra a Tabela 16. Houve ótimas reduções de coliformes, mesmo em tempos de contato pequenos como em 10 minutos. Portanto, conclui-se

que o dióxido de cloro apresentou-se como um método alternativo e eficiente na inativação de microrganismos patogênicos dentro dos padrões de lançamento no corpo receptor, conforme legislação vigente.

Tabela 16 – Desinfecção de efluente utilizando dióxido de cloro gerado *in loco*: resultados médios.

Instituição	Sistema	TDH (min)	Dióxido		Afluente						Efluente	
			Dosagem (mg/L)	Residual (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SSV (mg/L)	CT (log NMP/100 ml) (1)	CF (log NMP/100 ml) (1)	CT (log NMP/100 ml) (1)	CF (log NMP/100 ml) (1)
UFSC	Lodos ativados	5	2	-	-	6,11	-	-	3,00	3,00	1,30	1,00
		10		-	-		-	-			1,00	1,00
		15		-	-		-	-			1,30	1,00
		20		-	-		-	-			1,83	0,62
		25		-	-		-	-			2,64	1,41
		30		-	-		-	-			2,70	1,57
		5	4	-	111,0	6,75	-	-	6,38	7,18	1,32	1,00
		10		-	-	-	-	0,00			0,00	
		5	6	-	103,0	6,63	-	-	4,86	3,75	0,00	0,00
		5	10	-	58,0	6,59	-	-	5,32	4,56	1,00	1,00
10	-	-		-			0,00	0,00				

Fonte: Gonçalves (2003).

Ozônio

O gerador de ozônio tem capacidade de 22 g O₃/h, com concentração de 40 g O₃/m a partir de oxigênio puro. A capacidade de produção foi avaliada através da titulação com uma solução de iodeto de potássio. Os ensaios de desinfecção foram realizados em:

- Batelada (descontínuo): No processo em descontínuo (a), o reator era formado de uma coluna em acrílico com as dimensões: 1,80 m de altura útil e 0,06 m de diâmetro interno. A alimentação do sistema foi feita por bombeamento, onde o ozônio era introduzido na base da coluna através de um difusor poroso. O efluente era recirculado em contracorrente à direção do fluxo do gás e a variação da dosagem de ozônio era verificada através da variação do tempo de detenção no sistema. Nesse piloto foi determinada a melhor dosagem para a remoção de E. Coli (concentrações testadas: 3, 5, 6 e 9 mg O₃/L), remoção de ovos de helmintos e ensaios toxicológicos.
- Em contínuo (b): o ozônio era introduzido na parte superior de um cilindro de aproximadamente 2 cm de diâmetro e 20 cm de

comprimento, possuindo na sua parte interna módulos de colmeias metálicas dispostas transversalmente umas às outras (misturador estático). O líquido, com fluxo descendente, provocava a sucção do gás para seu interior (efeito Venturi). As colmeias provocam a turbulência necessária a uma boa transferência do ozônio para a fase líquida. A melhor dosagem determinada no processo em batelada (4 mg O₃/L) foi utilizada nesse piloto para verificar a remoção de *E. Coli*.

Com o objetivo de estudar a eficiência da desinfecção diante dos microrganismos: oocistos de *Cryptosporidium* sp. e cistos de *Giardia* sp., foi utilizado um reator de duas colunas (c), em contínuo, onde na primeira coluna ocorria a introdução do gás ozônio e a segunda era destinada a aumentar o tempo de contato; as duas colunas possuíam as dimensões: 1,70 m de altura e 0,10 m de diâmetro. O residual de ozônio foi medido nas duas colunas para determinar o perfil de concentração do reator e calcular o fator CT (concentração de O₃ residual × tempo). Na Figura 6 são apresentadas as unidades de laboratório usadas para a desinfecção com o ozônio.



(a) reator de coluna, em batelada; (b) misturador estático, em contínuo; (c) reator de duas colunas, em contínuo. Fonte: Gonçalves (2003).

Com o presente estudo percebeu-se que o desinfetante ozônio possui uma alta eficiência no que se refere à eliminação de *E. Coli*, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, até mesmo em baixas concentrações (4 mg O₃/L), entretanto, isto depende do valor de SST do efluente; o valor de CT encontrado estava dentro dos padrões recomendados apresentando como valor: 0,283 mg.min/ L. O efluente

desinfetado pelo ozônio não apresentou toxicidade em relação ao micro crustáceo *Daphnia magna*, assim como quando aplicado 5 mgO₃/L não influenciou na divisão celular de eritrócitos de peixes. Porém para esta dosagem, o desinfetante apresentou ineficiência com relação à remoção de ovos de *Ascaris lumbricoides* e já os processos físicos como decantação e filtração são os mais indicados para remoção desses ovos; Porém esta dosagem foi eficiente em 100% na remoção de *Trichuris trichiura*.

Concluiu-se que ao término do presente estudo, o processo de desinfecção utilizando o ozônio possui viabilidade técnica, econômica e ambiental. Considerando a questão econômica, é importante salientar que os custos atrelados a esta tecnologia pode diminuir, caso se altere em escala a vazão.

Ultravioleta

Os estudos foram realizados em escala piloto com ensaios através de um reator em contínuo e um reator em batelada. Para realização de ensaios em batelada utilizou-se um colimador, equipamento composto de uma câmara contendo uma lâmpada ultravioleta e uma abertura por onde um feixe de luz é direcionado através de um tubo reto para um recipiente contendo a amostra a ser irradiada. Como fonte de irradiação, lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, 30 W de potência nominal e 90 cm de comprimento.

Testes preliminares foram realizados utilizando dois tipos de lâmpadas, com intuito de avaliar alguns parâmetros relevantes para o experimento, tais como a intensidade da emissão de radiação, o tempo que cada lâmpada leva até atingir a máxima radiação, a temperatura de trabalho e a influência da temperatura na emissão da radiação. Como amostras de efluentes, foram utilizados três tipos diferentes no colimador: efluentes tratados pelo sistema aeróbio (lodo ativado), anaeróbio (UASB) e lagoas de estabilização, provenientes de estações de tratamentos de esgotos localizadas na grande Florianópolis. O objetivo principal desses ensaios foi avaliar a eficiência de remoção de *E. Coli* e coliformes totais das amostras de efluentes.

Foi utilizado para ensaio o efluente de lodo ativado, para se pesquisar o processo de foto reativação. A metodologia utilizada foi a proposta por Daniel (1993). Além do objetivo principal da pesquisa, avaliou-se também a eficiência de desinfecção pela radiação ultravioleta em relação aos ovos de helmintos (*Ascaris lumbricoides* e *Trichuris*

trichiura) e protozoários em formas incistadas (*Cryptosporidium* sp. e *Giardia* sp.). Ensaios em contínuo foram realizados para o efluente do sistema de lodo ativado.

Durante os ensaios, percebeu-se que a qualidade dos efluentes tratados interferiu na eficácia da desinfecção pela luz ultravioleta. Como regra geral, percebeu-se menores eficiências de inativação bacteriana para amostras de efluentes com valores maiores de cor, turbidez e sólidos em suspensão. Os testes realizados no colimador com o efluente de lodos ativados apresentaram excelentes resultados na inativação de microrganismos, com índice de inativação de *E. Coli* ultrapassando 4 casas logarítmicas e a eficiência na faixa de 99,999%, considerando-se as dosagens médias a partir de 25 mJ/cm .

Observou-se ainda que não somente a concentração, mas também o diâmetro das partículas influencia a eficiência da desinfecção, pois os sólidos podem proteger os microrganismos submetidos à irradiação (Daniel, 1993). Fato esse que vem de encontro à literatura, que recomenda a desinfecção ultravioleta para efluentes com sólidos em suspensão inferiores a 30 mg/L (Usepa, 1999).

De forma a verificar a influência do aumento da concentração de sólidos em suspensão, foram realizados experimentos tomando-se como amostras diferentes proporções de mistura entre efluentes de lodo ativado e efluentes do tanque de aeração. Os testes indicaram que, mesmo para altas concentrações de sólidos em suspensão, foram obtidas reduções em torno de 3 casas logarítmicas, eficiência de 99,9%.

De acordo com o estudo, perceberam-se os seguintes resultados:

- Os ovos de *Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichiura* apresentaram grande resistência à inativação por ultravioleta;
- Houve a diminuição da viabilidade dos cistos de *Giardia*, alcançando eficiência de 43% de inviabilidade para uma dosagem de 80 mJ/ cm ;
- Não foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* sp. nas amostras analisadas;
- Nos testes de foto reativação realizados para o efluente de lodo ativado não foi observada a recuperação de microrganismos.

6 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente estudo, a fim de determinar a dosagem ideal do cloro gás a ser aplicado na Estação de Tratamento de

Esgotos Insular constituiu na aplicação de diferentes dosagens de cloro e a posterior coleta e análise em laboratório do efluente antes e depois da desinfecção. As análises realizadas em laboratório, equipamentos e reagentes receberam o apoio da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), localizado no Balneário Estreito – Florianópolis. Já as análises relativas ao teste de toxicidade foram realizadas por uma empresa terceirizada, também com o apoio da CASAN, e tiveram como objetivo a verificação da toxicidade ou não do efluente tratado e desinfetado pelo cloro gás.

6.1 Caracterização da área

O presente estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Insular (Figura 7) pertencente à CASAN, localizada no bairro Centro do município de Florianópolis, Santa Catarina. A ETE atende a população dos bairros Centro, Agrônômica, Trindade, Prainha, José Mendes, Saco dos Limões, Santa Mônica, Parque São Jorge, Jardim Anchieta, Córrego Grande, Pantanal, Carvoeira, Serrinha e as instituições UFSC e ELETROSUL.



Figura 7 – Localização da ETE Insular. Fonte: CASAN.

A Estação de Tratamento de Esgotos Insular opera 24 horas por dia com uma vazão média de 250 L/s, utilizando como forma de

tratamento o processo de lodos ativados com aeração prolongada, e atualmente possui uma unidade de desinfecção que utiliza o cloro gás como agente desinfetante. Nas Tabela 17 e Tabela 18 são caracterizados o Esgoto Bruto, o Efluente Tratado e é apresentada a Eficiência do Tratamento de acordo com os parâmetros de pH, DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal (N-NH₄), Fósforo Total (P Total), Sólidos Sedimentáveis (SSed) e E. Coli.

Tabela 17 - Características do Esgoto Bruto, Efluente Final e Eficiência do Tratamento.

Ano	Número Coletas	pH		DBO (mg/L)		DQO (mg/L)	
		Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad
2012	49	7.38	0.31	294.5	93.4	477.6	181.2
		6.97	0.42	20.6	12.7	53.6	36.5
	Eficiência (%)	-	-	93.0%		88.8%	
2013	52	7.74	0.25	254.8	81.7	461.8	147.1
		7.04	0.51	12.2	7.0	31.0	13.5
	Eficiência (%)	-	-	95.2%		93.3%	
2014	24	7.71	0.34	258.8	115.0	418.2	105.2
		7.40	0.48	12.6	7.1	25.2	9.7
	Eficiência (%)	-	-	95.1%		94.0%	

	Esgoto <i>in natura</i>
	Efluente final
	Eficiência de remoção do parâmetro

Fonte: CASAN, 2014.

Tabela 18 - Características do Esgoto Bruto, Efluente Final e Eficiência do Tratamento.

Ano	Número Coletas	N-NH ₄ (mg/L)		P Total (mg/L)		SSed (mL/L)		<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	
		Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad

Ano	Número Coletas	N-NH ₄ (mg/L)		P Total (mg/L)		SSed (mL/L)		<i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	
		Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad	Média	Des. Pad
2012	49	43.7	14.6	6.2	2.8	5.3	2.2	1.8E+08	3.8E+08
		22.8	14.2	1.3	1.4	0.0	0.1	-	-
	Eficiência (%)	47.7%		79.1%		99.6%		-	-
2013	52	31.8	11.5	8.1	5.4	4.5	2.1	1.2E+08	2.9E+08
		3.7	5.6	1.7	1.9	0.1	0.3	-	-
	Eficiência (%)	88.3%		78.4%		97.3%		-	-
2014	24	48.0	10.0	6.4	5.3	4.6	2.1	2.1E+07	9.3E+06
		12.0	6.6	3.9	6.7	0.0	0.0	-	-
	Eficiência (%)	75.0%		39.0%		99.8%		-	-

	Esgoto <i>in natura</i>
	Efluente final
	Eficiência de remoção do parâmetro

Fonte: CASAN, 2014.

6.2 Dosagem de Cloro

A unidade de desinfecção, conforme Figura 8, opera dosando em média, atualmente, 80 kg/d (4,4 mg/L – considerando a vazão média no período estudado de 212,85 L/s) de cloro gás. Não existe um tanque de contato na estação. O cloro atualmente é dosado nos decantadores 1 e 2, como mostra a Figura 9, onde através do auxílio de uma bomba o produto desinfetante é enviado para o sistema, este entra em contato com a água de serviço, se mistura, e é então encaminhado para os decantadores 1 e 2 da estação. Assim, com a configuração atual, o decantador 3 fica ausente da desinfecção, onde o efluente do mesmo entra somente em contato com o cloro no cruzamento das tubulações que vêm dos outros dois decantadores, e então se unem e encaminham o efluente para o Tanque de Água de Serviço (TAS).



Figura 8 – Casa de Cloro. Fonte: CASAN, 2014.

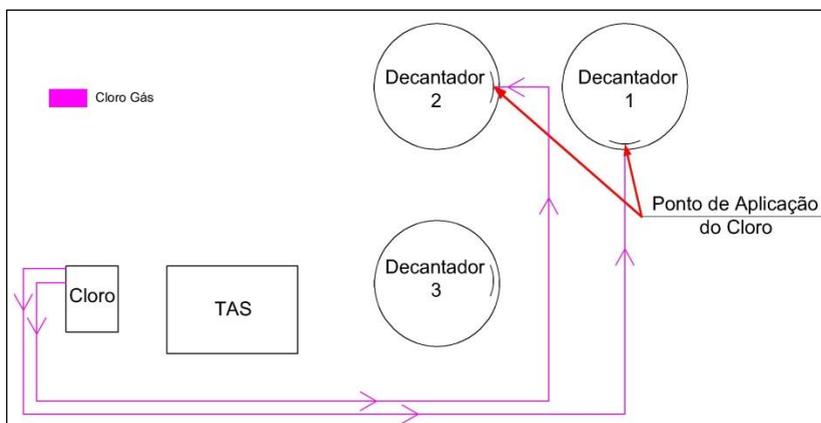


Figura 9 – Pontos de Aplicação do Cloro Gás – Configuração anterior ao Estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o presente trabalho foi realizada uma variação de dosagem de cloro gás através do rotâmetro, Figura 10, que permite o controle manual da quantidade de cloro utilizado na desinfecção. Além disso, a configuração do sistema foi alterada, onde se colocou em operação a segunda bomba, Figura 11, encaminhando assim cloro gás para as

calhas dos três decantadores existentes na estação. A nova configuração empregada é apresentada na Figura 12.



Figura 10 – Rotâmetro. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 11 – Bombas. Fonte: Elaborado pelo autor.

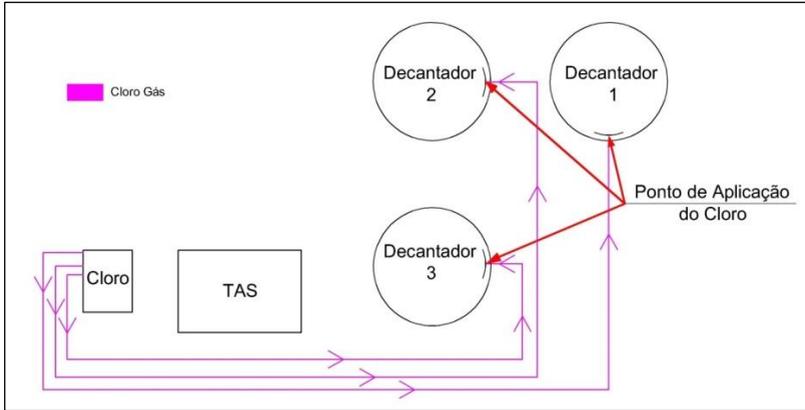


Figura 12 – Pontos de Aplicação do Cloro Gás – Configuração posterior ao Estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cilindros de cloro gás, ilustrados na Figura 13, contêm cada um 900 kg e estes são interligados por uma canalização que se liga aos cloradores (Figura 14). Estes por sua vez possuem uma válvula que permite a abertura ou fechamento da entrada de cloro gás o qual é encaminhado para as bombas. Foram realizadas dosagens variando de 40 a 90 kg/d (2,2 mg/L a 4,9 mg/L) do agente desinfetante.



Figura 13– Cilindros de cloro gás. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 14 - Detalhe dos Cloradores. Fonte: Elaborado pelo autor.

É necessário para o funcionamento do sistema de desinfecção, a mistura do cloro gás com água, assim no caso da ETE Insular a água utilizada é o líquido do efluente final da estação presente no tanque de água de serviço. Este líquido é enviado para caixas d'água, conforme Figura 15, presentes ao lado da casa de cloro, o qual permite armazenar a água de mistura do processo.



Figura 15 – Caixas d'água de armazenamento de água de serviço. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 16 – Detalhe dos registros de saída da caixa d'água. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 17 – Canalização a qual encaminha o agente desinfetante para os decantadores. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 Decantadores

As dosagens de cloro foram realizadas nos três decantadores existentes na ETE como ilustra a Figura 18. As coletas das amostras imediatamente antes de entrar em contato com o cloro foram feitas na

calha de um dos decantadores a fim de comparar a eficiência em termos legais, do nível de tratamento adotado na estação, no caso, aeração prolongada, com a desinfecção por cloro gás. Foram utilizados dois frascos, um frasco esterilizado destinado à análise de colimetria e outro destinado às análises de pH e turbidez.



Figura 18 – Detalhe da entrada do agente desinfetante no decantador. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Tanque de Água de Serviço



Figura 19 – Tanque de Água de Serviço. Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram coletadas amostras no Tanque de Água de Serviço (TAS), em dois frascos, um frasco esterilizado destinado à análise de coliformes e outro destinado às análises de pH e turbidez. O TAS localiza-se ao lado da casa de cloro, Figura 19, sendo a última unidade de tratamento da ETE. Foi realizada no local a análise de cloro residual. O aparelho utilizado para medir a quantidade de cloro residual é um colorímetro da marca HANNA, conforme Figura 20, e acompanha duas cubetas e reagentes. Para a realização da análise deve-se coletar através das duas cubetas o efluente no TAS. Faz-se a primeira medição ‘C1’ como sendo o branco e em seguida é colocado o reagente na segunda cubeta e então se faz a medição do ‘C2’ como sendo a quantidade de cloro residual, dada em ppm ou mg/L.



Figura 20 – Colorímetro utilizado para quantificar o cloro residual. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Análises em laboratório

As amostras coletadas tanto no decantador como no TAS eram encaminhadas para o Laboratório Regional de Esgoto localizado na unidade da CASAN no bairro Balneário-Estreito.

As análises de Coliformes, pH e turbidez seguiram os métodos recomendados pelo Standard Methods for the examination of water and wastewater.

6.5.1 Coliformes

O método utilizado para a análise de coliformes foi através do reagente Colilert-18 da marca IDEXX (ver Figura 21), o qual utiliza 18 horas para obter os resultados.



Figura 21 – Reagente COLILERT-18. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.2 pH e Turbidez

A fim de quantificar o pH e a turbidez das amostras do TAS e do decantador utilizou-se um pHmetro e um turbidímetro ambos da marca HACH, conforme Figura 22 e Figura 23.



Figura 22 – pHmetro. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 23 – Turbidímetro. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6 Tempo de Contato

Como já mencionado anteriormente, o sistema de desinfecção da ETE Insular não conta com um tanque de contato e o cloro é dosado diretamente nas calhas dos decantadores. Portanto, foi utilizado o corante alimentício, da marca ARCOLOR, para estimar o tempo em que o cloro permanece em contato com o efluente. Para tanto, adicionou-se uma quantidade do corante no ponto de dosagem de cloro para cada decantador, sendo cronometrado o tempo entre o ponto de aplicação e o Tanque de Água de Serviço (TAS). A Figura 24 ilustra o momento em que o corante estava saindo do TAS.

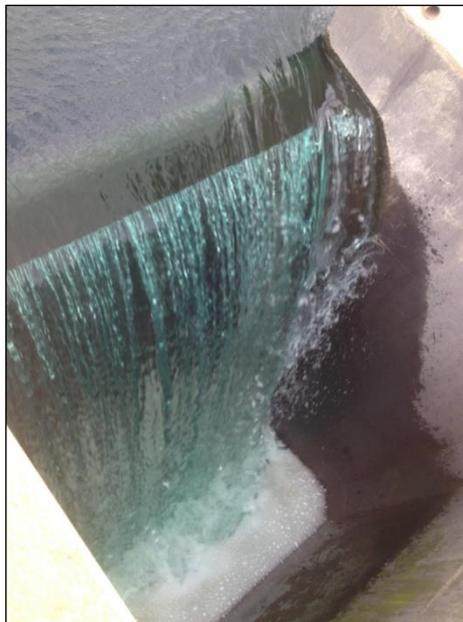


Figura 24 – Foto que ilustra o momento de saída do corante alimentício no TAS. Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, para o decantador 1, sendo o mais longe do TAS, o tempo foi de 8 minutos, para o decantador 2, o tempo foi de 7 minutos, e para o decantador 3, foram 4,32 minutos. Portanto, obteve-se como média do tempo de contato, 6,43 minutos. Cabe ressaltar que a vazão da ETE é distribuída igualmente entre os três decantadores. Na Figura 25 é representado, sem escala, a configuração dos decantadores em relação ao TAS. As tubulações de saída dos decantadores possuem uma distância até o TAS de aproximadamente:

- Decantador 1 até o TAS: 120m;
- Decantador 2 até o TAS: 80m;
- Decantador 3 até o TAS: 13m;

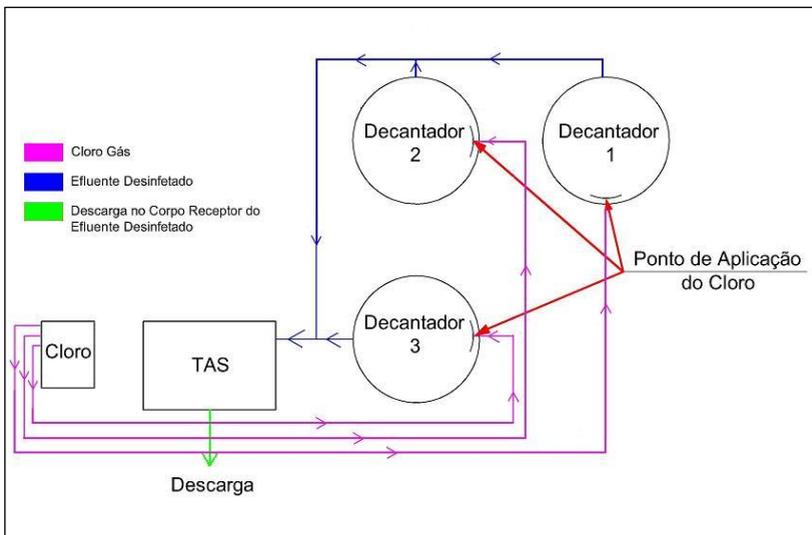


Figura 25 – Esquema da Configuração do Sistema de Desinfecção. Fonte: Elaborado pelo autor.

6.7 Teste de Toxicidade

Com o intuito de atender a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, seção III, Art.18:

As águas salinas de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I – condições de qualidade de água:

- a) Não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido. [...].

E de atender a Portaria da FATMA 017/02, a qual apresenta os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens, foi realizado um teste de toxicidade no efluente tratado e desinfectado pelo cloro gás. As análises ecotoxicológicas foram realizadas pela empresa UMWELT Ltda Assessoria Ambiental. A coleta

foi realizada no Tanque de Água de Serviço (TAS), no dia 14/01/2014, às 13:50 e a dosagem adotada para o teste foi de 60kg/d de cloro gás.

As análises basearam-se nas Normas Técnicas ABNT NBR 15411-3:2006 e ABNT NBR 12713:2009. Os microrganismos bioindicadores utilizados foram a bactéria marinha luminescente *Vibrio fischeri* e o microcrustáceo *Daphnia Magna*. As análises consistiram na exposição dos bioindicadores à amostra em diluições sucessivas sob condições experimentais estritamente controladas e na avaliação do efeito tóxico da mesma, a qual se manifesta através da inibição da luminescência da bactéria e da inibição da capacidade natatória do microcrustáceo.

Os resultados das análises ecotoxicológicas são expressos como fatores de toxicidade (FT) da amostra testada, equivalente ao fator de diluição, FD, definido na Portaria nº017/02 da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA, o qual o valor indica quantas vezes a amostra deve ser diluída (v/v) para deixar de apresentar algum efeito tóxico que seja significativo sobre os organismos-teste. Para um valor de FT=1, indica que a amostra pura não apresenta toxicidade significativa para o bioindicador. Já um valor de FT=2 indica que a amostra deve ser diluída duas vezes 1:2 (v/v) para deixar de ser tóxica, e assim sucessivamente.

O fator de toxicidade para *Daphnia Magna*, FT_D, representa a menor diluição da amostra em que não se observa efeito significativo de inibição da capacidade natatória do organismo indicador inferior ou igual a 10% dos organismos expostos. O fator de toxicidade para *Vibrio fischeri*, FT_B, representa a menor diluição da amostra em que não se observa efeito significativo de inibição da luminescência do organismo indicador.

Os resultados de toxicidade aguda para a bactéria *Vibrio fischeri* são expressos em termos da concentração CE: concentração efetiva da amostra que causa inibições de luminescência. CE₂₀ é a concentração efetiva da amostra inibidora de 20% de luminescência da bactéria e CE₅₀ é a concentração efetiva da amostra inibidora de 50% de luminescência da bactéria. Caso a amostra pura não seja suficientemente tóxica para apresentar inibição de luminescência de 20% e/ou 50%, o resultado é expresso como não aplicável (n.a.).

De acordo com a Portaria nº017/02 da FATMA prevista para o Estado de Santa Catarina, os limites máximos de toxicidade para efluentes do tipo esgotos domésticos e/ou hospitalares são:

- Toxicidade Aguda para *Daphnia Magna* (FD_d): 1;
- Toxicidade Aguda para *Vibrio fischeri* (FD_{bl}): 4;

7 ANÁLISES E RESULTADOS

As análises relativas à determinação da dosagem ideal do cloro gás foram realizadas no período de 15 de outubro a 19 de dezembro de 2013. Inicialmente a dosagem do desinfetante era realizada com somente uma bomba, atendendo apenas dois dos três decantadores existentes da ETE, e os dados de colimetria extrapolaram o limite de 800 *Escherichia Coli*/100mL, referente à água satisfatória para contato primário definida na Resolução CONAMA 274 de 29 de novembro de 2000, conforme apresentado na Tabela 19:

Tabela 19 – Resultados relativos às dosagens de cloro gás com a utilização de somente uma bomba dosadora.

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Hora Coleta	Vazão	pH	Turbidez	Cloro Residual	Coliformes Totais	E. Coli
	(Kg/dia)	(horas)	(L/s)		NTU	(mg/L - ppm)	NMP/100mL	NMP /100mL
15/10	0,00	13:45	250	7,3	5,28	0,00	8,80E+06	2,60E+06
15/10	55,00			7,3	4,94	0,31	>2,40E+04	>2,40E+04
17/10	0,00	15:00	260	7,34	2,36	0,00	1,35E+06	<1,00E+05
17/10	80,00			7,38	2,24	0,36	1,20E+05	2,01E+04
29/10	0,00	14:30	330	7,13	3,7	0,00	6,27E+06	2,01E+06
29/10	80,00			7,12	3,13	0,55	>2,40E+04	>2,40E+04
5/11	0,00	13:40	320	6,85	11,0	0,00	4,35E+06	1,37E+06
5/11	80,00			6,76	14,0	0,43	2,42E+05	1,55E+05

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se verificou que a utilização de somente uma bomba era totalmente inviável para o sistema, exigindo maiores demandas de cloro gás, a configuração do sistema foi alterada e foi adotada uma segunda bomba dosadora, e então os dados iniciais foram descartados para a elaboração dos gráficos. Após esta constatação, iniciaram-se as

variações de dosagens de cloro gás utilizando-se duas bombas. A Tabela 20, apresenta as datas de coleta, as dosagens realizadas, hora de coleta, vazão do sistema, pH, turbidez, cloro residual, coliformes totais e E. Coli. As dosagens de 0,00kg/d representam as análises realizadas no decantador antes de entrar em contato com o cloro gás.

Tabela 20 – Resultados

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Hora Coleta	Vazão	pH	Turbidez	Cloro Residual	Coliformes Totais	E. Coli
	(Kg/dia)	(horas)	(L/s)		NTU	(mg/L - ppm)	NMP/100mL	NMP /100mL
12/11	0,00			7,11	5,09	0,00	1,59E+06	4,87E+05
12/11	70,00	14:30	230	7,07	5,61	0,77	>2,42E+03	>2,42E+03
14/11	0,00			7,28	4,34	0,00	2,91E+06	9,59E+05
14/11	70,00	14:00	260	6,88	3,63	0,8	>2,42E+04	4,11E+03
19/11	0,00			7,07	5,82	0,00	2,14E+06	6,84E+05
19/11	90,00	16:00	200	7,07	4,12	1,16	4,10E+00	1
19/11	70,00	15:30	230	7,09	4,68	0,8	>2,40E+04	5,75E+03
19/11	60,00	15:00	260	7,14	4,91	0,92	>2,40E+04	4,16E+03
21/11	0,00			7,22	5,34	0,00	2,91E+06	1,31E+06
21/11	90,00	16:00	290	7,32	5,91	0,83	2,26E+01	3,10E+00
21/11	80,00	15:40	255	7,15	6,3	1,27	2,00E+00	1,00E+00
21/11	70,00	15:20	255	7,16	6,03	1,00	1,00E+01	1,00E+01
21/11	60,00	15:00	220	7,21	6,49	0,75	1,00E+01	1,00E+01
26/11	0,00			6,95	4,26	0,00	3,41E+05	8,50E+04
26/11	90,00	15:00	290	6,22	3,43	1,02	5,20E+00	1,00E+00
26/11	80,00	14:40	290	6,99	3,4	1,08	2,00E+00	1,00E+00
26/11	70,00	14:20	290	6,95	3,36	0,85	1,00E+01	1,00E+01
26/11	60,00	14:00	290	6,93	3,13	0,85	1,00E+01	1,00E+01
28/11	0,00			7,64	5,77	0,00	8,13E+05	3,89E+05
28/11	90,00	15:20	240	7,3	8,38	0,85	>2,42E+03	1,18E+02
28/11	80,00	15:00	280	7,35	7,24	0,65	2,61E+02	1,34E+01

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Hora Coleta	Vazão	pH	Turbidez	Cloro Residual	Coliformes Totais	E. Coli
	(Kg/dia)	(horas)	(L/s)		NTU	(mg/L - ppm)	NMP/100mL	NMP /100mL
28/11	60,00	14:00	270	7,22	7,96	0,77	1,00E+01	1,00E+01
3/12	0,00			6,88	2,53	0,00	6,63E+05	2,82E+05
3/12	90,00	15:50	225	6,65	2,88	0,89	6,30E+00	1,00E+00
3/12	80,00	15:20	225	6,69	3,08	0,74	2,00E+00	1,00E+00
3/12	70,00	15:00	220	6,78	2,14	0,72	2,00E+00	1,00E+00
3/12	60,00	14:30	220	6,78	2,36	0,62	3,10E+00	1,00E+00
12/12	0,00			7,31	5,02	0,00	1,27E+06	4,95E+05
12/12	80,00	15:00	320	7,12	3,81	0,89	5,10E+00	1,00E+00
12/12	70,00	14:34	310	7,06	2,72	0,91	6,30E+00	1,00E+00
12/12	60,00	14:15	310	7,09	3,24	1,00	1,09E+00	1,00E+00
12/12	50,00	13:50	300	7,15	3,17	0,61	2,00E+00	1,00E+00
17/12	0,00			7,21	2,51	0,00	2,76E+06	8,13E+05
17/12	70,00	15:00	320	7,18	3,09	0,89	1,46E+01	1,00E+00
17/12	60,00	14:35	320	7,33	3,69	0,80	2,72E+01	1,00E+00
17/12	50,00	14:15	320	7,25	4,00	0,69	9,80E+00	1,00E+00
17/12	40,00	13:50	330	7,25	3,35	0,59	4,56E+01	7,40E+00
19/12	0,00			7,29	4,55	0,00	2,14E+06	8,33E+05
19/12	60,00	14:30	270	7,15	3,68	0,78	5,65E+01	1,35E+01
19/12	50,00	14:15	310	7,29	3,47	0,64	1,21E+02	1,22E+01
19/12	40,00	14:00	310	7,31	2,24	0,61	3,99E+01	4,10E+00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 21 são apresentados os custos atrelados às dosagens de cloro. Foram considerados de acordo com os dados fornecidos pela CASAN, que um cilindro de cloro de 900 kg equivale a R\$4689,00. Portanto, o custo por kg de cloro é igual a R\$5,21.

A vazão média no período foi obtida através da média das vazões no período total das coletas. Assim estimou-se quanto de esgoto foi tratado em m³/d.

Considerando a dosagem adotada e a vazão de esgoto tratada diariamente, obteve-se então o custo de Cl por m³ (R\$/m³.d).

Assim o custo mensal de cloro foi obtido através da dosagem de cloro diária e do custo de cloro por kg, resultando em R\$/mês.

Tabela 21 – Custos atrelados às dosagens de cloro

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Custo diário Cloro*	Q _{med} diária	Q _{med} período	Volume diário tratado	Custo por m ³ considerando vazão média do período	Custo mensal Cloro	Tempo médio de contato
	(Kg/dia)	R\$	L/s	L/s	m ³ /dia	R\$ / m ³ / dia	R\$/mês	min
12/11	0,00	0	229,22	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
12/11	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
14/11	0,00	0	192,34	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
14/11	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
19/11	0,00	0	200,78	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
19/11	90,00	468,9		212,85	18390	R\$ 0,025	R\$ 14,067,00	6,43
19/11	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
19/11	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
21/11	0,00	0	204,68	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
21/11	90,00	468,9		212,85	18390	R\$ 0,025	R\$ 14,067,00	6,43
21/11	80,00	416,8		212,85	18390	R\$ 0,023	R\$ 12,504,00	6,43
21/11	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
21/11	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
26/11	0,00	0	211,88	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
26/11	90,00	468,9		212,85	18390	R\$ 0,025	R\$ 14,067,00	6,43
26/11	80,00	416,8		212,85	18390	R\$ 0,023	R\$ 12,504,00	6,43
26/11	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
26/11	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
28/11	0,00	0	223,65	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
28/11	90,00	468,9		212,85	18390	R\$ 0,025	R\$ 14,067,00	6,43
28/11	80,00	416,8		212,85	18390	R\$ 0,023	R\$ 12,504,00	6,43
28/11	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Custo diário Cloro*	Q _{med} diária	Q _{med} período	Volume diário tratado	Custo por m ³ considerando vazão média do período	Custo mensal Cloro	Tempo médio de contato
	(Kg/dia)	R\$	L/s	L/s	m ³ /dia	R\$ / m ³ / dia	R\$/mês	min
3/12	0,00	0	208,44	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
3/12	90,00	468,9		212,85	18390	R\$ 0,025	R\$ 14,067,00	6,43
3/12	80,00	416,8		212,85	18390	R\$ 0,023	R\$ 12,504,00	6,43
3/12	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
3/12	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
12/12	0,00	0	244,03	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
12/12	80,00	416,8		212,85	18390	R\$ 0,023	R\$ 12,504,00	6,43
12/12	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
12/12	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
12/12	50,00	260,5		212,85	18390	R\$ 0,014	R\$ 7,815,00	6,43
17/12	0,00	0	247,9	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
17/12	70,00	364,7		212,85	18390	R\$ 0,020	R\$ 10,941,00	6,43
17/12	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
17/12	50,00	260,5		212,85	18390	R\$ 0,014	R\$ 7,815,00	6,43
17/12	40,00	208,4		212,85	18390	R\$ 0,011	R\$ 6,252,00	6,43
19/12	0,00	0	231,72	212,85	18390	R\$ 0,000	R\$ -	6,43
19/12	60,00	312,6		212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9,378,00	6,43
19/12	50,00	260,5		212,85	18390	R\$ 0,014	R\$ 7,815,00	6,43
19/12	40,00	208,4		212,85	18390	R\$ 0,011	R\$ 6,252,00	6,43

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: *Considerando dosagem constante nas 24 horas/dia.

Com o intuito de avaliar o comportamento dos resultados das análises foram elaborados alguns gráficos:

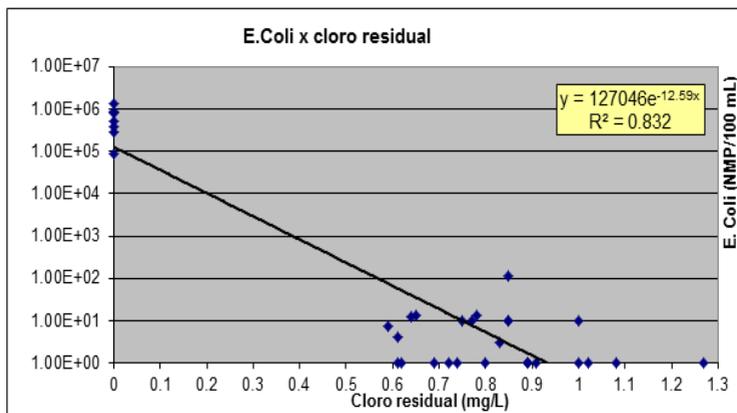


Figura 26 – Gráfico E. Coli versus Cloro Residual. Fonte: Elaborado pelo autor.

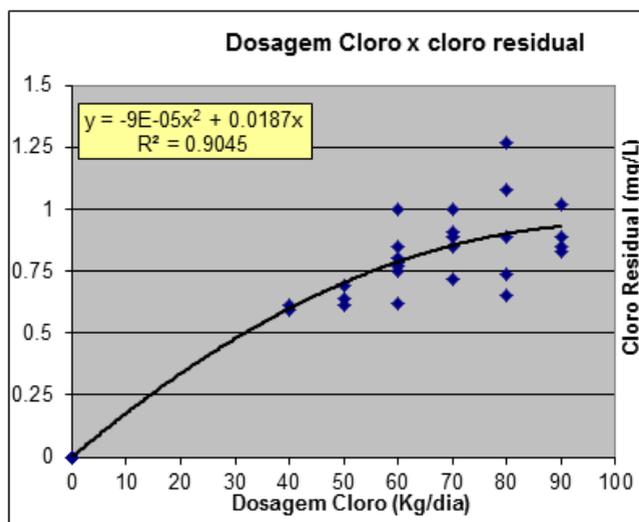


Figura 27 – Gráfico Dosagem de Cloro versus Cloro Residual. Fonte: Elaborado pelo autor.

patogênicos. Observa-se assim a importância de manter-se um residual de cloro para que o efeito da desinfecção seja prolongado.

Verificando o comportamento do último gráfico, o qual correlaciona o Custo do Cloro e E. Coli percebe-se que à medida que se investe no produto desinfetante menor será o número de organismos patogênicos. E que para ter uma desinfecção que atenda a legislação, e que se alcance no máximo 800NMP *Escherichia Coli*/100mL, é preciso investir em média 2 centavos por m³/d.

Além disso, observando-se a Tabela 20, nota-se a ação do cloro sobre a matéria orgânica, pois em geral onde havia um maior cloro residual havia uma menor turbidez, o que é característico do efeito do cloro, pois o mesmo degrada a matéria orgânica. Observa-se também através da Tabela 20, que os valores de pH para o efluente antes de entrar em contato com o cloro, possui em média valores iguais a 7. Isto representa que após a aplicação do cloro, há a presença dominante do ácido hipocloroso (HOCl), o qual possui a capacidade oxidante e desinfetante do cloro. Condição esta que favorece a desinfecção. Sabe-se conforme citado anteriormente, que o HOCl possui potencial germicida maior que o íon OCl⁻ e é ideal, portanto, que a cloração seja realizada em pH com valores baixos.

7.1 Teste de Toxicidade

As análises ecotoxicológicas realizadas para a dosagem de 60 kg/d (3,3 mg/L) apresentaram um resultado positivo, não apresentando toxicidade conforme Tabela 22:

Tabela 22 – Análises Ecotoxicológicas para a dosagem de 60 kg/d.

Análises Ecotoxicológicas				
Tipo de Análise	Metodologia	Limite de Detecção	Resultado	Legislação (Portaria nº017/02)
T001. Ensaio de Ecotoxicidade aguda com <i>Daphnia magna</i> – em Água e Efluente	Ensaio segundo ABNT NBR 12713:2009	1 FT _D	FT _D = 1	FD _d = 1
T003. Ensaio de Ecotoxicidade aguda com <i>Vibrio fischeri</i> – em Água	Ensaio segundo ABNT NBR 15411 -	1 FT _B	FT _B = 1 CE ₂₀ = n.a CE ₅₀ = n.a	FD _b = 4

e Efluente	3:2012			
------------	--------	--	--	--

Fonte Adaptada: Relatório de Análises – UMWELT Biotecnologia Ambiental.
 Nota: Os resultados das análises ecotoxicológicas são expressos como fatores de Toxicidade (FT) da amostra testada, equivalente ao Fator de Diluição, FD, definido na Portaria nº017/02 da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA.

Na Tabela 23 são apresentadas as características da amostra coletada na ETE Insular utilizadas para as análises ecotoxicológicas:

Tabela 23 – Características da amostra utilizada para as análises ecotoxicológicas

Características da Amostra:
pH: 7,5
Incolor e Transparente
Condutividade: 0,89mS/cm.

Fonte Adaptada: Relatório de Análises – UMWELT Biotecnologia Ambiental.

8 ANÁLISE DE CUSTO X BENEFÍCIO

No presente estudo não se conseguiu alcançar com as dosagens adotadas um limite próximo de 800NMP de *Escherichia Coli*/100mL definido pela Resolução CONAMA 274/2000 para corpos de água satisfatórios ao contato primário. Inicialmente as dosagens iriam variar de 90 a 50 kg/d (4,9 a 2,7 mg/L). Porém com os resultados positivos das análises verificou-se que as variações poderiam ainda mais diminuir, e alcançou-se as dosagens de 40 kg/d (2,2 mg/L) e ainda sim os resultados foram bons.

Entretanto, para garantir que o limite de lançamento de E. Coli fosse atendido em todos os momentos, verificou-se que a dosagem de 60 kg/d seria o valor ótimo, do ponto de vista de garantia do processo e melhor custo x benefício. Além disso, para esta dosagem foram realizados um número grande de testes os quais confirmaram o atendimento à legislação, assim como também, em termos de residual de cloro também se alcançou o exigido pela ABNT NBR 12209/2011, mantendo-se em todos os casos um residual mínimo de 0,5 mg/L. A dosagem de 60kg/d (3,3 mg/L) permite uma margem de segurança maior, visto que para as dosagens de 50 e 40 kg/d não se tem dados

representativos. Assim, após a constatação de que a dosagem de 60 kg/d, seria a dosagem ótima a ser escolhida, foi realizado um teste de toxicidade para a relativa dosagem.

Avaliando os resultados de colimetria como também a análise ecotoxicológica, concluiu-se que a dosagem de 60 kg/d pode ser considerada como uma dosagem ótima a ser praticada na ETE Insular, a qual garante a desinfecção em até 800 NMP de *Escherichia Coli* /100mL com as vazões máximas da ETE. Esta dosagem apresentou eficiência na maior parte dos resultados, principalmente nos dias de altas temperaturas, pois estas favorecem a ação do cloro contra os agentes patogênicos. As análises, em geral, foram realizadas em dias de altas temperaturas, compreendidos entre os meses de outubro a dezembro.

A configuração anteriormente adotada na ETE Insular era de uma dosagem de aproximadamente 80 kg/d (4,4 mg/L) e era utilizada somente uma bomba. As análises de colimetria extrapolavam os limites máximos de 800NMP de *Escherichia Coli*/100mL da Resolução CONAMA 274/200 para água satisfatória para contato primário.

Adotando-se a dosagem de 60 kg/d, a economia mensal se comparado à dosagem anteriormente adotada na ETE, será de R\$3126,00.

Tabela 24 – Resultados referentes à dosagem de 60 kg/d.

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Hora Coleta	Vazão	pH	Turbidez	Cloro Residual	Coliformes Totais	E. Coli
	(Kg/dia)		(L/s)		NTU	(mg/L - ppm)	NMP/100mL	NMP/100mL
19/11	60,00	15:00	260	7,14	4,91	0,92	>2,40E+04	4,16E+03
21/11	60,00	15:00	220	7,21	6,49	0,75	1,00E+01	1,00E+01
26/11	60,00	14:00	290	6,93	3,13	0,85	1,00E+01	1,00E+01
28/11	60,00	14:00	270	7,22	7,96	0,77	1,00E+01	1,00E+01
3/12	60,00	14:30	220	6,78	2,36	0,62	3,10E+00	1,00E+00
12/12	60,00	14:15	310	7,09	3,24	1,00	1,09E+00	1,00E+00
17/12	60,00	14:35	320	7,33	3,69	0,80	2,72E+01	1,00E+00
19/12	60,00	14:30	270	7,15	3,68	0,78	5,65E+01	1,35E+01

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da tabela de custos a seguir, Tabela 25, percebe-se que com apenas aproximadamente 1,7 centavos por m³ de efluente tratado, considerando a vazão média no período do estudo como 212,85 L/s, consegue-se atingir a desinfecção de maneira eficiente, atendendo os padrões exigidos em norma, tanto no que se refere à E. Coli como ao residual mínimo de cloro no efluente, além disso, a dosagem de 60 kg/d não apresentou toxicidade.

Tabela 25 – Custo de cloro referente à dosagem de 60 kg/d.

Data	Dosagem de Cl (kg/d)	Custo diário Cloro*	Q _{med} diária	Q _{med} período	Volume diário tratado	Custo por m ³ considerando vazão média do período	Custo mensal Cloro	Tempo médio de contato
	(Kg/dia)	R\$	L/s	L/s	m ³ /dia	R\$ / m3 / dia	R\$/mês	min
19/11	60,00	312,6	200,78	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
21/11	60,00	312,6	204,68	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
26/11	60,00	312,6	211,88	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
28/11	60,00	312,6	223,65	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
3/12	60,00	312,6	208,44	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
12/12	60,00	312,6	244,03	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
17/12	60,00	312,6	247,9	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43
19/12	60,00	312,6	231,72	212,85	18390	R\$ 0,017	R\$ 9.378,00	6,43

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos de eficiência de tratamento, conclui-se que a dosagem de 60kg/d, representa resultados excelentes, na sua grande maioria resultando em 100% na remoção de E. Coli, mesmo sem existir um tanque de contato no sistema de desinfecção. Esta eficiência foi obtida a partir dos resultados de colimetria do efluente coletado na calha do decantador, imediatamente antes de entrar em contato com o cloro gás, e a colimetria do efluente desinfetado com cloro gás a uma dosagem de 60kg/d, como demonstra a equação a seguir:

$$E(\%) = \frac{\text{Colimetria efluente sem cloro} - \text{Colimetria efluente com cloro}}{\text{Colimetria efluente sem cloro}} \times 100 \text{ (Equação 5)}$$

Resultando na Tabela 26:

Tabela 26 – Eficiência da desinfecção referente à dosagem de 60kg/d.

Data	Dosagem de Cl	Hora Coleta	Vazão	E. Coli	Eficiência na Desinfecção
	(kg/d)	(h)	L/s	NMP/100mL	%
19/11	0,00			6,84E+05	99,39
19/11	60,00	15:00	260	4,16E+03	
21/11	0,00			1,31E+06	100,00
21/11	60,00	15:00	220	1,00E+01	
26/11	0,00			8,50E+04	99,99
26/11	60,00	14:00	290	1,00E+01	
28/11	0,00			3,89E+05	100,00
28/11	60,00	14:00	270	1,00E+01	
3/12	0,00			2,82E+05	100,00
3/12	60,00	14:30	220	1,00E+00	
12/12	0,00			4,95E+05	100,00
12/12	60,00	14:15	310	1,00E+00	
17/12	0,00			8,13E+05	100,00
17/12	60,00	14:35	320	1,00E+00	
19/12	0,00			8,33E+05	100,00
19/12	60,00	14:30	270	1,35E+01	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: A dosagem de 0,00 kg/d representa o efluente coletado na calha do decantador, imediatamente antes de entrar em contato com o agente desinfetante.

9 ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Implantação de Tanque de Contato

Como mencionado na Revisão bibliográfica um sistema de cloração deve conter entre outras unidades o tanque de contato e um sistema de mistura. Observa-se que na estação de tratamento de esgotos Insular, a referida unidade é ausente. Os casos em que a mesma pode ser suprimida são aqueles em que o emissário final possui um percurso superior ao tempo de contato desejado para a desinfecção. Os tempos de contato normalmente empregados são na faixa de 15 (para vazões máximas) até 45 minutos.

Sabe-se que a aplicação do cloro da ETE Insular, após o presente estudo, se dá em três decantadores e o tempo de contato do cloro até o TAS varia de acordo com cada decantador, visto que a distância dos mesmos é diferente. Considerando o tempo de contato médio dos três decantadores de 6,43 minutos, e que do TAS até o corpo receptor o tempo de percurso aproximado do efluente é de 3 minutos, obtém-se então um tempo inferior ao recomendado. Justifica-se então a necessidade da aplicação de um tanque de contato, o qual é previsto em norma (ABNT NBR 12209:2011).

Com a implantação de um tanque de contato ao sistema de cloração é possível que as dosagens de cloro diminuam significativamente e também consequentemente os custos relacionados à desinfecção.

Implantação de Sistema Automatizado

A fim de automatizar o sistema e fixar valores de cloro residual pode-se tomar como exemplo o caso da Estação de Tratamento de Esgotos de Nova Iorque, citada por EPA (1999):

A estação de tratamento de esgotos Marsh Creek em Geneva, Nova Iorque, alcançou os requisitos rigorosos de permissão do Estado para cloro residual e coliformes fecais através da adoção de uma nova estratégia de controle do cloro. A estratégia foi elaborada para monitorar as variações de demanda de cloro da estação e alimentar a quantidade de cloro requerida através da medição do potencial de redução-oxidação (ORP).

Após três meses de estudos, a estação instalou um sistema de ORP para monitorar e regular a quantidade de cloro presente na solução. O sistema de controle mensurou a demanda de cloro e regulou a quantidade de cloro necessária para atingir e manter o ORP dentro dos parâmetros desejados. O sistema foi calibrado para manter o limite de controle total de cloro residual entre 0,2 e 0,1 mg/L.

Um eletrodo, colocado a aproximadamente 300 pés à montante do ponto de injeção, mediu o ORP, que então converteu para um sinal de 4 a 20 miliampères. Baseado no sinal, o sistema de controle direcionava o clorador e ajustava a taxa de alimentação de acordo com a demanda variável de cloro no sistema. Um segundo eletrodo foi utilizado na linha auxiliar de descarga para monitorar a precisão do sistema de controle de cloro.

A estação de tratamento então pôde atingir os limites de coliformes fecais e manter um residual de cloro no efluente, abaixo de 0,25mg/L. Além de atingir os requisitos de permissão de descarga, a estação reduziu significativamente o custo de consumo de cloro. Na época do estudo, era estimado que o sistema de controle de ORP poderia se pagar num período de aproximadamente 30 meses devido a redução do custo de consumo de cloro.

10 CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi possível observar a importância da desinfecção no tratamento de esgotos, por se tratar de uma questão não somente de saúde pública, como também, a não realização da desinfecção pode alterar a qualidade da água do corpo receptor. Como se mencionou, os sistemas de tratamento convencionais projetados para a remoção de matéria orgânica e de sólidos não atingem uma remoção satisfatória dos organismos patogênicos. O Brasil carece de saneamento, o que diretamente interfere na saúde das pessoas. Reduzir os patógenos presentes nos esgotos diminui os drásticos números relacionados às doenças no país. Neste sentido a desinfecção de esgoto bruto e de efluentes é utilizada para proteger os corpos d'água que servem para usos públicos como lazer e recreação ou também quando reutilizados para fins agrícolas, além de reduzir os riscos de transmissão de doenças infectocontagiosas.

A desinfecção vem como uma alternativa de eliminação dos organismos patógenos que causam doenças. Porém o controle da desinfecção deve ser feito, para evitar assim a formação de trihalometanos e a toxicidade para as vidas aquáticas.

Foi possível observar também as brechas das resoluções relacionadas à ausência de parâmetros fundamentais aos padrões de lançamentos de efluentes, como os coliformes. Além disso, a maioria dos corpos receptores do Brasil ainda não estão enquadrados, o que

dificulta ainda mais a interpretação das normas e os padrões a serem seguidos.

Com as avaliações feitas no processo de desinfecção existente da ETE Insular pôde-se contribuir para a alteração da configuração do sistema até então adotado, além de avaliar qual dosagem seria ideal para alcançar os valores relativos ao cloro residual e à E. Coli de acordo com a legislação vigente e também encontrar uma alternativa mais econômica para o sistema.

Percebeu-se ainda que a avaliação deve ser continuada, visto que as análises foram realizadas em meses bastante quentes e pouco chuvosos, o que em outros meses podem alterar as dosagens de cloro requeridas.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, Miguel Mansur. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro (RJ): ABES, 2000. 192p. ISBN 8570221355 (broch.)

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington, D.C.: APHA, c1992 1v.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12209:2011**. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários – 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12713:2009**. Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp. – 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15411-3:2006**. Ecotoxicologia Aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas. Rio de Janeiro.15p

BASSANI, Leandro. **Desinfecção de efluente sanitário por ozônio: parâmetros operacionais e avaliação econômica**. Florianópolis, SC, 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0162.pdf>>. Acesso em : 16 dez. 2003.

BARROS, Raphael T. de V. et alii. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios, 2).

BATALHA, Ben-Hur Luttenbarck; COSTA, Tereza Castro Rocha; **Água, saúde e desinfecção**. - São Paulo: CETESB, 1994. 59p.: il.; 21cm. - (Série Manuais/Secretaria do Meio Ambiente, ISSN 01032623
BRASIL - Ministério da Saúde – **Portaria nº 518/2004** – Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. De 25 de março de 2004. 17p.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - **Resolução nº 274/2000** – Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. De 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, 25 de janeiro de 2001 de maio de 2011, 3 p.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – **Resolução nº 430/2011** – Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. De 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de maio de 2011, 9 p.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - **Resolução nº 357/2005** – 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. De 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de março de 2005, 27 p.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de saneamento**. 4. ed. rev. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408p. ISBN: 85-7346-045-8.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). **Pós - tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 544p

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**/ Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 1997. 245p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 5).

DANIEL, Luiz Antônio. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: ABES, 2001. xvi, 139p. ISBN (broch.)

EPA - Environmental Protection Agency. **Chlorine Disinfection** - WasteWater Technology Fact Sheet, Washington DC, setembro de 1999, 7p.

FERNANDES, Carlos. - **Esgotos Sanitários**, Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997, 435p. Reimpressão Jan/2000.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. **Portaria nº 017/02** – Limites Máximos de Toxicidade Aguda para Efluentes de Diferentes Origens. De 18 de abril de 2002, 3p.

GONÇALVES, Ricardo Franci. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro (RJ): ABES; São Paulo (SP): RiMa, 2003. 422 p.: il. (Esgoto) ISBN 8586552720

GONÇALVES, Fernando Botafogo; SOUZA, Amárico Pereira de. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história, teoria e prática.** Rio de Janeiro (RJ): ABES, 1997. xxii, 325p. ISBN 8570221258

IMHOFF, Karl; IMHOFF, Klaus R. **Manual de tratamento de águas residuárias.** São Paulo (SP): Edgard Blucher, 1986. ix, 301p.

JOHNSTONE, David W. M. **A Report on the proposed Wastewater Treatment Plant for Florianópolis.** Swindon – Inglaterra, junho de 1993, 8p.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos.** 5. ed. Rio de Janeiro (RJ): ABES, 2009. 940p. ISBN 9788570221605

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos.** 6. ed. Rio de Janeiro (RJ): ABES, 2011. 1050p. ISBN 9788570221698

LAPOLLI, Flávio Rubens, et al. **Processos de tratamento de esgotos.** Florianópolis: UFSC, 2007.

LAPOLLI, Flávio Rubens, et al. **Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro.** Florianópolis: ABES, 2005. Artigo Técnico.

LEME, Francílio Paes. **Engenharia do saneamento ambiental.** Rio de Janeiro (RJ): Livros Técnicos e Científicos, 1982. 354p. ISBN 8521601646 (broch.)

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2004. xxviii, 1819 p. ISBN 007124140X

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola.** 1. ed. São Paulo (SP): E. Blucher, 2003. 505 p. ISBN 8521203144

PAULI, Dante Ragazzi. **O saneamento no Brasil** – TCTP Melhores Práticas Operacionais – Governo do Estado de São Paulo. SABESP, 2008.

PIANOWSKI, Eloisa Helena; JANISSEK, Paulo Roberto. **Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. Sanare.** Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.20, n.20, p. 6-17, jul./dez. 2003.

REZENDE, Sonaly Cristina. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces/Sonaly Cristina Rezende, Léo Heller.** – Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 310p. – (Ingenium). ISBN: 85-7041-304-1.

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 08 abr. 2014.

SOLOMON, Clement, et al. **Chlorine Disinfection** – Fact Sheet – National Small Flows Clearinghouse – EPA, 1998, 2p.

VON SPERLING, Marcos. **Lodos ativados/Marcos von Sperling.** 3. ed. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2012. 428p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias , v.4) ISBN 978-85-7041-975-0

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: DESA, 1996. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.2) ISBN 8585266058

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** – 3. ed. – Belo Horizonte: UFMG; 2005. 452p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1) ISBN 8570411146