

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESINFECÇÃO DE RESÍDUO INFECCIOSO E  
DE SEU PERCOLADO**

**MARIELLE FEILSTRECKER REBELATTO**

**FLORIANÓPOLIS**

**2006**

**MARIELLE FEILSTRECKER REBELATTO**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESINFECÇÃO DE RESÍDUO INFECCIOSO  
E DE SEU PERCOLADO**

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA do Centro de Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador – Sebastião Roberto Soares

**FLORIANÓPOLIS**

**2006**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESINFECÇÃO DE RESÍDUO INFECCIOSO E DE  
SEU PERCOLADO**

Por

**MARIELLE FEILSTRECKER REBELATTO**

Dissertação aprovada para a obtenção do título de Mestre  
no Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental - PPGEA, pela banca examinadora formada  
por:

por:



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho, ao meu marido Fernando pelo seu amor, paciência, respeito e pelas suas palavras certas nas horas em que tinha dúvida. E a minha filha Giovana que participou ativamente desta fase da minha vida, parte na gravidez e agora com seus sorrisos, brincadeiras, dormindo e às vezes pedindo atenção, em fim, ficando junto comigo enquanto estava escrevendo, isto me deu força em terminar esta dissertação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por aqui estar,e

quando consegue chegar ao final do trabalho proposto,

pode-se sentir o peso das contribuições dadas por pessoas que ao ajudarem, mesmo supondo serem contribuições simples ou obrigações, muitas vezes não avaliam o peso de suas atitudes para quem as recebeu.

Minha profunda gratidão a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para elaboração deste trabalho e particularmente:

A meu marido Fernando e à minha filha Giovana por caminharmos juntos e pelo amor,

À minha mãe e pai (in memoriam) pela educação que ofereceram e pelo seu amor.

A Carmen , Telu, José Jacir, Luiz e a Márcia Luiza pela ajuda em cuidar da Giovana, carinho, incentivo e respeito.

À Patrícia e Sibeli gostaria de agradecer todo o carinho, atenção, compreensão e estímulo dispensado não só durante o período do mestrado, mas durante toda a convivência.

À Tatiane pelo trabalho realizado juntas, pela força e dedicação.

Ao orientador Sebastião Roberto Soares pela valiosa orientação e críticas.

A professora Noely por me ensinar e auxiliar neste trabalho.

A FUNASA e ao CNPq pelo apoio financeiro.

A PPGEA coordenação, funcionários e professores pela oportunidade, aos professores pelos incentivos.

Ao LARESO e LIMA por utilizar seus laboratórios e dependências.

**SUMÁRIO**

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.2 JUSTIFICATIVA .....	2
1.3 DELIMITAÇÃO.....	4
1.4 ESTRUTURA.....	4
<b>2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS) .....	6
2.2 MICRORGANISMOS .....	8
Crescimento das Bactérias.....	8
Condições ambientais necessárias para o crescimento dos microrganismos.....	11
2.3 MICRORGANISMOS DE INTERESSE PARA INFECÇÕES HOSPITALARES .....	15
2.4 DESINFECÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE.....	19

Microondas.....	19
Autoclave.....	24
Cal.....	28
Tratamentos de desinfecção utilizam Ultra-som.....	33
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
3.1 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO UTILIZADO .....	39
Preparação da solução inóculo.....	41
3.2 PREPARAÇÃO DO PERCOLADO UTILIZADO .....	43
3.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DESINFECÇÃO – RESÍDUO SÓLIDO .....	47
Microondas.....	49
Autoclave.....	50
Calagem.....	51
3.4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DESINFECÇÃO - PERCOLADO .....	52
3.5 DILUIÇÃO E PLAQUEAMENTO .....	54
3.6 CONTAGEM BACTERIANA .....	57
3.7 ANÁLISES COMPLEMENTARES .....	58
3.8 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS MICRORGANISMOS .....	59
3.9 CALCULO DA EFICIÊNCIA.....	59
3.10 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA .....	60
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>61</b>
4.1 MICROONDAS.....	61
4.2 AUTOCLAVE .....	69
4.3 CAL.....	78
4.4 ULTRA-SOM .....	89
4.5 CONSUMO ENERGÉTICO E DE OUTROS INSUMOS (CAL).....	98
Cal.....	98
Microondas.....	99
Autoclave.....	100



Desruptor de células (ultra-som).....	102
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>103</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>113</b>

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 2 - 1 – Propriedades da cal ..... 31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3 – 1 – Composição da fração sólida do resíduo.....	40
Tabela 3– 2 – Composição da fração líquida do resíduo.....	40
Tabela 3– 3 – Microrganismos utilizados e período de incubação dos mesmos.....	42
Tabela 4 – 1 – Microondas. Eficiência de desinfecção em função do tempo e da potência (massa fixa de 50g) .....	61
Tabela 4 - 2– Microondas. Eficiência de desinfecção x massa (900 W, 45 s).....	63
Tabela 4 - 3 – Microondas. Eficiência de desinfecção x massa (900 W).....	64
Tabela 4 - 4 – Microondas. Desinfecção em função de tempo e massa (900W, pote de plástico).....	66
Tabela 4 – 5 – Microondas. Temperatura após exposição do resíduo nos balões de vidro na potência de 900W e tempo de exposição 45 s.....	68
Tabela 4 – 6 – Microondas.Temperatura após exposição às microondas com potes de plástico.....	68
Tabela 4 - 7 – Autoclave. Eficiência de desinfecção com balão de vidro em função de tempo e massa (a 121 °C, 1 atm).....	70
Tabela 4 - 8– Autoclave. Eficiência de desinfecção em função da massa (132°C, 2 atm)..	72
Tabela 4 - 9 – Experimentos com cartucho para autoclavação (121°C e 1 atm).....	73
Tabela 4 – 10 – Autoclave. Resultados pH, OD e temperatura após exposição à autoclave com balão de vidro.....	74
Tabela 4 – 11 – Autoclave. Resultados de pH, OD e temperatura após exposição com temperatura de 132°C.....	75

Tabela 4 – 12 – Autoclave. Resultados pH, OD e temperatura após exposição à autoclave com sacos plásticos autoclaváveis.....	77
Tabela 4 – 13 – Controle da temperatura do resíduo com a cal, o controle e a temperatura ambiente.....	79
Tabela 4 – 14 – Contagem das bacteriana feita no controle no 1º dia, 30º dia e 45º dia....	81
Tabela 4 - 15 – Cal. Eficiência de desinfecção com 20, 30 e 40 % na massa do resíduo....	82
Tabela 4 – 16 - Cal.Contagem bacteriana feita no controle no 1º dia, 15º dia e 7º dia.....	83
Tabela 4 -17 – Cal. Eficiência de desinfecção com 60, 80 e 100 % de cal (7 e 15 dias)....	84
Tabela 4 – 18 – Cal.Contagem bacteriana feita no controle no 1º dia, 15º dia e 20º dia.....	85
Tabela 4 – 19 – Cal. Eficiência de desinfecção com 50% e 55 % de cal (15 e 20 dias).....	85
Tabela 4 – 20 – Cal. Resultados com pH, OD e temperatura nos experimentos com 30 e 45 dias da primeira etapa experimental.....	86
Tabela 4 - 21- Cal. Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura na segunda etapa experimental.....	87
Tabela 4 – 22 – Cal. Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura na terceira etapa experimental.....	88
Tabela 4 – 23 – Ultra-som. Contagem bacteriana feita na simulação do percolado nos controles do 3º dia, dos experimentos de 50, 100, 150 e 200 mL.....	90
Tabela 4 - 24 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (50 mL, 336,6W).....	91
Tabela 4 -25 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (100 mL, 336,6W).....	91

Tabela 4 -26 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (150 mL, 336,6W).....	92
Tabela 4 – 27 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (200 mL, 336,6 W).....	93
Tabela 4 – 28 – Ultra-som Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura após exposição ao ultra-som.....	95
Tabela 4 – 29 – Cal. Custos da cal para resíduo de 1 kg.....	98
Tabela 4 – 30 – Custo da energia consumida pelo método de desinfecção por microondas.....	99
Tabela 4 – 31 – Custo da energia consumida pelo método de desinfecção com autoclave.	100
Tabela 4 – 32 – Custo do consumo de energia no método de desinfecção com ultra-som...	102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2 - <a href="#">1111</a> – Curva de crescimento bacteriano típica de um sistema fechado.....	9
Figura 3 - 1 – Resíduo-tipo utilizado.....	41
Figura 3 - 2 – Frascos contendo as cepas liofilizadas utilizadas na preparação do inóculo.	43
Figura 3 – 3 – Esquema do reator de fluxo contínuo.....	45
Figura 3 - 4 – Foto do reator em funcionamento.....	46
Figura 3 – 5 – Foto do percolado acumulado coletado.....	47
Figura 3 - 6 – Esquema da metodologia utilizada nos métodos de microondas e autoclave.....	48
Figura 3 – 7 – Esquema da metodologia utilizada no método de desinfecção com a cal ...	49
Figura 3 – 8 – Experimentos com a cal dentro da caixa de madeira.....	52
Figura 3 - 9 – Procedimento de desinfecção do percolado com o desruptor de células ultra-sônico.....	53
Figura 3-10 – Preparação para a realização das diluições.....	55
Figura 3-11 – Tubo das diluições.....	56
Figura 3-12 - Placas Incubadas na Estufa Bacteriológica.....	56

Excluído: 1

Figura 3-13 – Medição de Temperatura após Exposição às Microondas.....	58
Figura 4-1– Microondas. Curva de desinfecção em função da massa (900W, 45s).....	63
Figura 4-2– Microondas. Curva de desinfecção e determinação equação (potência de 900W e massa 50 a 500g no balão de vidro).....	65
Figura 4-3 – Microondas. Curva de desinfecção com recipiente plástico (potência de 900W e massa de 50 a 1000g).....	67
Figura 4-4–Autoclave. Curva de desinfecção em relação massa e tempo de exposição (121° C e 1 atm).....	71
Figura 4– 5– Autoclave. Temperatura após exposição à autoclave a 132°C.....	76
Figura 4-6 – Cal. Eficiência de desinfecção com 20,30 e 40% de cal (30 e 45 dias).....	82
Figura 4-7 - Ultra-som. Curva de desinfecção com a determinação da equação.....	94
Figura 4-8 – Ultra-som. Variação de temperatura nos pontos de eficiência de 100%.....	96

**ANEXO**

Quadro 1 – Classificação dos RSS - CONAMA nº 358 de 29/04/05.....	113
Quadro 2 - Classificação dos RSS - RDC nº 306 de 07 /12/04 – ANVISA.....	115
Quadro 3 – Classificação dos RSS – NBR 12808 de 1993, ABNT.....	117



## RESUMO

A desinfecção de Resíduos sólidos de Serviços de Saúde, tendo por base um resíduo-tipo, pode ser garantida por microondas comercial, autoclave e cal, entre outros. Para uma mesma quantidade de resíduos, os métodos citados apresentam particularidades no tocante ao tempo de contato, energia e reagentes consumidos (caso da cal).

Um procedimento menos tradicional, como ultra-som, demonstrou-se tecnicamente aplicáveis na desinfecção de resíduos líquidos.

Foi avaliada a eficiência na desinfecção do resíduo hospitalar infeccioso padrão com as seguintes cepas das bactérias: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*. Os ensaios de desinfecção tiveram as seguintes variações: de tempo e temperatura de exposição, tempo de contato, massa do resíduo e a utilização recipientes diferentes. Após a desinfecção foram realizadas análises microbiológicas. Através dos resultados das microondas, autoclave e ultra-som foram feitas curvas de eficiência versus massa de resíduo.

O trabalho demonstrou que tempos relativamente pequenos podem ser suficientes para a eliminação de microorganismos (caso de microondas e autoclave) e, por outro lado, há necessidade de consumo de uma grande quantidade de cal, com um tempo longo de contato, para a mesma eficiência de desinfecção dos outros dois métodos.

O trabalho foi realizado em escala laboratorial, com cargas de até 1kg de resíduo. Os resultados são extrapoláveis para situações reais para tal ordem de grandeza.

Palavras-chave : desinfecção, resíduos de serviço de saúde

## ABSTRACT

The disinfection of health solid waste can be achieved by the use of commercial microwaves, autoclave and lime. For the same amount of residues, the described methods exhibit some special features concerning residence time, energy and consumed reactants (e.g. lime).

Other less used method, such as ultrasound radiation, has proven to be technically applicable to liquid residues disinfection.

Was evaluated efficiency for clinical waste disinfection standard infectious with the following bacteria cepas: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. The disinfection samples had the following variations: time and temperature exposure, residence time, waste mass and the use of two different containers. After the disinfection, microbiological analyses were carried out. The results of microwaves, autoclave and ultrasound radiation were used to build up an efficiency curve versus waste mass.

The work has shown that relatively small time frames can be sufficient for the elimination of microorganisms (e.g. microwave and autoclave) and, on the other hand, considering the same disinfection efficiency, there is the need for consumption of a greater amount of lime, during a longer residence time, in comparison to the other two methods.

The work was carried out in laboratory scale, with residue loads up to 1 kg. The results can be extrapolated to real concrete situations, within the same scale.

Keywords: disinfection, health waste

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2000, 74% dos municípios brasileiros depositam "lixo hospitalar" a céu aberto, 57% separam os dejetos nos hospitais e apenas 14% das prefeituras tratam adequadamente os resíduos de serviços de saúde. Em 2000, a situação de disposição e tratamento dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde - RSS – melhorou com relação aos dados de 1989, com 9,5 % dos municípios encaminhando-os para aterros de resíduos especiais (69,9 % próprios e 30,1 % de terceiros). Em número de municípios, 2 569 depositam-nos nos mesmos aterros que dos resíduos comuns, enquanto 539 já estão enviando-os para locais de tratamento ou aterros de segurança. A disposição destes resíduos nos mesmos aterros que recebem o lixo domiciliar não é necessariamente uma medida inadequada, pois sua disposição em valas sépticas, isoladas e protegidas do acesso de pessoas, tem sido aceita por alguns órgãos de controle ambiental. É interessante observar, também, que apenas uma diminuta percentagem de municípios utiliza algum sistema de tratamento térmico dos RSS (incinerador, microondas, autoclave).

Apesar da existência de diversas publicações sobre RSS, como em SILVA *et al* (2001) e MOREL & BERTUSSI FILHO (1997), percebe-se um questionamento em relação à melhor forma de tratamento de desinfecção e disposição final.

Neste contexto, o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC vem atuando em atividades em contribuição à área dos RSS. É o caso, por exemplo, do estabelecimento da composição de um "RSS tipo" (SILVA, 2000); e do estudo que avaliou o comportamento de microrganismos ao longo do tempo tanto na massa de resíduos como no seu percolado (BARELLA, 2002), fomentado pelo PROSAB II.

A partir dos resultados obtidos levantou-se o questionamento, em cooperação com a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, sobre o desempenho de métodos de desinfecção de Resíduos de Serviços de Saúde (incluindo também o seu percolado). Ou seja, para os procedimentos correntes de desinfecção possam efetivamente atingir a sua finalidade, quais seriam os seus padrões de funcionamento (associação de massa tratada com tempo de detenção e consumo de energia).

## 1.1 OBJETIVOS

Avaliar, em escala laboratorial, a eficiência de desinfecção de um resíduo infeccioso padrão e de seu percolado através de diferentes tecnologias disponíveis comercialmente.

Mais especificamente, a pesquisa procura oferecer as seguintes contribuições:

- avaliar o desempenho das microondas e a autoclave como ferramenta na desinfecção de resíduo hospitalar infeccioso, alterando o tempo de exposição, a massa de resíduos e recipientes;
- avaliar a eficiência da aplicação de cal na desinfecção de resíduo hospitalar infeccioso, com diferentes dosagens;
- avaliar a desinfecção do percolado através de desruptor de células ultra-sônico;
- comparar os métodos de desinfecção.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O ambiente hospitalar é alvo de preocupação por parte da sociedade devido ao grande número de doentes em um mesmo local e pela diversidade de microrganismos encontrados, que estariam presentes também nos resíduos gerados. A produção de resíduos é proveniente, principalmente, dos cuidados dispensados aos pacientes e representa um risco de contaminação para os manipuladores dos mesmos. Entretanto, não são apenas os resíduos provenientes de hospitais que possuem constituintes infecciosos com potencial de contaminação, mas também os resíduos provenientes de locais diversos que geram resíduos de constituição semelhante.

MOREL e BERTUSSI FILHO (1997) fazem uma descrição completa de Resíduo Sólido de Serviço de Saúde, definindo-o como “..todo aquele gerado por prestadores de assistência médica, odontológica, laboratorial, farmacêutica, instituições de ensino e pesquisa médica relacionados tanto à população humana quanto veterinária que, possuindo potencial de risco, em função da presença de materiais biológicos capazes de causar infecção, produtos químicos perigosos, objetos perfurocortantes efetiva ou potencialmente contaminados, e mesmo rejeitos radioativos, requerem cuidados específicos de acondicionamento, transporte, armazenamento, coleta, tratamento e disposição final” .

Embora represente uma pequena parcela do total de resíduos sólidos gerados pela sociedade, os Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS) são fontes potenciais de disseminação de doenças na sociedade, podendo oferecer perigo tanto para a equipe de trabalhadores dos estabelecimentos de saúde, como para os pacientes (MATTOSO, 1996).

A legislação brasileira atual prevê que os RSS devem ter uma disposição final diferenciada dos resíduos sólidos urbanos, e os custos com a destinação devem ser arcados pela instituição geradora (CONAMA, nº 358 de 29/04/2005).

Entretanto, da parcela total de resíduos gerados em um estabelecimento de saúde, mais especificamente em um hospital, da parcela considerada infecciosa, em geral 50% são considerados efetivamente como infecciosos e os outros 50% poderiam ser destinados como resíduos sólidos domésticos (SOARES *et al.*, 1997).

Vários estudos apontam os riscos dos RSS, principalmente com as frações infectantes, pela sobrevivência de agentes dotados de elevada resistência às condições ambientais. Entre eles destacam-se os trabalhos de SUBERKROPP e KLUG (1974), *apud* MOREL e BERTUSSI FILHO (1997), que identificaram importantes patógenos nos resíduos sólidos. Dentre os patógenos secundários (agentes que fazem parte da microbiota normal de hospedeiros hígidos) existentes nos RSS, com possível associação de risco ambiental, tem-se a *Escherichia coli*, *Enterococcus fecalis* e *Staphylococcus aureus* (SILVA, 2000).

Estudos realizados por SOARES *et al.* (2001), avaliaram a sobrevivência e o crescimento das bactérias *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, no resíduo infeccioso tipo, na massa e no seu percolado, mantidos em temperatura controlada de 25°C e pH, variando de 6,6 a 8,1.

A presença de microrganismos patogênicos nos resíduos dos serviços de saúde gera uma grande quantidade de enfermidades, podendo acarretar epidemias, originadas por atividades de catadores, mosquitos, roedores, cachorros, etc.

A quantidade e a natureza dos resíduos de serviços de saúde dependem do gerador dos resíduos, tendo em vista uma carência de pesquisas científicas, comparando (sobre uma mesma base) tratamento de desinfecção de resíduos, como microondas, autoclave e a cal. No seu percolado, um estudo inovador, a utilização de ultra-som.

O estudo avaliará diferentes meios de desinfecção adequados para RSS visando diminuir o risco de transmissão de doenças e contaminação ambiental. Os resultados deste estudo serão importantes para melhorar os planos de gerenciamento dos resíduos dentro do estabelecimento de saúde, permitindo uma orientação quanto à opção técnica mais adequada para o seu tratamento.

### 1.3 DELIMITAÇÃO

A pesquisa foi desenvolvida em escala laboratorial (massa de resíduo variando de 50 g a 1000 g). Foi utilizada a metodologia de SILVA (2000) e BARELLA (2002) na preparação de um resíduo infeccioso padrão e de seu percolado. Isto permite a reprodutibilidade dos ensaios sobre uma mesma base de comparação.

### 1.4 ESTRUTURA

O estudo está dividido em cinco capítulos.

O primeiro corresponde à introdução, na qual são definidos os objetivos, justificativas e delimitações.

O segundo capítulo apresenta os fundamentos teóricos considerados necessários à realização dos experimentos e à interpretação dos resultados. Esta etapa considerou definição RSS na legislação brasileira e sua classificação, aspectos associados com microorganismos presentes nos resíduos como estrutura das bactérias, caracterização dos microrganismos utilizados, descrição dos princípios dos métodos de desinfecção, seu funcionamento e seus mecanismos de ação sobre os microrganismos.

O terceiro capítulo é à metodologia empregada para a consecução dos objetivos propostos. As etapas básicas desenvolvidas foram a preparação do resíduo e de seu percolado, os métodos de desinfecção - microondas, autoclave, cal e desruptor de células ultra-sônico, - a avaliação da concentração de microorganismos – calcular a eficiência.

O quarto capítulo é dedicado aos resultados da pesquisa e às discussões.

E finalmente, no quinto capítulo estão apresentadas as conclusões do estudo e recomendações para novos trabalhos.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS)

A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente –CONAMA- nº 358 de 29 de abril de 2005, define Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) como aqueles resultantes de atividades exercidas nos serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou à animal, que por suas características, necessitam de processos diferenciados em seu manejo, exigindo ou não tratamento prévio à sua disposição final.

Esta resolução classifica os RSS em quatro grupos: Grupo A – Resíduos com possível presença de agentes biológicos; Grupo B – Resíduos químicos; Grupo C – Resíduos radioativos; Grupos D – Resíduos comuns; Grupo E- materiais perfurocortante. Esta resolução determina que os resíduos sólidos pertencentes ao grupo A não podem ser dispostos no meio ambiente sem tratamento prévio que assegurem eliminação das características de periculosidade do resíduo, a preservação dos recursos naturais e o atendimento aos padrões de qualidade ambiental e de saúde pública (anexo - quadro 1).

Por sua vez, a Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, define os RSS como todos aqueles resultantes de atividades exercidas nos geradores de RSS que, por suas características, necessitam de processos diferenciados em seu manejo, exigindo ou não tratamento prévio à sua disposição final. A resolução define como geradores de RSS todos os serviços relacionados ao atendimento da saúde humana ou da animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico *in vitro*; unidades móveis de atendimento à saúde;



serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, dentre outros similares. A classificação proposta pela ANVISA é apresentada em anexo- quadro 2.

Finalmente, segundo as normas NBR 12807 e 12808 de 1993 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, os RSS são conceituados como sendo os resíduos resultantes das atividades exercidas por estabelecimento gerador, destinado à prestação de assistência sanitária à população, como hospitais, postos de saúde, clínicas médicas, odontológicas, veterinárias, laboratórios e farmácias.

A NBR 12808 classifica os RSS em três classes principais, A, B e C, nas quais considera o potencial de risco dos resíduos em relação ao trabalhador, à saúde pública ou ao meio ambiente. A classificação dá-se da seguinte forma: Classe A – resíduo infectante; Classe B – resíduo especial e Classe C – resíduo comum (anexo - quadro 3).

A classificação adotada para os RSS influencia diretamente no plano de gerenciamento dos mesmos, visto que, na implantação de um sistema de segregação interno, os resíduos devem obedecer à classificação. Do mesmo modo, os sistemas de tratamento de desinfecção e disposição final precisam ser adaptados em função das características dos resíduos que vão processar.

A resolução CONAMA nº 358 de 29/04/2005, em seu artigo 3, determina que cabe aos geradores de resíduos de serviço de saúde e ao responsável legal o gerenciamento dos resíduos desde a geração até a disposição final, de forma a atender aos requisitos ambientais e de saúde pública e saúde ocupacional, sem prejuízo de responsabilização solidária de todos aqueles, pessoas físicas e jurídicas que, direta ou indiretamente, causem ou possam causar degradação ambiental, em especial os transportadores e operadores das instalações de tratamento e disposição final, nos termos da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

A geração de resíduos sólidos é de relevante importância, não só no meio científico, mas também no cenário das administrações municipais. Isto se deve à estreita relação existente entre o ambiente e a qualidade de vida do homem, dadas as crescentes proporções em que se tem apresentado, bem como pelo conhecimento das conseqüências danosas que podem advir de um manejo inadequado do lixo. No que se refere aos RSS, verifica-se ainda uma ausência de orientação técnico-científica consolidada. As discussões sobre os riscos potenciais, bem como as possibilidades de manejo e tratamento dessa categoria de resíduos, são entrecortadas

por estereótipos e escassa disponibilidade de dados e informações com rigor científico, especialmente no que tange à forma de tratamento e destinação final (MACHADO & MORAES, 2004).

A RDC nº 306 de 7/12/04, define tratamento como a aplicação de método, técnica ou processo que modifique as características dos riscos inerentes aos resíduos, reduzindo ou eliminando o risco de contaminação, de acidentes ocupacionais ou de dano ao meio ambiente. O tratamento pode ser aplicado no próprio estabelecimento gerador ou em outro estabelecimento, observadas, nestes casos, as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento gerador e o local do tratamento. Os sistemas para tratamento de resíduos de serviços de saúde devem ser objeto de licenciamento ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA nº. 237/1997 e são passíveis de fiscalização e de controle pelos órgãos de vigilância sanitária e de meio ambiente.

## 2.2 MICRORGANISMOS

São descritos a seguir algumas características dos microrganismos, como seu crescimento, sua nutrição, fatores físicos que auxiliem ou colaborem para o seu crescimento ou não em um sistema.

### **Crescimento das Bactérias**

O crescimento bacteriano caracteriza-se pelo aumento do número de células em relação ao que foi inoculado. Aumentando o número de bactérias, essas começam a juntar-se em *colônias*, que são agrupamentos celulares grandes o bastante para serem visualizadas sem um microscópio, contendo populações numerosas de centenas de milhares, ou até mesmo, bilhões de organismos (TORTORA *et al.*, 1997).

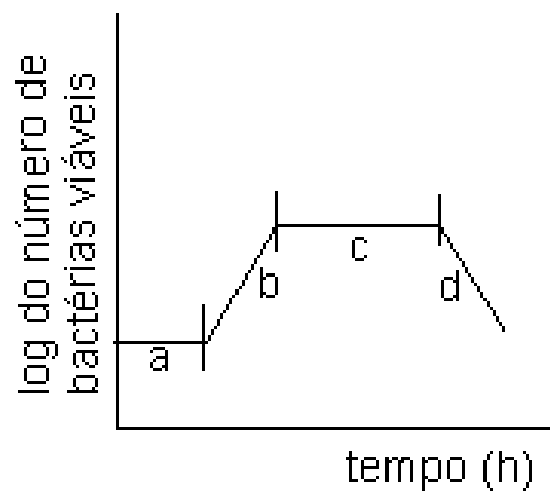
A maioria das bactérias se multiplica pelo processo de reprodução assexuada - fissão binária transversa – na qual as células dividem-se individualmente em 2 células-filhas de tamanho aproximadamente igual.

A reprodução por fissão binária transversal é o processo mais comum: de uma célula resultarão duas idênticas à célula mãe. O tempo de geração, que é o tempo necessário para que a população duplique, é variável entre as bactérias, podendo ser de 15 a 20 minutos para as *E. coli*, 30 minutos para *S. aureus*, ou de muitas horas para outras (PELCZAR *et al.*, 1997). TORTORA *et al.* (1997).

Considerando o seu tempo de geração de 20 minutos sob condições favoráveis, após 20 gerações, de 1 única célula de *E. coli* resultará em 1 milhão de células, o que poderia levar pouco menos de 7 horas. Em 30 gerações, após 10 horas, seriam 1 bilhão. Quando a concentração de bactérias aeróbias ultrapassa  $1 \times 10^7$ /mL a velocidade de crescimento irá diminuir, e quando a concentração atingir  $4-5 \times 10^9$ /mL a velocidade de difusão de oxigênio não conseguirá suprir a demanda, retardando progressivamente o crescimento (JAWETZ *et al.*, 1998).

Quando uma cultura microbiana desenvolve-se em um sistema fechado (como, resíduo infeccioso tipo ou seu percolado), pode-se confeccionar uma curva de crescimento (figura 2-1)

Figura 2-1– Curva de crescimento bacteriano típica de um sistema fechado



Fase de **adaptação** ou **Lag (a)**: período variável, onde ainda não há um aumento significativo da população. É um período onde o número de bactérias permanece praticamente inalterado. Esta fase é apenas observada quando o inóculo inicial é proveniente de culturas mais antigas. A fase lag ocorre porque as células de fase estacionária encontram-se depletadas de várias coenzimas essenciais e/ou outros constituintes celulares necessários à absorção dos nutrientes presentes no meio. A fase lag também é observada quando as células sofrem traumas físicos (choque térmico, radiações) ou químicos (produtos tóxicos), ou quando são transferidas de um meio rico para outro de composição mais pobre, devido a necessidade de síntese de várias enzimas. Assim, durante este período observa-se um aumento na quantidade de proteínas, no peso seco e no tamanho celular.

Fase **Log** ou **exponencial (b)** as células estão plenamente adaptadas, absorvendo os nutrientes, sintetizando seus constituintes, crescendo e se duplicando. Deve ser levado em conta também que neste momento, a quantidade de produtos finais de metabolismo ainda é pequena. A taxa de crescimento exponencial é variável, de acordo com o tempo de geração da bactéria em questão.

Fase **Estacionária (c)**: Os nutrientes estão diminuindo e os produtos tóxicos estão tornando-se mais abundantes. Nesta etapa não há um crescimento líquido da população, ou seja, o número de células que se divide é equivalente ao número de células que morrem. Na fase estacionária que são sintetizados vários metabólitos secundários, que incluem antibióticos e algumas enzimas. Nesta etapa ocorre também a esporulação das bactérias.

Fase de **Declínio** ou **Morte (d)**: A maioria das células está em processo de morte, embora outras ainda estejam se dividindo. A contagem total permanece relativamente constante, enquanto a de viáveis cai lentamente. Em alguns casos há a lise celular.

Para quantificar o crescimento bacteriano os microbiologistas utilizam várias técnicas; entre elas está a contagem em placa, expresso em UFC/mL ou UFC/g. A unidade formadora de colônia (UFC) pode ser expressa por grama, quando se parte de um meio sólido, ou por mL, partindo-se de um meio líquido.

A partir do número de unidades formadoras de colônias (UFC) é possível fazer uma relação com o número de colônias existentes na placa, mas não do número de células que formam as colônias, que podem ser constituídas tanto por células individuais como agrupamentos característicos de certos microrganismos, como pares, tétrades, cachos, cadeias etc. (SILVA et al, 1997).

A contagem de colônias de microrganismos parte do pressuposto de que cada célula microbiana, em uma amostra, irá formar colônias visíveis e separadas, quando misturadas com ágar ou outro meio sólido (SILVA et al, 1997). Entretanto, a contagem microbiológica em meios de cultura deve sempre ser encarada como uma estimativa e não como contagem absoluta. Os meios e condições ideais para o crescimento podem variar de um material para outro.

Os microrganismos requerem certos nutrientes básicos e condições físicas que lhes possibilitem a vida, com grandes variações referentes às particularidades de cada espécie (CAPPUCCINO & SHERMAN, 1996). Dessa forma, essas condições devem ser oferecidas no laboratório quando em cultivo, ou de acordo com as necessidades de cada pesquisa usando os chamados meios seletivos e provendo as condições físicas necessárias para o seu desenvolvimento.

**Formatados:** Marcadores e numeração

### **Condições ambientais necessárias para o crescimento dos microrganismos**

Os microrganismos são organismos altamente adaptáveis capazes de crescer, utilizando um elevado número de distintas fontes de carbono e nitrogênio, e de ocupar uma variedade inesgotável de nichos ecológicos.

A chave para a adaptabilidade bacteriana é sua capacidade de expressar somente os genes para enzimas e vias bioquímicas que são requeridos para uma taxa máxima de crescimento no ambiente particular em que se encontram. Isto é possível por sua habilidade de reconhecer a composição química e física de seu ambiente, percebendo sinais que emanam dele, por exemplo, a presença de um determinado açúcar, como a lactose. Essa faculdade é codificada

por conjuntos de genes que somente se expressam quando necessário. Portanto, o crescimento bem sucedido de uma população bacteriana reflete seu grau de adaptação a um determinado ambiente e depende primariamente de sua composição: condições nutricionais, temperatura, pH, osmolaridade, oxigênio e luz.

As distintas espécies bacterianas diferem no âmbito de fatores dentro dos quais podem crescer. Cada grupo bacteriano tem uma faixa de condições nas quais seu crescimento, atinge uma taxa ótima. Para se determinar as condições ambientais ótimas de crescimento considera-se o ambiente no qual a bactéria é normalmente encontrada. Contudo, isto é problemático, uma vez que mesmo um único centímetro cúbico de resíduo ou percolado pode conter centenas de micro-ambientes.

## **Nutrição**

Os microrganismos têm os mesmos requerimentos nutricionais básicos de todas as formas de vida, que incluem primariamente fontes de energia e compostos orgânicos e inorgânicos.

Os nutrientes são definidos como as substâncias encontradas no ambiente, que participam do anabolismo e catabolismo celular, podendo ser divididos em dois grandes grupos: *macronutrientes*, que são necessários em grandes quantidades e *micronutrientes*, necessários em pequenas quantidades. Alguns nutrientes são utilizados como fonte de material para a biossíntese das moléculas, enquanto outros correspondem a fontes de energia, necessária aos processos biossintéticos e de manutenção dos organismos.

A fonte primária de energia para a maioria das bactérias é a glicose cuja degradação fornece energia para a síntese de ATP. O ATP é a fonte de energia para os processos enzimáticos e, portanto, para as atividades vitais das bactérias. Enzimas que usam ATP têm sítios ativos nos quais o ATP se liga de modo que sua energia se torna disponível à medida que é necessária. Outros compostos orgânicos pré-formados como carboidratos (exemplo, lactose), aminoácidos e lipídeos podem servir como fonte primária de energia.

Os microrganismos obtêm seus nutrientes por absorção de água, íons inorgânicos, aminoácidos, açúcares simples e moléculas de lipídeos a partir do meio onde se encontram. As bactérias não apresentam digestão interna e muitas bactérias produzem e liberam exoenzimas para digerir substâncias complexas como amido, celulose, polipeptídeos ou ácidos nucleicos, absorvendo as subunidades resultantes da quebra das macromoléculas.

No caso do resíduo infeccioso tipo, é necessário que haja fonte de nutrição para que as bactérias possam se desenvolver por determinados períodos. As bactérias sintetizam moléculas complexas que precisam para seu crescimento e sobrevivência a partir de compostos básicos como uma fonte de carbono, uma fonte de fósforo, uma fonte de nitrogênio, uma fonte de enxofre, minerais e água, retirados do resíduo ou de seu percolado.

### **Fatores físicos e químicos**

O crescimento dos microrganismos é grandemente afetado pelas condições físicas e químicas do ambiente onde se encontram, sendo que estas podem influir positivamente ou negativamente de acordo com o microrganismo em questão.

Determinados fatores físicos podem representar e diferenciar as espécies de microrganismos e auxiliam em sua adaptação em determinados meios, bem como seu crescimento. Dentre os fatores, pode-se citar o pH, a temperatura e a atmosfera gasosa.

**Potencial hidrogeniônico, pH** - Em ambientes naturais, o pH, varia de 0,5 a 10,5, e a maioria dos procariotos de vida livre crescem em uma escala superior a 3, e tendo como máximo, para seu crescimento, um pH igual a 9. O microrganismo deve manter o pH intracelular em torno de 7,5, não importando o valor do pH externo e, para que o pH celular interno seja alterado, o pH externo deve ser mudado drasticamente. Grande parte das bactérias tem um pH ótimo ao redor da neutralidade, por ser o valor mais adequado à absorção de alimentos. O pH ótimo é o valor em que o organismo terá seu melhor crescimento, havendo também os limites mínimo e máximo que irão variar com a espécie (BARBOSA & TORRES, 1999, TODAR, 2002., PELCZAR *et al*, 1997).

**Temperatura** - De grande influência no crescimento dos microrganismos - todos os processos de crescimento são dependentes de reações químicas, as quais são afetadas pela temperatura. A temperatura na qual uma espécie de microrganismo cresce mais rapidamente é chamada de temperatura ótima de crescimento - em temperaturas mais favoráveis para o crescimento, o número de divisões celulares por hora, chamado de taxa de crescimento, dobra para cada aumento de temperatura de 10°C. Para qualquer microrganismo há 3 temperaturas importantes a conhecer: mínima, ótima e máxima (nesta última, as enzimas são danificadas pelo calor e a célula pára de crescer). A temperatura ótima de crescimento não é a mediana entre as temperaturas mínima e máxima, mas é mais próxima ao limite superior de temperatura (PELCZAR, 1997).

À medida que a temperatura aumenta, as reações químicas tendem a ocorrer mais rapidamente. Desta forma, a população deveria crescer mais rapidamente à medida que se eleva a temperatura. Contudo, há um limite além do qual, algumas macromoléculas termosensíveis, tais como proteínas, ácidos nucleicos ou lipídeos serão desnaturadas, perdendo sua funcionalidade. Há, também, uma temperatura mínima para o crescimento, abaixo da qual a porção lipídica da membrana citoplasmática não tem fluidez suficiente para funcionar apropriadamente.

Na temperatura ótima, as enzimas estão na forma mais ativa. As temperaturas abaixo da ótima levam à desaceleração das reações metabólicas, ao passo que, acima da ótima, ocorre a desnaturação do material e, conseqüentemente, a morte da bactéria (BARBOSA e TORRES, 1999).

Dentre os diferentes microrganismos observa-se uma ampla variedade de faixas de temperatura, onde para alguns o ótimo encontra-se entre 5 e 10°C, enquanto para outros é de 90 a 100°C. Assim, os microrganismos podem ser classificados em quatro grupos, de acordo com os ótimos de temperatura: psicrófilos (0 a 20°C, ótimo de  $\approx 15^\circ\text{C}$  - *Flavobacterium*), mesófilos (12 a 45°C, 37°C - *E. coli*), termófilos (42 a 68°C, 62°C - *Thermococcus*), e hipertermófilos (80 a 113°C, 105°C - *Pyrodictium brockii*).

No caso das bactérias utilizadas nos métodos de desinfecção no resíduo infeccioso tipo, elas são classificadas como mesófilas, por terem uma faixa de temperatura ótima entre 25 e



40°C; os microrganismos patogênicos ao homem são mesófilos, crescendo melhor em uma temperatura em torno de 37°C (temperatura corporal) PELCZAR *et al.*, 1997.

**Atmosfera Gasosa** - os microrganismos no seu habitat natural necessitam de quantidades variadas de gases tais como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>. Alguns gases são utilizados no metabolismo celular; outros podem ter sido excluídos de uma cultura por serem tóxicos às células. O O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> são os dois gases principais que afetam o crescimento de células microbianas.

As exigências atmosféricas geralmente têm o oxigênio e gás carbônico como gases principais. Como uma grande variedade responde à presença de oxigênio livre, são agrupadas em aeróbias, as que crescem em presença de oxigênio livre; anaeróbias as que crescem em ausência de oxigênio livre; as anaeróbias facultativas as que crescem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre; já as microaerófilas crescem na presença de pequenas quantidades de oxigênio livre (PELCZAR *et al.*, 1997).

### 2.3 MICRORGANISMOS DE INTERESSE PARA INFECÇÕES HOSPITALARES

As infecções hospitalares representam um grave problema médico-social e o seu melhor conhecimento, prevenção e controle, constituem um desafio a ser enfrentado. Entre os microrganismos associados à etiologia dessas infecções, o *Staphylococcus aureus* permanece como importante agente patogênico, sendo responsável por mais de 30% dos casos de infecções hospitalares. Nos hospitais, os reservatórios são representados por pacientes colonizados, funcionários e pelo próprio ambiente (MUNDIM *et al.*, 2003).

Segundo ESPÍNDOLA & SALLES (1987), os microorganismos geralmente pesquisados e identificados para avaliação do grau de contaminação dos resíduos hospitalares e do meio ambiente são:

- *coliformes*: indicam contaminação fecal, e apesar de não serem patogênicos, servem como medida indireta da presença de bactérias entéricas patogênicas como *Shigella* e *Salmonella thyphi*. Os estreptococos ocorrem aproximadamente com a mesma frequência dos coliformes, porém com crescimento inferior;

- *Staphylococcus aureus*: é um dos microorganismos mais importantes na infecção hospitalar cruzada, é facilmente difundido por partículas de poeira e sua presença nos resíduos é particularmente significativa. É também a bactéria causadora de condições supurativas, furúnculo, carbúnculo, impetigo infantil e abscessos internos em adultos;

- *Candida albicans*: é um fungo comumente encontrado na pele, nas membranas, mucosas, oral e vaginal ou nas fezes; estas espécies causam graves infecções, especialmente nas membranas mucosas (vulvovaginite), na pele (candidíase cutânea) e nos pulmões (candidíase pulmonar);

- *Pseudomonas*: este gênero de bactérias contém muitas espécies responsáveis por inúmeros tipos de infecções como as do trato urinário e infecções secundárias em pacientes com queimaduras graves, bem como diarreias infantis.

Ainda segundo ESPÍNDOLA & SALLES (1987), os microorganismos *S. aureus*, *C. albicans* e as espécies de *Pseudomonas* são denominadas "oportunistas", isto é, infectam pacientes cuja resistência a infecções esteja reduzida por alguma outra doença.

Em pesquisa realizada por NODA & REGO (1993), em dois hospitais gerais de médio porte com padrões de atendimento diferentes, no município de São Paulo, foi traçado o perfil bacteriológico dos resíduos nos setores mais comuns dos hospitais gerais (UTI, centro cirúrgico/obstétrico, pronto socorro/ambulatório, copa/cozinha, enfermaria/unidade de internação e laboratório de análises clínicas). As principais conclusões foram a confirmação de que o risco de contaminação do resíduo é proporcional às quantidades de tecido e matéria orgânica gerados nas áreas e ao fluxo de pessoas no setor. Nos setores onde existem a desinfecção e esterilização, o número de microorganismos encontrados nos resíduos gerados é bem menor que nos demais setores como por exemplo na copa/cozinha, que tem alta concentração de patógenos nos resíduos; e nos dois hospitais analisados o setor de laboratório foi o que apresentou o menor índice de contaminação dos resíduos gerados, devido ao fato de o material ser segregado e autoclavado antes de ser desprezado.

Verificando a pesquisa realizada em um hospital de São Paulo, o grau de contaminação dos resíduos por microorganismos patogênicos é heterogêneo entre os setores dele, o que indica que os cuidados com estes resíduos devem ser diferenciados (OROFINO, 1996).

Conforme ALVES *et al.* (1991) apud OROFINO (1996), o isolamento de agentes patogênicos, a partir de diferentes fontes (alimentos, fezes e amostras de meio ambiente como pó de varreduras, móveis e utensílios de berçário, sabonetes e outros), demonstra a possibilidade de contaminação de diferentes resíduos hospitalares.

Segundo ZANON & MORAES (1987) apud SILVA (2000) “estima-se que 90% das Infecções Hospitalares sejam causadas por bactérias, 9% por fungos e 1% por vírus, protozoários e helmintos”. Mais uma vez denota a importância da intensificação dos estudos em relações às primeiras. Os referidos autores citam que estudos feitos por Atkinson e Moore em 300 hospitais norte-americanos durante a década de 70 revelaram que 96% das infecções bacterianas são causadas por 24 espécies, das quais apenas o *Streptococcus pyogenes* pode ser considerado patógeno primário; *E. coli* e *P. aeruginosa* são as bactérias gram-negativas mais frequentes e o *S. aureus* encabeça a lista das gram-positivas, seguida do *Staphylococcus epidermidis*.

A *E. coli* é a bactéria mais comumente isolada, sendo geralmente altamente susceptível a antimicrobianos. A *P. aeruginosa* é o segundo patógeno gram-negativo mais comumente isolado em muitos hospitais e cepas altamente resistentes ainda predominam, especialmente em centros de tratamento intensivo. O *S. aureus* é o patógeno gram-positivo dominante, com o MRSA (estafilococo meticilina-resistente) representando um grande problema para o controle de infecções hospitalares (SILVA, 2000).

A seguir são apresentadas algumas características de cada bactéria estudada.

*Escherichia coli*, pertencem à família *Enterobacteriaceae*, são bacilos Gram negativos, anaeróbios facultativos e não esporulados, fermentadores da lactose, catalase positivos; são mesófilas, com dimensões de 0,3-1,0µm por 1.0 -6.0µm. O crescimento ótimo é entre 22°C e 37°C. Multiplicam-se em um pH entre 4.4 e 9.0, sendo o pH ótimo entre 6.0 e 7.0 Formam colônias lisas, circulares e convexas com bordas bem definidas, apresentando brilho metálico em meios de cultura diferenciais, como o ágar-sangue, o ágar MacConkey, o ágar Chromocult ou o ágar EMB. (SILVA, 2000, BARELLA, 2002, TODAR, 2002 e MICROBIONET, 2001). Estão presentes nas fezes de humanos e da maioria dos mamíferos (MICROBIONET, 2001.), ocorrem no trato intestinal da maioria dos animais saudáveis de sangue quente (GRAY, 1995) e a colonização ocorre poucas horas ou dias após o nascimento pela ingestão da bactéria

presente em alimentos, água ou diretamente de outros indivíduos. Segundo TODAR (2002) apud BARELLA (2002), no caso dos seres humanos, o intestino é normalmente colonizado 40 horas após o nascimento e a bactéria pode aderir à mucosa do intestino delgado e, uma vez estabelecida a linhagem, poderá persistir por meses ou anos.

*Staphylococcus aureus* são integrantes da família *Micrococcaceae*, são cocos, isto é, células com formato esféricos, dispostas em cachos irregulares, Gram positiva, imóveis, aeróbios, não esporulados, coagulase (+), produzem pigmento dourado. São resistentes a adversidades do meio, suportando temperatura de 60°C por 60 minutos, o contato com fenol a 1% por 15 minutos, e permanecem viáveis sob refrigeração e em estado dessecado por vários meses (PELCZAR *et al.*, 1997). Estão presentes nos seres humanos, os animais e no ambiente. Apesar de fazer parte da microbiota normal do ser humano, preferindo instalar-se no nariz e em algumas áreas da pele, representam um importante patógeno; quase todas as pessoas apresentam algum tipo de infecção causada por eles no decorrer da vida.

*Pseudomona aeruginosa* são bastonetes Gram negativos, não esporuladas, não fermentativas e aeróbias, pertencentes à Família *Pseudomonadaceae*; produzem pigmento azul-esverdeado, com dimensões de 1 a 5µm de comprimento por 0,5 a 1,0µm de largura (GILLIGAN, 1995; TODAR, 2002; TOLEDO & TRABULSI, 1999; MICROBIONET, 2001). Segundo TODAR (1997) apud BARELLA(2002), não são fermentativas, mas podem crescer na ausência de oxigênio caso haja nitrato disponível, pois ele será o aceptor de elétrons. Elas distribuem-se amplamente na natureza como organismo livre, principalmente na água, e geralmente são encontradas em ambientes úmidos de hospitais. E inclusive em líquidos de limpeza, sabonetes e medicamentos já foram isoladas células viáveis. Pequenos números são encontrados na microbiota intestinal e pele de humanos (JAWETZ *et al.*, 1998). Têm necessidades nutricionais mínimas e toleram variações ambientais; crescem bem entre 37 a 42°C (MICROBIONET, 2001., TODAR, 2002.) e o pH varia entre 5.6 e 8.0, sendo considerado como ótimo quando entre 6.6 e 7.0 (TODAR, 2002). São muito resistentes a antibióticos e conseguem, com frequência, escapar dos mecanismos de defesa do hospedeiro, por possuírem, em sua estrutura, glicocálice (material viscoso, geralmente polissacarídeos), que circunda célula apresentam várias funções como: aderência - em pedras onde passa água em grande movimento; proteção - contra dessecação; evitar a adsorção e lise das células

As bactérias *E. coli*, *P. aeruginosa* e *S. aureus* evidenciam sua importância dentro do contexto das infecções hospitalares, e esta dissertação busca avaliar os métodos de desinfecção e seus mecanismos de atuação no resíduo infeccioso tipo e seu percolado, utilizando estas bactérias.

## 2.4 DESINFECÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

São apresentadas a seguir diferentes técnicas de desinfecção de RSS: microondas, autoclave, cal e ultra-som.

Formatados: Marcadores e numeração

### Microondas

As microondas são radiações eletromagnéticas não ionizantes, que possuem uma frequência que vai de 300 a 300.000 MHz e que corresponde a comprimentos de onda de 1mm a 1m. A região de microondas situa-se entre a região de infravermelho e ondas de rádio no espectro eletromagnético. Essa radiação não-ionizante causa migração de íons e rotação de dipolos, mas não causa mudanças na estrutura molecular (SANSEVERINO, 2001, IWAGUCH et al, 2002 e ROSINI *et al.*, 2004).

O magnétron é uma válvula que gera as microondas, é considerado “o coração do forno de Microondas (MO). Consiste de um dispositivo sob vácuo, que converte energia elétrica em microondas. Uma diferença de potencial constante é aplicada entre o ânodo (que é um cilindro circular oco) e o cátodo. Os elétrons são acelerados do cátodo para o ânodo, mas a presença de um forte campo magnético (produzido por um eletroímã colocado entre os dois pólos) faz com que os elétrons descrevam uma trajetória curva e sigam um caminho em espiral, produzindo radiofrequência. Posteriormente, por um mecanismo mais complexo, ocorrerá a emissão de ondas eletromagnéticas por uma antena colocada diretamente sobre o ânodo. As ondas produzidas serão guiadas por um guia de onda até a cavidade, contendo o material a ser

aquecido. As paredes metálicas do forno absorvem muito pouco da energia”(BARBOZA *et al.*, 2001 e SADICOFF *et al.*, 2001).

Conforme MIAN (1986) e MUDGETT (1989) *apud* MENDES (1993), as microondas apresentam as seguintes propriedades que as caracterizam: reflexão, são refletidas pelos metais; refração, conseguem atravessar uma grande quantidade de materiais sem provocar neles qualquer alteração e são absorvidas pelos alimentos (absorção).

As vantagens do tratamento de desinfecção com microondas, utilizando um forno doméstico são o pouco tempo de exposição, com o resíduo; a facilidade em manusear o equipamento; a possibilidade de utilização na própria unidade geradora, ou de instalação em qualquer lugar (até mesmo em unidades móveis); a simplicidade do processo de licenciamento e monitoramento ambiental; a não emissão de efluentes gasosos ou líquidos, tornando-o mais seguro; a facilidade de operação, podendo ser utilizado continuamente (sem esperar aquecer ou esfriar). Entre as desvantagens, citam-se os custos de investimento; a pouca capacidade do equipamento; a limitação a alguns tipos de resíduos; a não redução de peso; as características dos resíduos inalteradas; a exigência de um recipiente próprio (vidro ou potes de plásticos próprios para microondas), antes de ser acondicionado em sacos plásticos e custo com transporte e a descarga em aterro sanitário.

### **Aquecimento por microondas**

Os autores SANSEVERINO (2001) e BARBOZA *et al.* (2001) relatam que o aquecimento por microondas é completamente diferente daquele que ocorre em um forno de cozinha convencional (seja a gás ou elétrico), onde o aquecimento de alimentos ocorre por condução, irradiação e convecção. Eles afirmam que o aquecimento por microondas é também chamado de aquecimento dielétrico.

Durante o aquecimento de um material por irradiação com microondas se dá devido à interação da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula. Um importante atributo do aquecimento por microondas é a absorção direta da energia pelo material a ser aquecido,

ao contrário do que ocorre quando o aquecimento é realizado por convecção, no qual a energia é transferida lentamente do recipiente de reação para a solução. Assim, o aquecimento por microondas é seletivo e dependerá, principalmente, da constante dielétrica e da frequência de relaxação do material (ROSINI *et al*, 2004).

Segundo BARBOZA *et al* (2001) os princípios envolvidos no aquecimento por microondas envolvem conceitos químicos, como temperatura, capacidade calorífica, ligação química, estrutura molecular, momento de dipolo, polarização, constante dielétrica etc.

Existem dois mecanismos principais para a transformação de energia eletromagnética em calor. O primeiro deles é chamado rotação de dipolo, e relaciona-se com o alinhamento das moléculas (que têm dipolos permanentes ou induzidos) com o campo elétrico aplicado. Quando o campo é removido, as moléculas voltam a um estado desordenado, e a energia que foi absorvida para esta orientação nestes dipolos é dissipada na forma de calor. O segundo mecanismo é chamado de condução iônica, e o calor é gerado através de perdas por fricção, que acontecem através da migração de íons dissolvidos quando sob a ação de um campo eletromagnético. Estas perdas dependem do tamanho, carga, condutividade dos íons dissolvidos e interação destes últimos com o solvente (SANSEVERINO, 2001).

O aquecimento de uma substância no forno de microondas, as moléculas que possuem momento de dipolo elétrico ou que podem ter momentos dipolares induzidos tendem a se alinhar com o campo e quando o campo elétrico é removido, ocorrerá uma relaxação dielétrica, ou seja, as moléculas tenderão a retornar ao seu estado não alinhado, dissipando a energia absorvida na forma de calor.

Em princípio, quanto maior for o dipolo elétrico, mais intenso deve ser a orientação molecular sob a ação do campo elétrico. Se um material possui um valor maior de constante dielétrica, a princípio, maior quantidade de energia pode ser armazenada (ROSINI *et al*, 2004).

### **Reatores que utilizam microondas**

SANSEVERINO (2001) relata a existência de reatores de microondas para a condução de reações orgânicas. Destaca-se ainda um fator importante atribuído à distribuição não homogênea das microondas no interior de um forno doméstico. Além do mais, a potência em um forno de microondas não é, na realidade, passível de variação, pois o que ocorre é uma interrupção seqüencial da irradiação que corresponde aos níveis de potencia do seletor (a amostra está submetida sempre a uma mesma potência, mas por períodos de tempo diferentes).

Os pesquisadores ROHRER & BULARD (1985) apud MENDES (1993) consideram um aspecto importante no processamento de microondas a conversão de energia, que gera o aquecimento, e ocorre dentro do próprio material que a absorve. Os autores verificam que os fornos de microondas modificados podem ser utilizados para esterilização de materiais utilizados em consultórios dentários, destruindo fungos, vírus e bactérias aeróbias ou anaeróbias.

“Os RSS que utilizam microondas e/ou ondas de rádio de baixa frequência para esterilização passam por um processo de fragmentação para redução de dimensão e de volume e são umedecidos previamente até cerca de 10% em massa. [...] As ondas eletromagnéticas, quer sejam microondas, ou de rádio de baixa frequência, aquecem as moléculas de água, que, por sua vez, aquecem toda a massa de resíduos à temperatura em torno de 100°C, por um tempo determinado, suficiente para desinfecção dos RSS” (IPT/CEMPRE, 2000).

De acordo com KOZEMPEL *et al* (1997) a maioria dos alimentos absorve energia de alta frequência de campos eletromagnéticos, como a energia da microonda. Estes campos eletromagnéticos e os componentes químicos dos alimentos fazem interações nas quais ocorre rotação do dipolo das moléculas de água e da migração dos portadores de carga. Foram testados alimentos (água, salmoura e suco de frutas) que utilizariam energia eletromagnética como das microondas, porém com a remoção rápida de energia térmica. A temperatura permaneceu abaixo das temperaturas normais para destruir as bactérias (*Pediococcus*) ao longo da seqüência.



A pesquisa de JENG *et al.*(1987) foi realizada com duas formas de calor: o forno de calor seco por convecção e o forno de microondas, com os esporos da bactéria *Bacillus-subtilis* subsp. *niger* tratados simultaneamente. A temperatura do forno de microonda foi monitorada tal que os perfis de temperatura das amostras dos esporos fossem idênticos, em ambas as fontes de calor. A pesquisa demonstrou que o mecanismo da ação esporicida das microondas era causado unicamente por efeitos térmicos. Os efeitos não térmicos não foram significativos em um processo seco de esterilização com microondas. Ambos os sistemas mostraram-se com um tempo de contato em torno de 45 minutos para esterilização dos 10<sup>5</sup> esporos.

### **Mecanismos de ação das microondas nos microrganismos**

A eficiência da esterilização da microonda é essencial em função da força do campo eletromagnético e do tempo da exposição. A energia eletromagnética é expressa pela maioria dos autores em dois métodos: (i) os fatores que dependem das propriedades dielétricas das moléculas de dipolo dos materiais irradiados no método do calor (efeito térmico) e (ii) os fatores que não dependem das moléculas de dipolo no método de um efeito direto da radiofrequência (efeito não térmico) (JENG *et al.* 1987).

Segundo OLSEN apud JENG *et al.*(1987), acredita-se que o efeito não térmico das microondas tem um papel na inativação dos microrganismos na suspensão através da formação de peróxido de hidrogênio e de outra transformação química de moléculas pequenas, tais como a clivagem de ligações químicas. Todos os sistemas biológicos são eletroquímicos na natureza, conseqüentemente, não estaria surpreendendo se os campos eletromagnéticos influenciassem fisiologicamente os microrganismos.

Várias teorias existem para explicar como a energia eletromagnética poderia matar microrganismos sem calor. O campo elétrico externo induz a um potencial elétrico adicional na membrana que é maior que o potencial normal da célula.

O potencial suficiente para romper a membrana da célula resulta na formação de poros, aumentando a permeabilidade com a perda da integridade da célula (KOZEMPEL *et al.* 1997).

KINOSITA e TSONG (1977) apresentaram um mecanismo para desenvolvimento de poro causado por pulsos de campos elétricos. Eles apresentam evidência de migração de solutos intracelular pela membrana da célula e a destruição resultante da célula. Outra possível explicação para os efeitos não térmicos observados com intermitência quando empregando campos de energia eletromagnéticos é a interação do campo magnético associado com os microrganismos.

Em uma revisão de POTHAKAMURY *et al* (1993), quando um número grande de dipolo magnético está presente em uma molécula, muita energia pode ser transferida à molécula para quebrar uma ligação covalente. Em certas moléculas críticas, como DNA, ou proteínas, foram quebradas pelo tratamento com microondas, destruindo o microrganismo, conseqüentemente, fazendo com que sua reprodutibilidade fosse inativa.

Formatados: Marcadores e numeração

## Autoclave

A autoclavagem é um tratamento térmico bastante utilizado no ambiente hospitalar e que consiste em manter o material contaminado a uma temperatura elevada, através do contato com vapor de água, durante um período de tempo suficiente para destruir todos os agentes patogênicos. O processo inclui ciclos de compressão e de descompressão de forma a facilitar o contato entre o vapor e os materiais contaminados. Os valores usuais de pressão são da ordem de 1 a 2 atm e a temperatura atinge até 135°C. A autoclavagem tem a vantagem de ser relativamente simples e ser utilizada para esterilizar diversos tipos de materiais hospitalares (FERNANDES , 2000).

A esterilização, ou seja, destruição total dos microrganismos, na autoclave, ocorre devido ao calor que danifica a estrutura da célula, como na membrana citoplasmática, com isso a célula não se desenvolve. Para que a eliminação dos microrganismos ocorra, é necessário

manter por um determinado tempo, o número de microrganismos e na mesma temperatura. Também é importante avaliar os microrganismos presentes e suas características (NEEF *et al.*, 2002).

A eficiência das autoclaves se baseia no contato direto do vapor saturado com microrganismo, ou seja, se uma bactéria estiver dentro do frasco, o vapor precisará aquecer o frasco, até que este atinja uma temperatura suficiente para destruir a bactéria. A eliminação do microrganismo se dá pelo aquecimento do meio em que este se encontra e não pelo contato direto com o vapor.

Indicadores químicos são usados no exterior dos pacotes, na forma de fitas, contendo uma substância que altera a cor quando atinge determinada temperatura, porém, garantem apenas que a temperatura foi atingida, nada revelando sobre o tempo de exposição. Os indicadores biológicos são os únicos capazes de medir diretamente a esterilização e devem ser usados rotineiramente. Nas autoclaves são usadas tiras contendo esporos de *Bacillus stearothermophilus* por serem muito resistentes aos tratamentos, na concentração  $10^5$  (RUTALA, 1995).

Autoclavagem consiste na utilização de vapor de água sob pressão para realizar o processo de esterilização. A destruição das bactérias ocorre pela termocoagulação e desnaturação irreversível das enzimas e proteínas citoplasmáticas, sendo suficiente uma exposição à temperatura de 121°C a 132°C durante 15 a 30 minutos, dependendo do material. Estes parâmetros são usados para material limpo, como aventais e campos cirúrgicos, instrumentos e suprimentos.

De acordo com STRAIN & GRÖSCHEL (1995), não apenas no Brasil, mas também em outros países, como nos Estados Unidos, não existe padronização de procedimentos para a esterilização de resíduos, sendo utilizados os mesmos de materiais cirúrgicos. ZAKI & CAMPBELL (1997) recomendam, para a esterilização de RI de laboratórios, 121°C e 15 psi (1 atm) de pressão por 90 minutos, mas ressaltam que determinam o tempo ótimo de exposição, deve ser consideradas parâmetros, como tamanho da carga, material (sólido ou líquido), e o tipo de recipiente utilizado.

Segundo RUTALA (1995), a autoclave gravitacional é a mais empregada para RI, recomendando pacotes de no máximo 4,5kg, os quais necessitam de 45 minutos a 120°C,

constituindo-se num processo de esterilização eficaz e econômico, o qual tem sido empregado como pré-tratamento de determinados tipos de RSS.

No Brasil, o método é utilizado para esterilizar aparelhos e materiais cirúrgicos, utilizando como indicadores microrganismos termo-resistentes e esporulados. De acordo MOREL & BERTUSSI FILHO (1997), passou a ser aplicada como técnica de esterilização de resíduos, e mesmo assim, limitada apenas a alguns resíduos biológicos.

Segundo LAUER *et al.* (1982), foram feitos testes para avaliar importância do recipiente, da umidade, e do material na autoclavagem. O material utilizado foi um resíduo infeccioso de um laboratório. O resíduo padrão foi testado em 2 recipientes: um de aço e outro de saco para autoclavagem; os testes foram em um autoclave à temperatura de 121°C. O resíduo dentro do recipiente de aço, independente da adição de 1 litro de água, alcançou uma temperatura máxima de 108°C em 50 minutos. O recipiente de polipropileno, os sacos plásticos autoclaváveis, com adição 1 litro da água, a temperatura correspondente foi de 99°C e sem a adição da água, a temperatura foi de 92°C.

### **Mecanismos de ação da autoclave nos microrganismos**

O calor úmido é muito mais eficiente que o seco, porque causa desnaturação e coagulação de proteínas vitais e funde lipídeos. Já o calor seco provoca oxidação dos constituintes orgânicos da célula, e a desnaturação de proteínas ocorre em temperatura e tempo inferior à oxidação. O calor úmido utiliza temperaturas mais baixas que o seco. É muito mais eficiente que o calor seco, é mais microbicida. Tem alto calor latente, ou seja, demora para esquentar e esfriar, conservando melhor o calor (PELCZAR *et al.*, 1997).

O vapor (calor úmido) de dentro da autoclave causa desnaturação e coagulação das proteínas vitais como as enzimas. Pode agir no citoplasma da célula viva, que normalmente está em um estado coloidal, contendo DNA, ribossomos que sintetizam proteínas e centenas de enzimas. A membrana citoplasmática que envolve a célula mantém a integridade do conteúdo celular, controla a passagem de substâncias para dentro e fora da célula e contém as

enzimas envolvidas ao metabolismo celular. A parede celular promove uma proteção que previne o rompimento das células após absorção de água. A perda dessas funções - alteração do estado físico do citoplasma, inativação das enzimas, ou rompimento da membrana ou parede celular – pode levar à morte da célula (PELCZAR *et al*, 1997).

Tem alto poder de penetração e faz pontes de hidrogênio com a proteína desnaturada, impedindo-a de voltar ao normal, ou seja, modifica a estrutura da proteína (PELCZAR *et al*, 1997).

### **Funcionamento da autoclave**

A autoclave possui uma câmara de parede dupla que é primeiramente lavada com vapor fluente, para remover todo o ar. É então preenchida com vapor puro e mantida a uma determinada temperatura e pressão por um período específico de tempo. É essencial que o ar residual inicialmente presente na câmara seja completamente substituído por vapor d'água. Se o ar estiver presente, reduzirá a temperatura interna da autoclave. É a temperatura, e não a pressão no interior da câmara, que mata os microrganismos (PELCZAR *et al*, 1997).

A autoclavagem é composta basicamente das seguintes operações:

**Pré-vácuo.** São criadas condições de pressões negativas de forma que, na fase seguinte, o vapor entre mais facilmente em contacto com os materiais a serem esterilizados.

**Admissão de vapor.** Introdução de vapor na autoclave, seguido do aumento gradual da pressão, de forma a criar condições para o contato entre a água superaquecida e os materiais, e para facilitar sua penetração nos invólucros, dando acesso a todas as superfícies.

**Esterilização.** Manutenção de temperaturas e pressões elevadas durante determinado período de tempo, ou seja, até se concluir o processo. De acordo com a carga, o operador deve definir o tempo e a temperatura de cada ciclo.

**Exaustão lenta.** Libertação gradual do vapor que passa por um filtro com poros finos o suficiente para evitar a passagem de qualquer microrganismo para o exterior da autoclave, e permitir a diminuição gradual da pressão até que seja atingida menos de uma atmosfera.

**Arrefecimento da carga.** Arrefecimento da carga até uma temperatura que permita a retirada dos materiais da autoclave

A operação e manutenção da autoclave são fundamentais para a eficácia do processo, exigindo operadores devidamente treinados e familiarizados tanto com as características e exigências do equipamento, quanto com as propriedades do material a ser tratado. Assim como a temperatura e o tempo de exposição, a disposição do material no interior do equipamento deve ter atenção especial, pois há necessidade de espaço para o contato do vapor com todas as superfícies (FERNANDES, 2000).

As vantagens em se utilizar autoclavagem como método de desinfecção são um sistema que não produz resíduos tóxicos ou contaminantes, desde que a autoclave seja propriamente operada e regulada; não ocorre a geração e dispersão de aerossóis; não há caracterização de emissões atmosféricas; pode ser realizada na própria unidade geradora; depois de esterilizados, os resíduos são considerados como resíduos comuns; é fácil para a realização de testes biológicos de eficiência. As desvantagens são a necessidade de mais um equipamento, devido ao tempo de aquecimento, detenção e resfriamento; os custos altos do equipamento e da instalação, além do custo adicional de transporte e disposição final em aterros sanitários; a exigência de gastos a aquisição de sacos ou embalagens especiais que não sofram alterações quando submetidas ao calor intenso; e o peso permanece inalterado; os resíduos, embora não mais infecciosos, permanecem com aspecto inalterado (FERNANDES, 2000).

**Formatados:** Marcadores e numeração

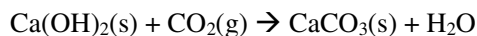
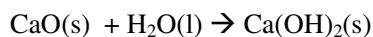
## Cal

Algumas cidades brasileiras dispõem os RSS em valas e empregam a cal hidratada na tentativa de eliminar microorganismos patogênicos (REGO & NODA, 1993).

Segundo PERREIRA (1992) apud OROFINO (1996), a técnica de recobrimento com cal (CaO) dos RSS é complementar ao sistema de valas sépticas. A calagem tem por objetivo a ação neutralizadora e bactericida devido ao óxido de cálcio, podendo ser adotada por municípios conscientes do problema e carentes de recursos financeiros. O autor entende que este procedimento apresenta riscos, mas só o fato de dispor o RSS em aterros, sejam eles sanitários, industriais ou hospitalares, não se soluciona o problema e, sim, administra-se o risco, através do gerenciamento e monitoramento.

A cal é o principal produto derivado dos calcários, dolomitos ou conchas calcárias. É obtida através de uma reação química simples (calcinação), mas requer conhecimento e habilidade para alcançar o padrão de qualidade ideal. A calcinação é a decomposição térmica dos calcários/ dolomitos/ conchas calcárias que resulta na formação de dois produtos, cal e dióxido de carbono. Esta reação, quimicamente bem estabelecida em relação às massas moleculares, é reversível para ambos os carbonatos de cálcio e de magnésio. O resultado da calcinação dos carbonatos de cálcio e de cálcio-magnésio são respectivamente, os óxidos de cálcio (CaO) e cálcio-magnésio (CaO-MgO), denominados genericamente de cal virgem ou cal viva (GUIMARÃES, 1998).

Com a hidratação do óxido de cálcio chega-se ao hidróxido de cálcio e a reação entre este e o gás carbônico leva à formação do carbonato de cálcio, podendo tais reações ser assim representadas:



s = sólido; g = gás e l = líquido

O hidróxido de cálcio apresenta-se como um pó branco, alcalino (pH 12,8), pouco solúvel em água (1,2 g/litro de água, à temperatura de 25° C). Quando provém de rochas carbonatadas puras, a cal virgem é um produto inorgânico branco. Quando apresenta colorações creme, amarelada e levemente cinza, é sinal de que detém impurezas. Seu odor é equivalente ao “terroso”.

A qualidade química do produto depende das características e das impurezas contidas na rocha que lhe deu origem. Assim, recebe o nome de cal cálcica o produto com alto teor de óxido de cálcio; cal dolomítica, quando possui a relação entre os óxidos de cálcio e de magnésio igual a molecular CaO/MgO; e de cal magnesiana quando possui teores de óxido de magnésio intermediário entre a cal cálcica e a cal dolomítica.

As cales hidratadas são classificadas pela NBR 7175 (ABNT, 1992), de acordo sua composição química, como CH I, CH II e CH III, diferenciando-se basicamente pelo teor de CO<sub>2</sub> (RAGO & CINCOTTO, 1998).

A cal hidratada resulta do prosseguimento do processo industrial que dá origem à cal virgem. A reação química que a produz, com a presença de água, é uma clássica “reação de fases sólido-líquida”. Dependendo do volume de água utilizado para a reação, o produto final pode ser seco ou com aspectos de creme, lama, leite ou solução saturada (GUIMARÃES, 1998).

Cal hidratada é o nome genérico de todas as formas de hidratos. Mas a cal hidratada propriamente dita se apresenta como pó seco, com 17% a 19% de água combinada (quando dolomítica normal) e 24% a 27% de água combinada (quando cálcica ou hidratada sob pressão). As demais formas de hidratos têm nomes próprios, a saber (GUIMARÃES, 1998) :

- pasta de cal – cal virgem hidratada com 30 a 45% de água livre;
- lama de cal – a concentração de água livre varia de 55 a 73%;
- leite de cal – a participação de água situa-se entre 80 a 99%;
- água de cal - o hidrato está em solução pura, saturada ou não, sem qualquer sólido em suspensão. A solubilidade a 10°C é de 1,33g / litro para CaO e 0,01g/ litro para Mg .
- cal hidratada sob pressão - é o produto resultante do processo ao qual é submetida à cal virgem de natureza dolomítica ou magnesiana, para ter todos os seus óxidos transformados em hidratos. A principal diferença entre os dois processos – pressão atmosférica e sob-pressão, é a utilização de uma autoclave como câmara de hidratação onde cal virgem e água são introduzidas com fluxo constante em peso e volume.

As propriedades da cal virgem e da cal hidratada estão descritos no quadro 2 – 1.



Quadro 2 - 1 – Propriedades da cal

PROPRIEDADE	CAL VIRGEM	CAL HIDRATADA
Composição química	CaO; CaO, MgO	Ca(OH) <sub>2</sub> ou Ca (OH) <sub>2</sub> Mg (OH) <sub>2</sub>
Sistema cristalização	cúbico	Hexagonal
Porosidade	18 a 48%	-
Peso específico	3 a 3,6 g/cm <sup>3</sup>	2,3 a 2,9 g/cm <sup>3</sup>
Densidade aparente	880 a 960 kg/m <sup>3</sup>	400 a 640 kg/m <sup>3</sup>
Dureza	2 a 3	2 a 3
Coef. de expansão	138 x 10 <sup>-7</sup> °C	3,34 x 10 <sup>-5</sup> °C
Condutividade térmica	0,0015 a 0,002 cal/cm/seg/°C	-
Calor específico	0,17 a 0,32	0,27 a 0,37
Calor formação	151.900 a 143.750 cal/mole	8.000 a 153.000 cal/mole
Ângulo de repouso	50 a 55°C	70°C
Solubilidade	-	1,33 g CaO/l a 10°C

Fonte: Guimarães, 1998.

A cal, por ser um produto alcalino forte e normalmente de preço reduzido, é utilizada em diversas atividades relacionadas à preservação das condições sanitárias e à higiene nas grandes e pequenas comunidades. Com a alcalinidade que transmite ao meio, a maioria dos microrganismos não encontram um meio adequado para o seu crescimento. Essencialmente, o pH do resíduo infectante aumenta pela adição da cal e com um tempo de contato adequado, os microrganismos são destruídos.

A cal é utilizada principalmente no lodo para controle de pH e higienização. A cal é encontrada no mercado como cal virgem (CaO) ou cal hidratada ((Ca(OH)<sub>2</sub>). A cal virgem deve ser extinta com água antes de ser utilizada, convertendo-se em Ca(OH)<sub>2</sub>, operação que libera muito calor. A cal hidratada não necessita desta etapa, e é mais disponível no mercado, porém é mais cara que a cal virgem (SANTOS,2003).

REGO & RAGO, (1993) avaliaram o uso da cal para eliminação de microrganismos patogênicos na prática usual da disposição de resíduos sólidos de serviços de saúde em valas. O ensaio consistiu de uma montagem em uma caixa de amianto na qual foi adicionada à cal em 3 camadas, o que correspondeu a 0,75 kg de cal por quilo de resíduo. A disposição era uma camada de pedra brita no fundo, uma camada de areia e uma camada de cal; em seguida foram colocados alternadamente 2 camadas de 22 cm de resíduo e 2 camadas de 1 cm de cal, postas a 15 cm do solo. Algumas cidades brasileiras dispõem os RSS em valas e empregam a

cal hidratada na tentativa de eliminar microorganismos patogênicos. Tal prática não apresentou resultados satisfatórios.

CHAGAS (2000) pesquisou o processo de higienização do lodo com cal em relação à sua eficiência na eliminação de microorganismos patogênicos das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e Penha, no Estado do Rio de Janeiro, visando a sua reciclagem como insumo agrícola. Neste processo de higienização foram avaliados três parâmetros microbiológicos: *coliformes totais*, *coliformes termotolerantes* e *Salmonella*. Na calagem foi incorporada ao lodo a dose de 50% de seu peso seco, o que manteve o pH da mistura sempre igual ou superior a 12. Foram realizadas análises; uma imediatamente após a coleta do lodo digerido bruto e a outra do lodo digerido calado após 7 dias. O lodo calado a 50% do peso seco, apresentou redução de 100% de *coliformes totais*, *coliformes termotolerantes* e *Salmonella* nas amostras analisadas.

CANZIANI *et al* (1999) propuseram que, ao lodo de esgoto da ETE Belém-Curitiba para uso agrícola, fosse incorporada cal virgem na proporção mínima de 50% do peso seco, podendo chegar a 70%, caso se desejasse, em sua utilização agrícola, uma maior redução de cheiros e uma maior segurança do ponto de vista sanitário.

Quando a cal é adicionada, os microorganismos patógenos envolvidos são severamente inibidos, inativados ou destruídos pelos altos níveis de pH. No resíduo adequadamente acondicionado, pouco ou nenhuma decomposição ocorre e, conseqüentemente, os odores não são produzidos.

### **Mecanismo de ação da cal nos microrganismos**

BERTUSSI FILHO (1994) apud OROFINO (1996), recomenda a utilização da cal com o objetivo de diminuir o metabolismo bacteriano, e com isso minimizar o processo de decomposição, evitando assim a formação de mau cheiro e conseqüentemente o aparecimento de vetores.

As propriedades biológicas e antimicrobianas do hidróxido de cálcio derivam de sua dissociação iônica em íons cálcio e íons hidroxila, os quais agem sobre os tecidos e as bactérias (PÊCORÁ *et al*, 1997)

As alterações nas propriedades biológicas da membrana celular podem ser esclarecidas pelas reações químicas, uma vez que o hidróxido de cálcio na presença de dióxido de carbono transforma-se em carbonato de cálcio apresentando características químicas de um óxido ácido fraco. Este produto formado é desprovido das propriedades biológicas do hidróxido de cálcio, como a capacidade mineralizadora (PÊCORÁ *et al*, 1997).

O possível mecanismo de ação da cal sobre os microrganismos está associado ao pH intracelular das bactérias. Em condições normais este é da ordem de 7,0, não importando qual o valor do pH externo. O pH da célula viva nesta ordem de grandeza resulta da expulsão ou absorção de íons hidrogênio. A migração dos íons  $\text{Ca}^+$  ou  $\text{OH}^-$  do meio externo para o meio interno ocorre com a dissociação das moléculas que penetram através da membrana celular, interferindo assim na sua permeabilidade, o que leva a afetar o transporte de substrato e a fosforilação oxidativa, inibindo o transporte de elétrons.

Formatados: Marcadores e numeração

### **Tratamentos de desinfecção utilizam Ultra-som**

A acústica é a parte da Física que estuda a geração, propagação e detecção das ondas acústicas ou mecânicas associadas ao som. O som pode ser definido simplesmente como uma vibração (KOEKE, 2003). Segundo CREPON (1996) e BISSCHOP *et al*. (2001), a vibração é um tipo rápido de movimento oscilatório em torno de uma posição de equilíbrio. Ela emite ondas mecânicas caracterizadas por sucessões de pressões e rarefações de moléculas no meio em que se propagam, engloba ondas mecânicas longitudinais transmitidas a um determinado meio e propagação retilínea.

As ondas mecânicas são as que se propagam em meios deformáveis ou elásticos. Elas surgem de uma perturbação numa região de um meio elástico. Tendo o meio propriedades elásticas, a perturbação é transmitida para as partículas adjacentes, a qual irá vibrar e

transferir novamente parte da energia para outra partícula, e assim sucessivamente até o término da energia. A onda mecânica propaga-se no ar como onda longitudinal, ocorrendo o mesmo em meios cujas moléculas ou átomos estão fracamente interligados (como nos gases e líquidos), podendo se propagar como onda transversal nos meios de alta coesão molecular (como nos sólidos) e deixar de existir no vácuo (KOEKE, 2003).

A classificação é feita em função do ponto auditivo do homem escalonado entre 20Hz e 20.000Hz (frequência abaixo de 17Hz são denominadas “infra-som” e acima de 17.000Hz “ultra-som”) ou de acordo com seu uso (STARKEY, 1999). Estas ondas mecânicas possuem como característica, a capacidade de transmitir energia sem transferir matérias. Um meio submetido ao ultra-som, oscila (comprime e expande) na mesma frequência do feixe ultra-sônico.

De acordo com BASSOLI (2001), as ondas ultra-sônicas possuem uma frequência que varia em torno de 20.000 e 20.000.000 de ciclos por segundos (1 ciclo =1 hertz). O ultra-som é transmitido em forma de ondas de compressão, nas quais as partículas oscilam em direção perpendicular à direção de propagação das ondas. As ondas ultra-sônicas são ondas mecânicas e transmitem energia através da matéria causando uma oscilação nas posições de equilíbrio das suas partículas.

Como o ultra-som está fora da faixa de frequência audível ao homem, ele pode ser empregado com intensidade bastante alta. As aplicações de alta intensidade têm como objetivo produzir alteração do meio através do qual a onda se propaga. Como exemplo pode-se citar a terapia médica, atomização de líquidos, limpeza por cavitação, ruptura de células biológicas, solda e homogeneização de materiais. O uso do ultra-som de baixa intensidade em medicina, para diagnóstico, se baseia na reflexão das ondas ultra-sônicas (PÉCORA et al, 1997).

Na desinfecção de águas residuárias, o ultra-som tem se mostrado eficiente como pré-tratamento combinado com a irradiação ultravioleta, na desinfecção e com o objetivo de romper os flocos presentes nas águas residuárias, pois as bactérias e os vírus ficam incorporados nos flocos presentes nas águas residuárias (NEIS & BLUME, 2002).

De acordo com NEIS & BLUME (2002), o ultra-som, induzido em frequências baixas, é um meio eficaz para a desintegração de células bacterianas. Dois efeitos podem ser

observados nas bactérias: o de alta e baixa de do ultra-som. Nas baixas intensidades, os flocos podem ser quebrados por forças mecânicas, devido à agitação do meio. Nas altas intensidades ocorre a cavitação do ultra-som com impacto nas paredes de células, que são rompidas. Em experiências da escala de laboratório, um sonotrodo com ponteira estava operando em 20 kHz, funcionando em combinação com uma lâmpada de UV de arco de pressão baixa de mercúrio para tratar as amostras de águas residuárias de uma planta de tratamento municipal. Em intensidades baixas do ultra-som, uma mudança drástica na distribuição de tamanho da partícula das amostras foi observada. Conseqüentemente, a irradiação UV subsequente era mais eficiente porque o número das partículas grandes que impediam o processo de desinfecção foi minimizado pela sonificação.

### **Equipamento - desruptor de células ultra-sônico**

O desruptor de células ultra-sônico gera energia ultra-sônica de alta intensidade. É composto por: sonotrodo que é um transdutor ultra-sônico, ou simplesmente de transdutor. Este dispositivo converte energia elétrica em energia mecânica e vice-versa e apresenta um fenômeno chamado efeito piezoelétrico. Ao se colocar um material piezoelétrico num campo elétrico, as cargas elétricas da rede cristalina interagem com o mesmo e produzem tensões mecânicas. Alguns cristais naturais como o quartzo e a turmalina são piezoelétricos podendo ser utilizados como transdutores. No entanto, alguns transdutores podem ser produzidos artificialmente como o titanato de bário ( $Ba TiO_3$ ) e o zirconato titanato de chumbo (PZT). (BASSOLI, 2001, PÉCORRA et al , 1997).

A piezoelectricidade é uma propriedade natural de certos cristais e substâncias cristalizadas que apresentam anisotropia, ou seja, a capacidade de reagir diferentemente de acordo com a direção de propagação de um fenômeno físico sobre si, como a luz, o calor, etc. (BASSOLI, 2001, PÉCORRA et al , 1997).

Nestes tipos de materiais pode ocorrer o fenômeno da piezoelectricidade quando é aplicada a pressão mecânica sobre ele, desenvolvendo cargas elétricas na sua superfície. Os cristais piezoelétricos (ou cerâmicas) produzem cargas elétricas positivas ou negativas quando

se contraem ou expandem. Tal efeito é reversível, isto é, quando aplicar uma corrente elétrica alternada sobre estes materiais, eles são capazes de vibrar e, portanto de emitir ondas ultra-sônicas. A vibração nestes materiais resulta na produção de ondas mecânicas de alta frequência (STARKEY, 1999).

Portanto, as ondas ultra-sônicas são produzidas por uma corrente alternada apropriada seguindo através de um cristal piezoelétrico dentro de um transdutor (sistema fechado com material ou cristal cerâmico polarizado, o qual deve possuir elevada atividade piezoelétrica) (KOEKE, 2003).

O cristal, para ser usado como transdutor, deve ser cortado de forma que um campo elétrico alternado, quando nele aplicado, produza variações em sua espessura. Dessa variação resulta um movimento nas faces do cristal, originando as ondas sonoras. Cada transdutor possui uma frequência de ressonância natural, tal que quanto menor a espessura do cristal, maior será a sua frequência de vibração (PÉCORÁ et al, 1997).

Os disruptores de células ultra-sônicas são equipamentos constituídos de dois módulos, sendo uma fonte geradora de corrente alternada, calibrada para a geração de ondas ultra-sônicas de uma dada frequência, e uma sonda que contém o transdutor e amplificador, normalmente construída com material resistente que pode ser imersa em soluções ou acoplada a reatores. Diferentes fabricantes produzem os processadores com características diversas: frequências (normalmente 20 kHz), temporizadores, formas de aplicação (contínua ou pulsada), sondas de diâmetros variados, acoplados, ou não, com reatores (KOEKE, 2003).

### **Mecanismo de ação nos microrganismos**

No disruptor de células ultra-sônico, o transdutor transforma energia elétrica em energia mecânica obtendo-se ciclos de tensão e compressão dentro do líquido, formando bolhas microscópicas, causando troca de pressões locais na ordem de milhares de atmosferas. Esta energia mecânica é tão grande que causa o rompimento das células de enzimas, fermentos, bactérias, esporos, etc (NEIS & BLUME, 2002 e BLUME & NEIS, 2004).

A cavitação é a implosão destas microbolhas no meio líquido e formação de cavidades que causam o rompimento das células. No caso de células biológicas ou macromoléculas em suspensão aquosa, o ultra-som pode alterá-las estruturalmente e/ou funcionalmente através da cavitação. O colapso das bolhas libera energia que pode romper as ligações moleculares, provocando o aparecimento de radicais livres  $H^+$  e  $OH^-$ , altamente reativos e como conseqüência, causar mudanças químicas. Outro efeito biológico que pode ocorrer é devido às denominadas "forças de radiações" que podem deslocar, distorcer e/ou reorientar partículas intercelulares, ou mesmo células com relação às suas configurações normais (PÉCORA et al, 1997).

O ultra-som em alta intensidade provoca a cavitação que impacta nas paredes celulares das bactérias fazendo com que elas se rompam. Este efeito é letal para os microrganismos (NEIS& BLUME, 2002 e BLUME & NEIS, 2004).

### 3 METODOLOGIA

Todas as atividades foram desenvolvidas nas dependências do Laboratório de Microbiologia integrante do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado no Campus Universitário – Florianópolis/SC.

O procedimento experimental consistiu na preparação de um resíduo de referência inoculado especificamente com as bactérias *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, descrito no item 3.1. A preparação do percolado é apresentada no item 3.2.

Após a preparação deste resíduo foram testadas as ações dos métodos de desinfecção que são descritos nos itens 3.3 e 3.4 com suas particularidades e parâmetros estudados.

Em todos os métodos de desinfecção foi necessária a preparação de um balão controle para realizar a contagem inicial e final das bactérias comparado com o balão experimental testado, ou seja, controle sem exposição ao método de desinfecção, de forma a obter a concentração inicial de microrganismos para o cálculo da eficiência de desinfecção.

Após a exposição aos métodos de desinfecção foram realizadas as diluições, plaqueamento e contagem dos balões controle e experimental. Os procedimentos que foram realizados para a diluição e plaqueamento e contagem estão descritos nos itens 3.5 e 3.6.

Com os resultados obtidos através da contagem tornou-se possível calcular a concentração de microrganismos, utilizando o método “*surface ou spread plate*”, descrito no item 3.7, e fazer o cálculo da eficiência da desinfecção.

Um procedimento será considerado eficiente se ele eliminar 100% dos microorganismos de referência presentes no resíduo tipo. Portanto, serão analisadas as condições de ensaio que permitem tal desempenho.



Foram realizadas análises complementares, como o oxigênio dissolvido (OD), temperatura e potencial hidrogeniônico (pH) dos balões controle e experimental, para todos os experimentos, para avaliar possíveis alterações no resíduo ou no percolado. O acompanhamento da variação do pH tem o intuito de verificar se o valor está dentro da faixa ideal para as bactérias em estudo e se o grupo experimental submetido aos métodos de desinfecção comparados com o grupo controle apresentaria um valor de pH diferente. O mesmo se dá para o parâmetro OD. O objetivo da medição da temperatura, por sua vez, é verificar a sua influência no comportamento das bactérias.

### 3.1 PREPARAÇÃO DO RESÍDUO UTILIZADO

A preparação do resíduo infeccioso tipo é comum a todos os métodos de desinfecção, mostrando as proporções dos componentes da fração sólida e fração líquida para preparação do resíduo onde variou-se sua massa de 50 a 1000 gramas.

Para simulação do percolado utilizou-se a massa de 150 gramas para fazer o resíduo infeccioso padrão, como base para simulação.

O resíduo infeccioso tipo utilizado na parte experimental foi baseado no levantamento realizado por SILVA (2000), apresentados nas tabelas 3-1 e 3-2

Tabela 3 - [1111](#) – Composição da fração sólida do resíduo

Excluído: 1

Material	Quantidade para o resíduo					
	50g	100 g	150 g	250 g	500 g	1000 g
Algodão						
Gaze	4,63	9,26	13,89	23,15	46,30	92,60
Algodão hidrófilo	4,63	9,26	13,89	23,15	46,30	92,60
Látex - Luvas	9,84	19,68	29,53	49,2	98,40	196,80
Plástico						
Não filme	13,48	26,97	40,46	67,4	134,80	269,70
Filme	3,94	7,87	11,81	19,7	39,40	78,70
Papel						
Ofício	8,24	16,48	24,73	41,2	82,40	164,80
Cartão	0,66	1,34	1,99	3,3	6,66	13,40
Vidro - pérolas	0,96	1,91	2,87	4,8	9,60	19,10
Adesivos						
Esparadrapo comum	1,67	3,34	5,01	8,35	16,70	33,40
Fita crepe	1,67	3,34	5,01	8,35	16,70	33,40
Alumínio – Papel alumínio	0,16	0,33	0,49	0,8	1,60	3,30
Outros						
Madeira –Palitos	0,06	0,11	0,16	0,30	0,60	1,10
Lã de aço	0,06	0,11	0,16	0,30	0,60	1,10
<b>Total</b>	<b>50 g</b>	<b>100 g</b>	<b>150 g</b>	<b>250 g</b>	<b>500 g</b>	<b>1000g</b>

Excluído: 2

Tabela 3 - [2222](#) – Composição da fração líquida do resíduo

Material	Quantidade para o resíduo					
	50g	100 g	150 g	250 g	500 g	1000 g
Soro Fisiológico	8,58	17,16	25,74	42,9	85,80	171,60
Urina	3,57	7,14	10,71	17,85	35,70	71,40
Sangue	3,57	7,14	10,71	17,85	35,70	71,40
PVPI (Polivinil pirrolidona Iodo)	3,57	7,14	10,71	17,85	35,70	71,40
Solução inóculo de <i>E. coli</i>	0,713	1,43	2,14	3,565	7,13	14,30
Solução inóculo de <i>P. aeruginosa</i>	0,713	1,43	2,14	3,565	7,13	14,30
Solução inóculo de <i>S. aureus</i>	0,713	1,43	2,14	3,565	7,13	14,30
<b>Total (mL)</b>	<b>21,43</b>	<b>42,87</b>	<b>64,29</b>	<b>107,15</b>	<b>214,30</b>	<b>428,70</b>

Figura 3-1111, – Resíduo-tipo utilizado



Para a preparação do resíduo infeccioso padrão, cada componente da fração sólida foi pesado e cortado, separadamente e, em seguida, colocado em um balão de fundo chato, no pote plástico ou nos cartuchos autoclaváveis, de acordo com o método de desinfecção. Todos esses componentes foram esterilizados em autoclave a 121°C e a 1 atm durante 30 minutos. Com a fração sólida estéril, adicionaram-se, um a um os elementos da fração líquida, bem como o inóculo de cada cepa bacteriana.

Na parte experimental do forno de microondas foi retirado o papel alumínio e a lã de aço, do resíduo infeccioso padrão.

### Preparação da solução inóculo

A *E. coli* é a bactéria mais comumente isolada, a *P. aeruginosa* é o segundo patógeno gram-negativo comumente isolado em muitos hospitais e o *S. aureus* permanece o patógeno gram-positivo dominante, representando um grande problema para o controle de infecções hospitalares. Estas três bactérias evidenciam a importância nas infecções hospitalares e neste trabalho para avaliar os métodos de desinfecção.

Na solução inóculo foram utilizadas cepas padrão liofilizadas da *American Type Culture Collections* (ATCC), sendo ATCC 25922 para *E. coli*, ATCC 27853 para *P. aeruginosa* e ATCC 25923 para *S. aureus*, adquiridas no Laboratório Laborclin (figura 3.2).

Antes de serem adicionadas ao resíduo, as cepas foram reidratadas com 2 a 3 mL de *B.H.I.* (Brain Heart Infusion) estéril e incubadas por 18 a 24 horas a 36°C. Após esse período as cepas foram semeadas em meio *Agar Sangue* (não seletivo) e incubadas em estufa bacteriológica por 24 horas a 36°C para obtenção de colônias isoladas. Transcorrido esse período retirou-se uma colônia de tamanho médio de cada placa, com o auxílio de uma alça bacteriológica, e transferiu-se para tubos contendo de 5 a 30 mL de meio *B.H.I.*, variando de acordo com a proporção utilizada na massa do resíduo que seria preparado. Os tubos foram incubados a 36°C por um período de 18 a 26 horas, conforme o tempo necessário para cada espécie atingir a solução inóculo com concentração desejada de  $10^7 - 10^8$  UFC/mL, apresentado na tabela 3 - 3.

Excluído: 3

Tabela 3 - [3333](#) - Microrganismos utilizados e período de incubação dos mesmos

Microrganismos	Cepas	Período de incubação
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922	22 horas
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923	24 horas
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	26 horas

Figura 3-2222 – Frascos contendo as cepas liofilizadas utilizadas na preparação do inoculo



### 3.2 PREPARAÇÃO DO PERCOLADO UTILIZADO

Para fazer os experimentos com o percolado no método de desinfecção do ultra-som foi utilizado um reator de fluxo contínuo que foi baseado em BARELLA (2002).

O reator de fluxo contínuo recebeu alimentação de água destilada (previamente esterilizada em autoclave a 121 °C por 30 minutos), armazenada em um balão volumétrico por meio de uma bomba peristáltica. O reator constituía-se em uma coluna de vidro transparente. Na sua parte superior havia uma tampa de vidro isolando o sistema de influências externas, fragmentos ou partículas, que poderiam contaminar o experimento. Nessa tampa havia uma pequena abertura onde foi inserida uma mangueira de silicone, permitindo a entrada de água no sistema. Abaixo da tampa de vidro foi colocado um dispositivo de vidro com aberturas laterais para distribuição homogênea da água no resíduo, que foi disposto na coluna de vidro. Para dar sustentação aos resíduos foi acoplada, na base da coluna, uma tela de malha fina, com uma camada de silicone a sua volta, impedindo que os mesmos obstruíssem a saída do percolado (Figuras 3-3 e 3-4).

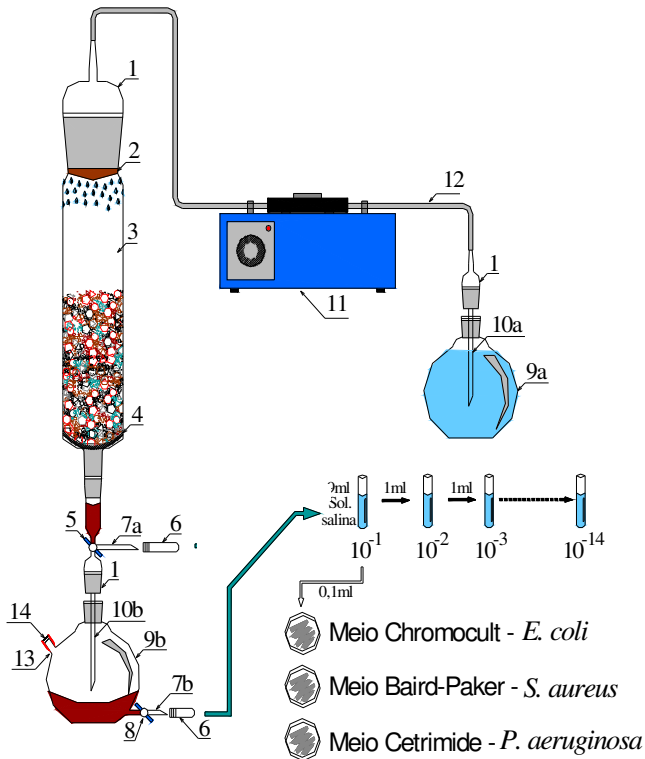
Aplicou-se um volume diário de 50 mL de água destilada até que houvesse a formação de percolado (3<sup>o</sup> dia), a partir deste momento o volume diário passou a ser de 40 mL (figura 3-5).

O percolado acumula-se em um balão volumétrico de fundo chato para posterior coleta (figura 3-5)

No interior do balão de fundo chato foi disposta uma barra magnética e abaixo do reator um agitador eletrônico com o objetivo de misturar o percolado. A aeração do percolado acumulado, através de barra magnética, foi feita diariamente durante um período de aproximadamente 6 horas. A aeração é importante para manter o oxigênio dissolvido no percolado acumulado, para que não ocorra interferência no crescimento bacteriano, pois com falta de oxigênio no percolado pode ocorrer uma competição entre microrganismos.

Todas as peças que compõem o reator foram esterilizadas em autoclave vertical (marca Phoenix, modelo SD-137) a 121°C e a 1 atm por 30 minutos, separadamente, com exceção da tela de malha fina que foi esterilizada na capela de fluxo laminar com raio ultravioleta por 30 minutos.

Figura 3-3 – Esquema do reator de fluxo



## Legenda

1. Tampas de vidro;
2. Sistema para distribuição homogênea de água;
3. Coluna de vidro transparente, com 100mm de diâmetro e 500mm de altura;
4. Tela de aço inox flexível, para dar suporte aos resíduos;
5. Torneira de 3 vias;
6. Tampa de vidro, para proteger o local de coleta do percolado;
7. Ponto de Coleta percolado a) imediato b) acumulado
8. Torneira de 2 vias;
9. Balão volumétrico com fundo chato de 2 L: a) reservatório de água – b) reservatório do percolado;
10. Canáliculo de vidro adaptado na tampa: a) para ajudar na saída de água – b) para levar o percolado diretamente ao fundo do balão;
11. Bomba de coleta peristáltica;
12. Mangueira flexível de silicone, com diâmetro: interno – 3 mm e externo – 5 mm;
13. Tubo de retorno;
14. Tampa de borracha, para que o líquido retorne via injeção.

Após a preparação do resíduo infeccioso padrão e a montagem do reator, este foi mantido em temperatura controlada, na estufa BOD (marca Nova Ética, modelo 411/D) a 25°C, durante todo o período de simulação, sendo retirado da estufa o percolado no momento do experimento. A figura 3.4 mostra o reator de fluxo contínuo na câmara BOD e o percolado acumulado no balão.

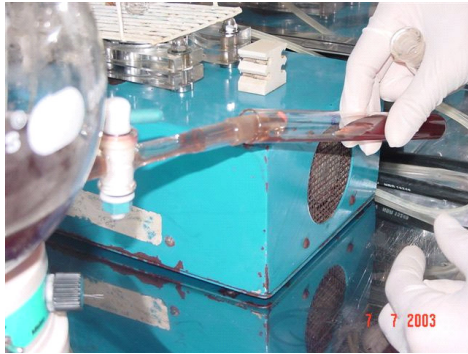
Figura 3-4 – Foto do reator em funcionamento





O resíduo infeccioso tipo, utilizado na coluna para produzir o percolado, está descrito no item 3.1. A quantidade foi de 150 gramas.

Figura 3-5 – Foto do percolado acumulado coletado



### 3.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DESINFECÇÃO – RESÍDUO SÓLIDO

A figura 3-6 mostra o esquema utilizado para o resíduo infeccioso tipo nos equipamentos de microondas e autoclave. Na figura 3.7 é apresentado o esquema para desinfecção com a utilização da cal.

Figura 3-6 – Esquema da metodologia utilizada nos métodos de microondas e autoclave

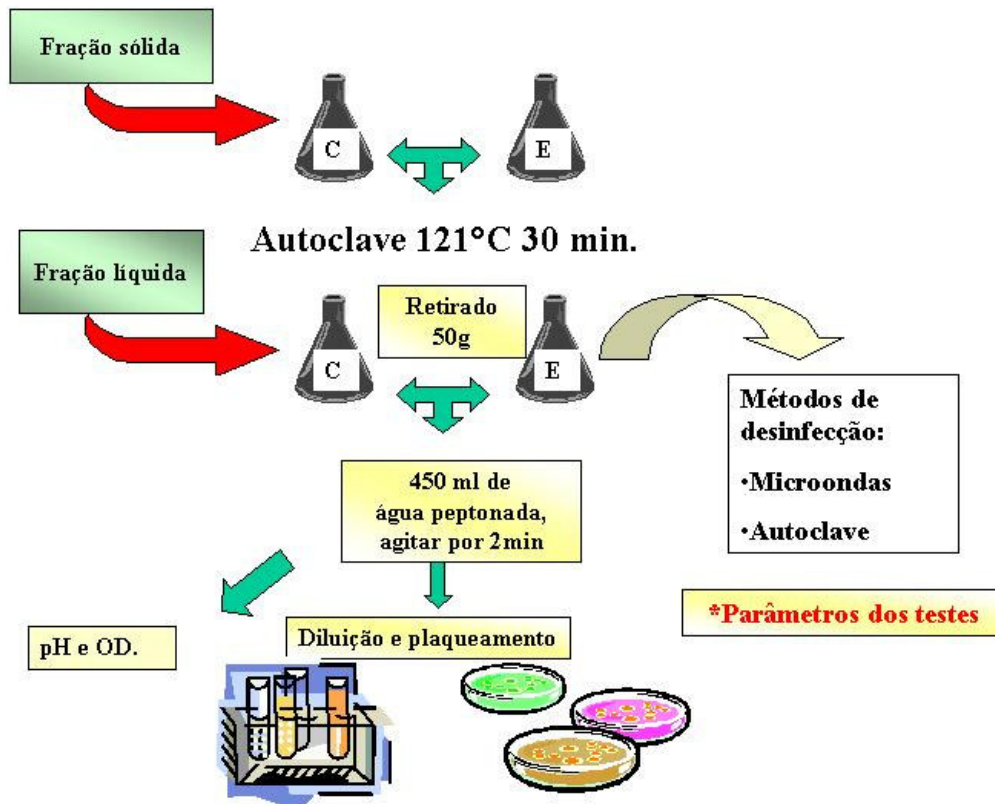
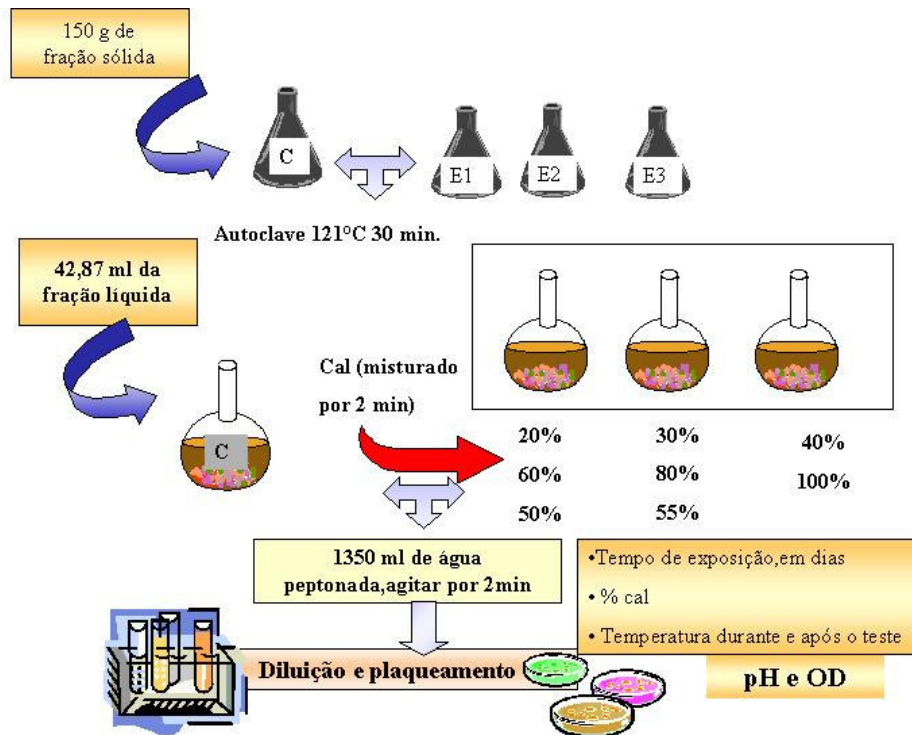


Figura 3-7 – Esquema da metodologia utilizada no método de desinfecção com a cal



Formatados: Marcadores e numeração

## Microondas

O resíduo tipo (descrito no item 3.1) foi submetido à ação das microondas, empregando um equipamento comercial. Foram analisados os parâmetros: tempo de exposição, potência do equipamento, massa de resíduo e material do recipiente (figura 3-6). O experimento foi dividido em quatro etapas:

A primeira etapa consistiu em definir o melhor tempo de exposição e a melhor potência de desinfecção, utilizando uma massa de resíduo de 50 gramas. O balão de fundo chato contendo o resíduo infeccioso foi colocado no centro do prato giratório do forno de

microondas de forma a padronizar o experimento e foram testados os tempos de 30, 45 e 60 segundos submetido às potências de 900W e 450W.

Após a fixação do melhor tempo de exposição e potência, foi realizada a segunda parte do experimento que consistiu em variar a massa do resíduo em 100, 250 e 500 gramas, utilizando um balão de vidro.

Como a desinfecção dos microorganismos de referência não foi completa para a massa de 500 gramas, foi realizada uma terceira parte experimental que consistiu em buscar o tempo necessário para desinfecção.

Na quarta etapa da parte experimental, foi utilizado outro material para o recipiente, pote de plástico da marca SANREMO VAC FREEZER, em polipropileno(PP), no qual foi possível variar a massa de resíduo de 50 gramas até 1000 gramas, com potência de 900W e com tempo exposição de 90s até 300s.

Formatados: Marcadores e numeração

## **Autoclave**

A primeira etapa da parte experimental consistiu em definir o melhor tempo de desinfecção e a melhor temperatura, variando as massas dos resíduos de 50 a 500 gramas, utilizando como recipiente um balão de vidro de fundo chato, contendo o resíduo infeccioso fechado com tampão de algodão. O gargalo foi revestido com papel Kraft e papel alumínio e fita indicadora de esterilização da 3M. O recipiente foi colocado no centro do equipamento de forma a padronizar os experimentos e foram testados nos tempos de exposição de 1 a 10 minutos e com temperatura na autoclave de 121°C e pressão de 1 atm.

A segunda etapa da parte experimental consistiu em determinar o menor tempo de desinfecção com a temperatura de 132°C e pressão de 2 atm, utilizando balão de vidro fechado com tampão de algodão.

A terceira etapa da parte experimental consistiu em determinar o menor tempo de desinfecção com a temperatura de 121°C e pressão de 1 atm, porém alterando o recipiente,

utilizando cartuchos para autoclavagem da marca Newprov, com espessura de 3,5 micra, de cor transparente, e resistência térmica de 121°C com capacidade de 20 litros. Foram utilizadas amostras com massas, variando entre 50 e 1000 gramas. O cartucho contendo o resíduo infeccioso foi colocado de forma a não entrar em contato com as paredes do equipamento, e fechado com uma fita adesiva de esterilização da 3M. Foi mantida uma pequena abertura no cartucho para o vapor entrar em contato como resíduo. Foram testados os tempos de 1 a 10 minutos. Estes cartuchos de plástico se fundem entre 130-134°C. Portanto não podem ser utilizados em temperaturas superiores a 121°C.

Segundo FERNANDES *et al* (2000) estes sacos, embora desenvolvidos especialmente para serem usados em autoclaves, têm efeito negativo na penetração do vapor devido a sua baixa condutividade térmica. Para melhorar a eficiência dos sacos, seria recomendado que eles tivessem uma pequena abertura no momento de serem autoclavados, além de um pouco de líquido no interior do resíduo para melhorar a condutividade térmica no aquecimento, principalmente quando contiveram resíduos que exijam efetivamente a esterilização.

Formatados: Marcadores e numeração

## Calagem

As pesquisas encontradas (item 2.4.3) tiveram muita variação nas porcentagens de cal, no tipo, se cal virgem ou hidratada, o tempo de contato também variou. Com isso foi determinado começar com porcentagens menores que 50%, porém com um tempo de contato maior.

A primeira etapa do procedimento experimental consistiu em avaliar a redução bacteriana do resíduo infeccioso padrão, cuja massa fixa foi de 150g, utilizando porcentagens de cal de 20%, 30% e 40% (massa) por um período de 30 e 45 dias, conforme o da figura 3.7.

A cal hidratada utilizada foi da marca GULIN e segundo a NBR 7175 classificada como CHIII. O balão de vidro de fundo chato, contendo o resíduo infeccioso controle e os experimentos com a cal, foram colocados em uma caixa de madeira com frestas de forma a padronizar (garantir reprodutibilidade) os experimentos. E a temperatura ambiente do laboratório foi de  $22 \pm 5^\circ\text{C}$ . A figura 3.8 apresenta os experimentos na caixa de madeira.

A segunda etapa da parte experimental consistiu em avaliar uma concentração elevada de cal no resíduo, com as porcentagens de 60%, 80% e 100% e com tempos de exposição de 15 dias e de 7 dias.

Após avaliar as porcentagens de 60%, 80% e 100%, buscou-se reduzi-las. Nesta terceira etapa da parte experimental adotaram-se as porcentagens de cal em 50% e 55% e com período de exposição de 15 dias e de 20 dias.

A análise de temperatura dos balões experimentais foi feita na primeira etapa diariamente.

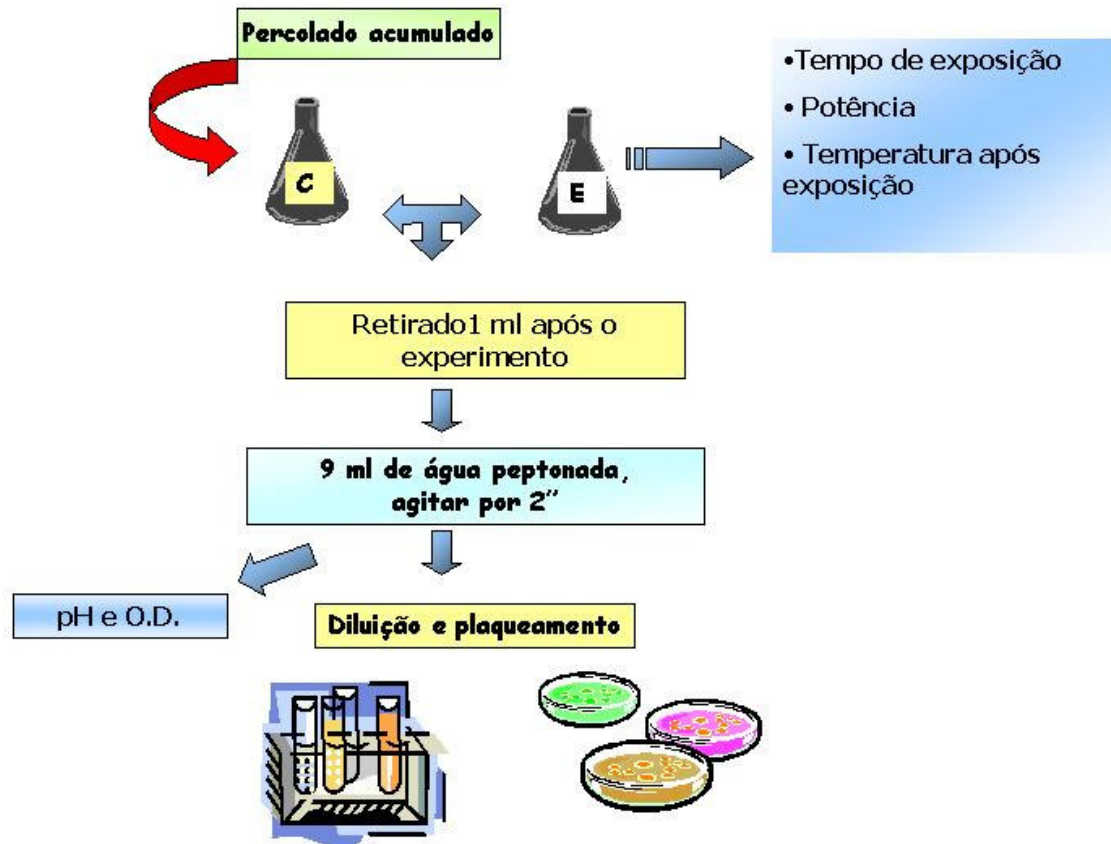
Figura 3-8 – Experimentos com a cal dentro da caixa de madeira



#### 3.4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DESINFECÇÃO - PERCOLADO

O procedimento operacional utilizado na desinfecção do percolado com o destrutor de células está apresentado na figura 3.9. Para o destrutor de células ultra-sônico o volume de percolado acumulado variou de 50 a 200mL.

Figura 3.9 – Procedimento de desinfecção do percolado com o desruptor de células ultra-sônico



O procedimento experimental consistiu na preparação de um percolado oriundo de um resíduo hospitalar infeccioso inoculado com as bactérias *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*, descrito no item 3.2. O percolado acumulado da simulação laboratorial foi submetido à ação do desruptor de células ultra-sônico, variando o volume e tempo de exposição, mas mantendo a mesma potência 336,6W.

Considerou-se o volume de percolado acumulado de 50, 100, 150 e 200mL. O béquer de vidro contendo o percolado, foi colocado de forma que a macro-ponteira do transdutor ficasse imersa no percolado o suficiente para evitar bolhas no ar ( $\pm 5$  mm) no centro do gabinete, de

forma a padronizar o experimento. Os tempos de exposição foram de 7 min a 45 min com a potência de 336,6W (potência máxima do equipamento). A ponteira ficou submersa de acordo com o manual do equipamento.

A análise complementar do oxigênio dissolvido (OD) foi feita para controlar a aeração do percolado por aproximadamente 6 horas diárias.

### 3.5 DILUIÇÃO E PLAQUEAMENTO

A diluição e plaqueamento foram adotados para o resíduo sólido e para o percolado, com algumas diferenças na coleta da primeira diluição.

Retirou-se 50 gramas de várias partes do resíduo e adicionou-se 450 mL de solução salina peptonada (0,1%) com agitação por dois minutos, obtendo-se uma diluição  $10^{-1}$ . Desta mistura foi retirada 1ml e adicionado em um tubo de ensaio contendo 9 mL de solução salina peptonada (0,1%), agitado em “vórtex” por 30 segundos, obtendo-se a diluição  $10^{-2}$ . Deste tubo foi retirado 1 mL e adicionado a outro tubo contendo 9 mL da solução salina, novamente agitando-o em “vórtex”. Esse procedimento é repetido sucessivamente até a obtenção da diluição desejada, que era  $10^{-9}$ . A figura 3-10 mostra o procedimento de diluição e plaqueamento e a figura 3-11 mostra os tubos de diluição.

De cada uma das diluições, utilizando-se micropipetadores de 0-200  $\mu$ L, transferiu-se 100  $\mu$ L ou 0,1 mL para as placas com os meios seletivos, específicos para cada espécie: meio Chromocult para *E. coli*, Baird-Parker para *S. aureus* e Cetrimide para *P. aeruginosa*. Esses meios permitem o crescimento seletivo dos microrganismos desejados. O volume transferido foi espalhado com o auxílio de alças de Drigalsky até sua completa absorção, sendo a transferência realizada sempre da maior para a menor diluição. Para as placas com crescimento estimado de 30-300 colônias foram realizadas duplicatas de cada espécie bacteriana, obtendo-se resultados finais mais confiáveis. As placas foram mantidas em estufa bacteriológica (marca Quimis, modelo Q316-B) a 35-37°C por 24 horas, de acordo com a figura 3-12.



Para as massas de 50 e 100g foram repetidas duas séries de diluições e plaqueamento, coletadas da mistura do resíduo com a solução salina peptonada (0,1%). Para massa de 250g foram retirados três porções de 50 gramas e feito diluição e plaqueamento de cada balão com a mistura. Para massa de 500 e 1000 gramas foram retiradas quatro porções de 50 gramas e realizados os procedimentos seguintes.

Para os experimentos com a cal, foi adicionado no balão 1250mL de solução salina peptonada (0,1%), e feitos em duplicata as diluições e plaqueamento.

Para o experimento com ultra-som, foi retirado 1 mL do percolado acumulado e adicionado ao tubo de ensaio contendo 9 ml de solução salina peptonada (0,1%), agitado por 30 segundos no 'vortex', obtendo assim a diluição  $10^{-1}$ . Retirava-se novamente 1 mL da diluição  $10^{-1}$  e adicionava-se em um tubo de ensaio, contendo 9 mL de solução salina peptonada (0,1%), agitado em "vórtex" por 30 segundos, obtendo-se a diluição  $10^{-2}$ . As diluições sucessivas seguiram o mesmo padrão até a diluição  $10^{-9}$ . Neste experimento, as diluições foram feitas em triplicatas.

Figura 3-10 – Preparação para a realização das diluições



Figura 3-11 – Tubo das diluições



Figura 3-12 - Placas Incubadas na Estufa Bacteriológica



### 3.6 CONTAGEM BACTERIANA

Após 24 horas de incubação em estufa bacteriológica, foram realizadas as contagens das placas, escolhendo-se aquelas que apresentaram números entre 30 e 300 colônias (PELCZAR *et al.*, 1997 e CAPPUCCINO e SHERMAN, 1996). Os resultados são expressos em unidades formadoras de colônias (UFC/mL) (ver 3.7).

A partir do número de UFC é possível fazer uma relação com o número de colônias existentes na placa, mas não do número de células que formam as colônias, que podem ser constituídas tanto por células individuais como agrupamentos característicos de certos microrganismos, como pares, tétrades, cachos, cadeias etc. (SILVA *et al.*, 1997). A UFC pode ser expressa por grama, quando se parte de um meio sólido, ou por mL partindo-se de um meio líquido.

A contagem de colônias de microrganismos parte do pressuposto de que cada célula microbiana, em uma amostra, irá formar colônias visíveis e separadas, quando misturadas com ágar ou outro meio sólido (SILVA *et al.*, 1997). Entretanto, a contagem microbiológica em meios de cultura deve sempre ser encarada como uma estimativa e não como contagem absoluta. Os meios e condições ideais para o crescimento podem variar de um material para outro.

No caso dos resíduos de serviços de saúde e para seu percolado utilizou-se o método “*surface ou spread plate*”, que consiste no plaqueamento por distribuição na superfície, adaptado do *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (APHA, 1992), uma vez que não foi encontrada na literatura consultada metodologia específica para esse tipo de análise. Este método permite melhor visualização das colônias a serem contadas.

### 3.7 ANÁLISES COMPLEMENTARES

#### Oxigênio dissolvido e pH

A leitura do pH foi realizada com um pHmetro microprocessado, marca QUIMIS e modelo Q-400M. O oxigênio dissolvido (OD) foi analisado com o oxímetro, marca SOLAR e modelo SL – 510. As leituras eram feitas após diluição do resíduo infeccioso tipo

#### Temperatura

A temperatura foi analisada imediatamente após tempo de exposição das microondas, autoclave, cal e ultra-som, por meio de um termômetro digital, marca SALVTERM 1200K, com alcance de medição de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+1300^{\circ}\text{C}$ , com precisão de 0,3% da leitura mais  $1^{\circ}\text{C}$  na faixa de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+1000^{\circ}\text{C}$ . Conforme está apresentado na figura 3-13.

Figura 3-13 – Medição de Temperatura após Exposição às Microondas



### 3.8 AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS MICRORGANISMOS

Uma maneira comum de expressar a concentração de bactérias é em termos de Unidade Formadora de Colônia por mL (UFC/mL), a qual é calculada pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{\left(\frac{UFC}{f}\right)}{d}$$

Onde

**UFC** = número de colônias

**f** = fator de diluição utilizado = 0,1mL

**d** = diluição que gerou o número de colônias mL = (10<sup>-x</sup>)

**C** = Concentração de bactérias

### 3.9 CALCULO DA EFICIÊNCIA

Para as massas de resíduo-tipo infeccioso de 50 e 100g, foram feitas repetições de duas séries de diluições e plaqueamento, coletado da mistura do resíduo com a solução salina peptonada (0,1%). Para massa de 250g foram retiradas três porções de 50 gramas e feito diluição e plaqueamento de cada balão com a mistura. Para massa de 500 e 1000 gramas foram retiradas quatro porções de 50 gramas e para o volume do percolado de 50 até 200 ml foram retiradas três porções.

Através da equação abaixo, calculou-se a taxa de morte dos microrganismos, ou seja, a eficiência do método de desinfecção em porcentagem.

$$E (\%) = \frac{\eta_0 - \eta_f}{\eta_0} \times 100$$

onde

$\eta_0$  = concentração inicial de bactérias e

$\eta_f$  = concentração final de bactérias após os métodos de desinfecção.

**E** = eficiência, em porcentagem.

### 3.10 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA

O consumo energético teórico necessário à desinfecção, segundo os diferentes procedimentos é apresentado a seguir.

A avaliação deste consumo foi baseada na potência nominal (teórica) dos equipamentos utilizados e no tempo necessário à desinfecção das amostras de resíduos. Portanto, o consumo energético pode ser expresso pela seguinte equação:

$$W = P \cdot T$$

Onde **W** - energia consumida, em Watt.hora ou kWatt.hora;

**P** - potência do equipamento considerado, em Watts;

**T** - tempo de utilização do equipamento, em horas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MICROONDAS

Os resultados de desinfecção utilizando microondas para a massa de 50 gramas e com os tempos de exposição de 30, 45 e 60 segundos e variando a potência do equipamento em 900W e 450W, conforme tabela 4-1 e figura 4-1.

Tabela 4 -1111, – Microondas. Eficiência de desinfecção em função do tempo e da potência (massa fixa de 50g)

Excluído: 1

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>450 W</b>			
30s	92,09%	97,46%	95,32%
45s	95,16%	98,35%	100,00%
60s	100,00%	100,00%	100,00%
<b>900 W</b>			
30s	100,00%	99,98%	100,00%
45s	100,00%	100,00%	100,00%
60s	100,00%	100,00%	100,00%

Analisando a potência de 450W na tabela 4- 1, os três tempos de exposição (30, 45 e 60 segundos), observou-se um comportamento diferenciado para as três bactérias. Os tempos de 30 e 45 segundos não foram eficientes na remoção completa das bactérias do estudo, possibilitando assim um crescimento bacteriano neste resíduo. Constatou-se que a eficiência aumenta conforme se aumenta o tempo de exposição.

O microondas com a potência de 450W, segundo SANSEVERINO (2001) gera uma distribuição não homogênea das microondas no interior do forno doméstico, ou seja, o

equipamento interrompe sequencialmente a irradiação dentro do forno, isso acontece de acordo com a potência indicada no seletor, ou seja, faz com que o resíduo seja submetido a potência nominal do microondas (900W), mas por períodos de tempos diferentes.

De acordo com a porcentagem sugerida no seletor das microondas (50% da potência seria igual a 450W); com isso as potências abaixo de 900W não teriam precisão nos dados. Para a pesquisa ter confiabilidade, determinou-se a potência de 900W, que é a potência nominal do equipamento, que gerará irradiação contínua no resíduo, sem interrupções.

O emprego de uma maior potência como referência buscou atender, neste nível da pesquisa, a um maior coeficiente de segurança para a desinfecção. Além do mais, supõe-se que, com o aumento da massa, o acréscimo do tempo aumentaria em uma proporção maior do que aquela para a potência de 900W. Ou seja, haveria a possibilidade de um maior consumo energético.

Com relação à potência de 900W das microondas, observou-se um comportamento semelhante das bactérias em estudo para os tempos de exposição 45 segundos e 60 segundos; verificou-se uma eficiência de remoção de 100%. Com o tempo de exposição de 30 segundos, obteve-se uma eficiência de 99,98% na *Escherichia coli*, isto indica que restou uma concentração significativa de microrganismos, com  $5,0 \times 10^2$  UFC/g, no resíduo após o processo de desinfecção, podendo estes se multiplicarem.

Com base nestes resultados, foi determinado o menor tempo de exposição de 45 segundos e fixada a potência de 900W, por apresentar eficiência 100 % no processo de desinfecção.

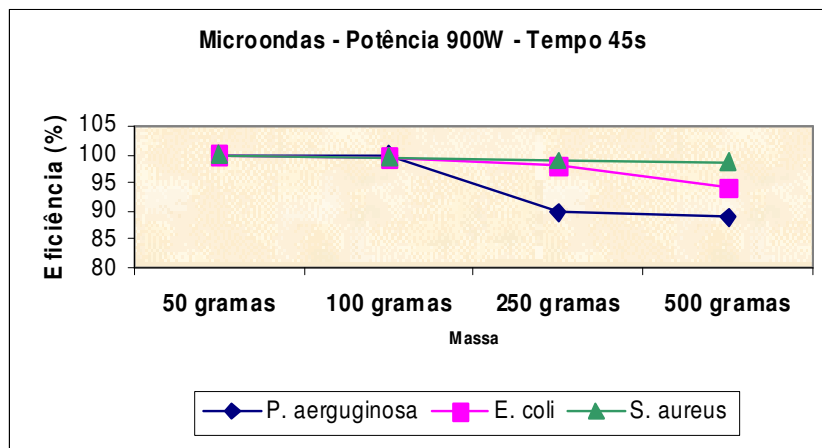
A segunda etapa experimental consistiu na variação da massa de resíduo para 100, 250 e 500 gramas, fixando o tempo de exposição de 45 segundos e a potência de 900W. Os resultados obtidos nesta etapa estão representados na tabela 4-2 e na figura 4-1 verificou-se uma eficiência diferenciada para cada bactéria.



Tabela 4-2222 – Microondas. Eficiência de desinfecção x massa (900 W, 45 s)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
50 gramas	100,00%	100,00%	100,00%
100 gramas	99,97%	99,40%	99,45%
250 gramas	89,78%	98,00%	98,97%
500 gramas	88,92%	94,21%	98,58%

Figura 4-1 – Microondas. Curva de desinfecção em função da massa (900W, 45s)



Com a variação das massas do resíduo, apresentada na tabela 4-2, verificou-se que a eficiência diminui à medida que aumenta a massa do resíduo.

Em um forno de microondas caseiro, as ondas são geradas em um magnétron (um aparelho a vácuo que converte energia elétrica alternada em microondas), guiadas para a cavidade do forno e refletidas para as paredes deste. Assim, as substâncias que se encontram no interior do forno absorvem esta energia em diversos pontos e a transferem para o resto do resíduo (BARBOZA, *et al.*; 2001).

Desde que as superfícies internas do forno sejam boas refletoras da radiação, praticamente toda a energia fornecida pelo magnétron está disponível para o aquecimento e, portanto, a sua velocidade depende apenas da potência disponível e da quantidade de resíduo. Este fato pode explicar que a eficiência diminuiu com o aumento da massa de resíduo, devido ser a mesma energia fornecida, mas com as massas de resíduos diferentes para ela se propagar.

Conforme resultado apresentado pela figura 4-1, verificou-se que os resíduos com massa de 100, 250 e 500 gramas, quando expostos a um tempo de 45 segundos, não apresentaram sua desinfecção, portanto, fez-se necessário um estudo complementar para verificar o tempo de desinfecção para as respectivas massas.

Na terceira etapa experimental, foram testados os tempos de 60 segundos para a massa de 100 gramas, 75 e 90 segundos para a massa de resíduo de 250 gramas e 90 e 120 segundos para a massa 500 gramas de resíduo, de acordo com tabela 4-3.

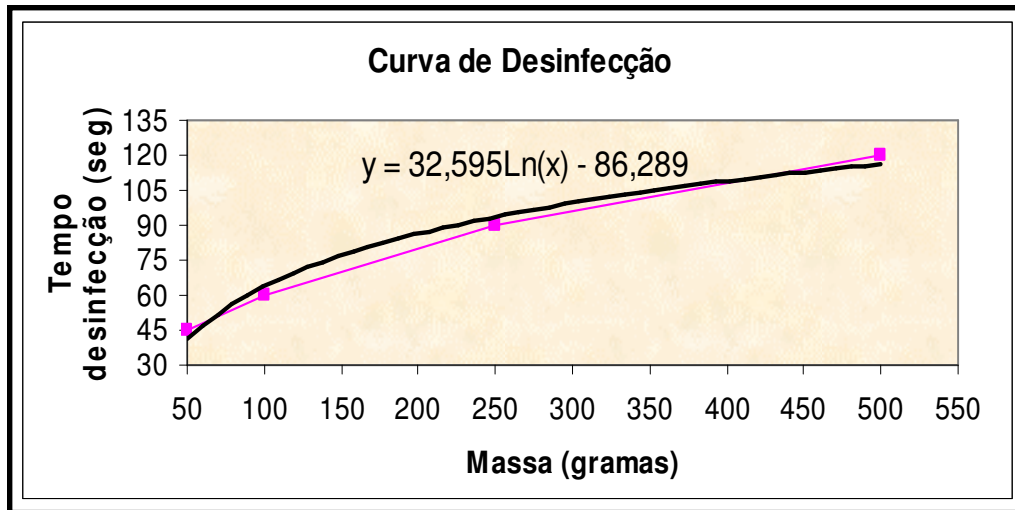
Excluído: 3

Tabela 4-3333 – Microondas. Eficiência de desinfecção x massa (900 W)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
50 gramas – 45s	100,00%	100,00%	100,00%
100 gramas – 45s	99,97%	99,40%	99,45%
100 gramas – 60s	100,00%	100,00%	100,00%
250 gramas – 75s	100,00%	99,95%	98,18%
250 gramas – 90s	100,00%	100,00%	100,00%
500 gramas – 90s	89,96%	96,42%	96,58%
500 gramas – 120s	100,00%	100,00%	100,00%

Com o tempo de exposição de 60 segundos para massa de 100 gramas, 90 segundos para a massa de 250 gramas e 120 segundos para massa de 500 gramas foi possível encontrar o tempo de exposição suficiente para que houvesse a desinfecção no resíduo, possibilitando fazer a curva de desinfecção para as massas de 50 a 500 gramas, e determinar a equação da curva, conforme figura 4-2

Figura 4-2– Microondas. Curva de desinfecção e determinação equação (potência de 900W e massa 50 a 500g, no balão de vidro)



Apesar de se obter uma curva de desinfecção, ela apresenta uma limitação quanto à quantidade de resíduo que pode ser desinfetado, portanto a curva obtida é a representação inicial da curva de desinfecção, não sendo possível verificar qual seria o seu comportamento para massa de resíduo superior a 500 gramas. A massa de 500 gramas foi limitante devido ao recipiente de vidro e ao tamanho do equipamento.

Na quarta etapa experimental, foi utilizado outro recipiente, próprio para microondas; um pote plástico marca SANREMO VAC-FREEZER. Foi possível aumentar a variação da massa de 50 a 1000 gramas, com potência fixa de 900W.

Buscando a remoção de 100% das bactérias em estudo, iniciaram-se os experimentos com a massa de 50 gramas e repetiu-se o tempo de exposição encontrado com o balão de vidro, que era de 45 segundos. E foi aumentando gradativamente até encontrar o tempo de exposição adequado para desinfecção total. O mesmo ocorreu com as demais massas, conforme tabela 4-4 .

Tabela 4-4444 – Microondas. Desinfecção em função de tempo e massa (900W, pote de plástico)

Excluído: 4

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>50 gramas</b>			
45s	87,25%	91,43%	90,39%
60s	99,26%	99,19%	99,71%
75s	100,00%	100,00%	100,00%
<b>100 gramas</b>			
75s	99,67%	100,00%	99,95%
90s	100,00%	100,00%	100,00%
<b>250 gramas</b>			
90s	99,18%	99,79%	99,47%
150s	100,00%	100,00%	100,00%
<b>500 gramas</b>			
150s	99,25%	98,89%	100,00%
240s	100,00%	100,00%	100,00%
<b>1000 gramas</b>			
240s	100,00%	99,54%	99,35%
300s	100,00%	100,00%	100,00%

Nesta etapa os resultados de desinfecção foram satisfatórios. Com a variação no recipiente utilizado, os valores obtidos aumentaram, comparados com as outras etapas experimentais, com a mesma massa. Por exemplo, com a massa de 50 gramas com balão de vidro, o tempo foi de 45 segundos e com o pote, 75 segundos; o mesmo aconteceu com 500 gramas, com vidro foi de 120 segundos e com pote, dobrou para 240 segundos. O recipiente utilizado teve um papel importante no tratamento de desinfecção com microondas.

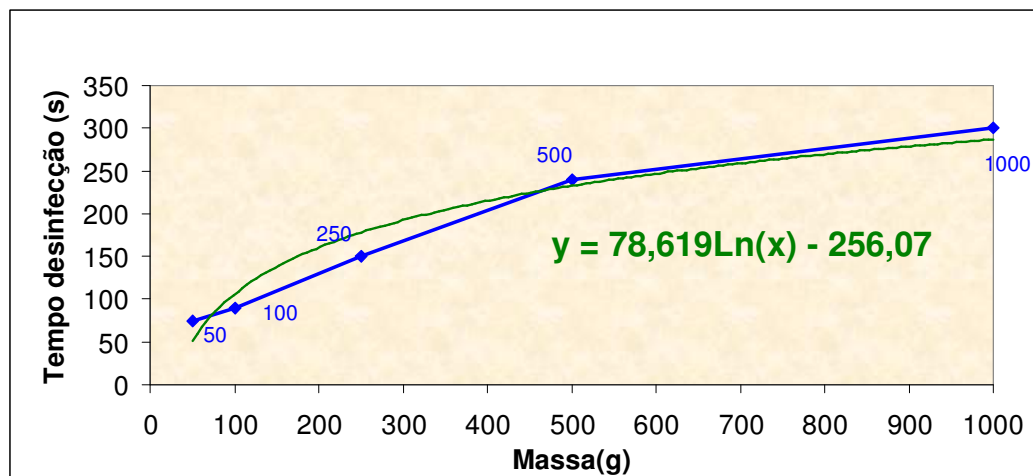
Segundo ROSSINI *et al*, 2004, o aquecimento de um material por irradiação com microondas se dá devido à interação da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula. Um importante atributo do aquecimento por microondas é a absorção direta da

energia pelo material a ser aquecido, ao contrário do que ocorre quando o aquecimento é realizado por convecção, no qual a energia é transferida lentamente do recipiente de reação para a solução. Assim, o aquecimento por microondas é seletivo e dependerá, principalmente, da constante dielétrica e da frequência de relaxação do material.

Estes experimentos demonstraram que o material e o formato do recipiente, utilizados também interferiram nos resultados de desinfecção, aumentando o tempo de exposição. Provavelmente devido o balão de vidro ter uma abertura pequena, fechada com um tampão de algodão, o calor ficava preso dentro do resíduo. Enquanto que, o pote de plástico tinha uma abertura grande, fechada com sua tampa, mas após 20 segundos submetido à microondas, abrindo-se dentro do forno, na qual o calor era liberado para fora do resíduo. O ideal seria que o recipiente mantivesse o calor produzido na massa de resíduos o maior tempo possível.

Analisando os experimentos realizados, foi feita uma curva de desinfecção e determinada a equação da curva que relaciona massa do resíduo e tempo de exposição para desinfecção do resíduo, de acordo com a figura 4-3

Figura 4-3 - Microondas. Curva de desinfecção com recipiente plástico (potência de 900W e massa de 50 a 1000g)



Com a curva de desinfecção, foi possível determinar uma equação que pudesse ser utilizada para valores de massa de resíduo maiores. Porém, resíduos com quantidades acima de 1kg, podem ter suas características alteradas e com isto o comportamento da curva de desinfecção poderia ser alterada.

### Análises complementares pH, OD e temperatura após exposição

Nas quatro etapas experimentais, analisando os valores de pH e OD, verificou-se que ocorreram pequenas oscilações dos valores de pH dos grupos experimentais submetidos ao aparelho de microondas quando comparados aos seus respectivos grupos controle, permanecendo na faixa de 7,0 a 7,4. Verificou-se também que ocorreram pequenas oscilações dos valores de OD, permanecendo na faixa de 6,0 a 6,4 mg/L.

Em relação à temperatura após exposição às microondas, os resultados que obtiveram eficiência total na desinfecção estão na tabela 4-5.

Tabela 4-5 – Microondas. Temperatura após exposição do resíduo nos balões de vidro na potência de 900W e tempo de exposição 45 s.

Experimentos	50 g	100g	250g	500g
Temperatura, °C	97,5	78,8	69	45,1

Com a potência de 900W e o tempo de exposição fixo em 45 segundos, observou-se que a temperatura dentro do resíduo após exposição às microondas diminuía de acordo com o aumento da massa.

Na quarta etapa experimental, com potes de plásticos, os resultados com a temperatura após exposição às microondas, estão na tabela 4-6.

Tabela 4-6 - Microondas. Temperatura após exposição às microondas com potes de plástico.

Experimentos	Temperatura
50g – 75s	80,6
100g – 90s	81,2
250g – 150s	81,4
500g – 240s	78,9
1000g – 300s	75,1

Na quarta etapa experimental, a temperatura de exposição ao forno de microondas mostrou que ela diminui de acordo com o aumento da massa. E a temperatura mínima foi de 75,1°C na massa de 1000 gramas. Esses resultados representam que o efeito térmico foi importante para que ocorresse a desinfecção no resíduo, considerando ainda que o aquecimento gerado seja dentro do próprio material, ou seja, do resíduo.

#### 4.2 AUTOCLAVE

O procedimento utilizando a autoclave, foi realizado em três etapas. A primeira etapa experimental foi com a temperatura de 121°C e pressão de 1 atm variando a massa do resíduo de 50 a 500 gramas, utilizando como recipiente o balão de vidro, o mesmo do experimento com as microondas.

Através da primeira etapa experimental foi analisado o comportamento das bactérias nos tempos de exposição de 1 a 10 minutos (1 minuto é o tempo mínimo do equipamento) e temperatura fixa em 121°C e pressão de 1 atm, e verificado o tempo mínimo de exposição necessário para ter uma esterilização, ou seja, uma desinfecção completa com remoção de 100% das bactérias do estudo. Conforme apresentado na tabela 4-7, constatou-se um comportamento diferenciado para as três bactérias.

Tabela 4-7 – Autoclave. Eficiência de desinfecção com balão de vidro em função de tempo e massa (a 121 °C, 1 atm)

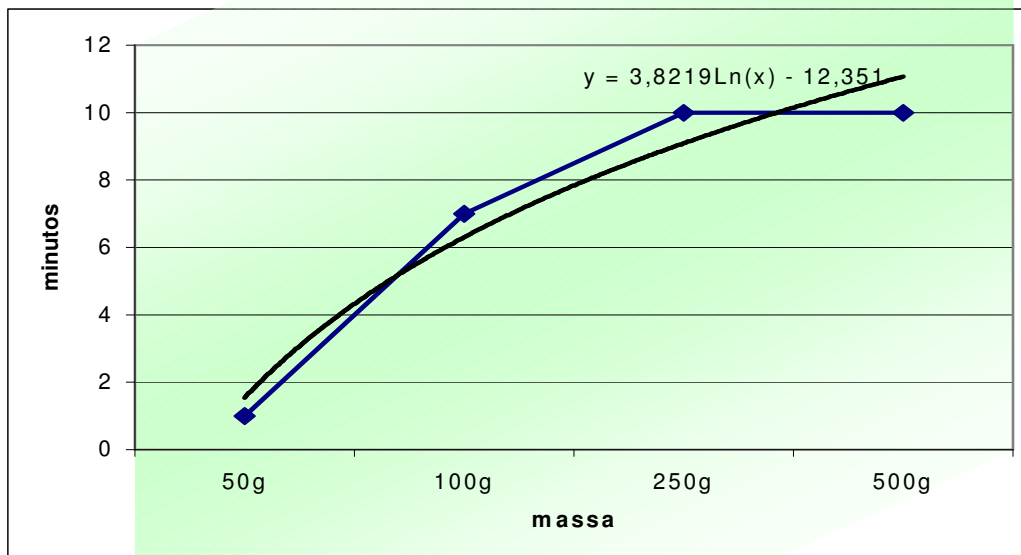
Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>50 gramas</b>			
1min - 121°C	100%	100%	100%
5min - 121°C	100%	100%	100%
<b>100 gramas</b>			
5min - 121°C	100%	93%	99,92%
7min - 121°C	100%	100%	100%
<b>250 gramas</b>			
7min - 121°C	100%	100%	99,88%
10min -121°C	100%	100%	100%
<b>500gramas</b>			
8min -121°C	100%	89,47	95,28%
10min -121°C	100%	100%	100%

Os resultados encontrados no experimento com autoclave comprovaram a eficiência na desinfecção, porém com tempos menores, comparando com os trabalhos de ZAKI & CAMPELL (1997) que recomendaram 121° C por 90 minutos, sem citar o recipiente utilizado e a quantidade de resíduo. Segundo RUTALA (1995), para 4,5 kg recomendava-se 45 minutos a 120°C. O tempo de exposição de 10 minutos para 500 gramas de resíduo infeccioso tipo foi suficiente para uma desinfecção completa.

Foi feita uma curva de desinfecção, a qual determinou sua equação que relaciona a massa do resíduo e tempo de exposição para desinfecção do resíduo infeccioso, de acordo com a figura 4-4.



Figura 4-4 – Autoclave. Curva de desinfecção em relação massa e tempo de exposição (121° C e 1 atm)



Esta curva seria o início, não podendo afirmar qual seria o comportamento do resíduo com a massa superior a 500 gramas. O recipiente de vidro foi limitante para 500 gramas. Analisando os resultados obtidos com a variação da massa do resíduo, verificou-se que o aumento desta implica em ampliação do tempo de exposição necessário para desinfecção.

A segunda etapa da parte experimental consistiu em determinar o menor tempo de desinfecção com a temperatura de 132°C e pressão de 2 atm, utilizando balão de vidro fechado com tampão de algodão, variando a massa do resíduo de 50 a 500 gramas. Os resultados estão demonstrados na tabela 4-8.

Tabela 4-8– Autoclave. Eficiência de desinfecção em função da massa (132°C, 2 atm)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>50 gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%
<b>100 gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%
<b>250 gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%
<b>500gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%

Alguns pesquisadores recomendavam temperatura superior a 121° C, e pressão superior a 1 atm. Os resultados com a temperatura de 132°C e pressão de 2 atm demonstraram uma eficiência completa com 1 minuto, mesmo variando a massa de 50 gramas a 500 gramas, isto ocorreu devido às bactérias estudadas serem mesófilas e não suportarem temperatura elevada.

Na terceira etapa da parte experimental com autoclave em temperatura de 121°C, pressão de 1 atm, foram utilizados sacos plásticos autoclaváveis da Newprov, com variação de massa de 50 gramas a 1000 gramas. Estes sacos plásticos autoclaváveis são muito utilizados nos laboratórios para esterilizar materiais limpos ou mesmo contaminados. Os resultados estão na tabela 4-9.

Como não se sabia qual seria o comportamento das bactérias estudadas no resíduo com alteração de recipiente, tomaram-se como base os experimentos com o balão de vidro.

Tabela 4-9 – Autoclave. Experimentos com cartucho para autoclavação (121°C e 1 atm)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>50 gramas</b>			
1min	100%	100%	100%
<b>100 gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%
3 min	100%	100%	100%
<b>250 gramas</b>			
1min	100%	100%	100%
3 min	100%	100%	100%
<b>500 gramas</b>			
1 min	100%	100%	100%
5 min	100%	100%	100%
<b>1000 gramas</b>			
1min	100%	100%	100%
5min	100%	100%	100%
8min	100%	100%	100%
10min	100%	100%	100%

Ocorreu eficiência de 100% em todos os experimentos, mesmo utilizando em baixo tempo de exposição (1 minuto), utilizando-se os sacos plásticos autoclaváveis. A eficiência da autoclave se baseia no contato direto do vapor saturado com microrganismo. No caso dos sacos plásticos autoclaváveis, os resíduos ficaram mais expostos ao calor que foi transmitido pelo meio, ou seja, estiveram em contato com o vapor diretamente, devido a uma pequena abertura, que permitia a entrada do vapor no resíduo.

Nos experimentos com autoclave, a eficiência do processo dependeu da temperatura e pressão, tempo de exposição e contato direto com o vapor, além da densidade e estado físico do resíduo. Verificou-se que para um 1 kg de resíduo, utilizando como recipiente os sacos plásticos autoclaváveis, foi necessário 1 minuto. A massa de 1 kg foi limitante devido ao tamanho do equipamento.

**Análises complementares de pH, OD e temperatura após exposição à autoclave.**

Os resultados obtidos com o pH, OD e temperatura após exposição à autoclave, na primeira parte experimental, com temperatura de 121°C e pressão de 1 atm, variou-se a massa de 50 a 500 gramas, conforme a tabela 4-10.

Tabela 4-10 – Autoclave. Resultados pH, OD e temperatura após exposição à autoclave com balão de vidro

Experimentos	pH	OD(mg/l)	Temp(°C)
<b>50 gramas</b>			
Controle	6,97	5,9	23,8
1min –121°C	7,01	6,1	80,7
5 min –121°C	7,00	6,3	92,8
<b>100 gramas</b>			
Controle	7,14	5,7	22,6
5 min – 121°C	7,21	5,9	79,7
7 min – 121°C	7,17	6,4	100,6
<b>250 gramas</b>			
Controle	6,90	6,9	22,9
7 min – 121°C	7,04	6,4	78,5
10 min- 121°C	7,00	6,5	87,1
<b>500 gramas</b>			
Controle	7,15	6,8	23,2
8 min – 121°C	7,13	6,4	63,5
10 min- 121°C	7,24	6,7	90,8

Analisando os valores de pH e OD, verificou-se que ocorreram pequenas oscilações dos valores de pH dos grupos experimentais submetidos à autoclave horizontal de bancada, comparados aos seus respectivos grupos controle. Com estes dados o parâmetro pH não

sofreu alterações em relação à massa de resíduo. Houve pequenas oscilações nos valores de OD.

Em relação à temperatura, após a exposição à autoclave, verificou-se um aumento, na variação da temperatura proporcional à massa. Para eliminar as três bactérias no resíduo infeccioso tipo, a massa de 50 gramas atingiu a temperatura de 80,7°C, enquanto a de 500 gramas a temperatura foi de 90,8°C. Na primeira etapa experimental a menor temperatura após exposição à autoclave foi de 80,7°C, suficiente para destruir as bactérias em estudo dentro do resíduo.

Na segunda parte experimental com a temperatura de 132°C e pressão de 2 atm, variou-se a massa de 50 a 500 gramas. Os resultados de pH, OD e temperatura após exposição à autoclave estão apresentados na tabela 4-11.

Tabela 4-11- Autoclave. Resultados de pH, OD e temperatura após exposição com temperatura de 132°C

Experimentos	pH	OD(mg/l)	Temp(°C)*.
<b>50 gramas</b>			
Controle	7,00	6,5	22,9
1min	7,07	6,8	103,1
<b>100 gramas</b>			
Controle	7,14	5,7	22,6
1min	7,21	5,9	99,7
<b>250 gramas</b>			
Controle	7,17	6,9	22,9
1min	7,19	6,6	93,2
<b>500 gramas</b>			
Controle	6,97	6,8	22,7
1min	7,15	6,7	87,1

Analisando os valores de pH e OD, verificou-se que ocorreram pequenas oscilações dos valores de pH dos grupos experimentais submetidos à autoclave horizontal de bancada,

comparados aos seus respectivos grupos controle. Verificou-se com estes dados que o parâmetro pH não sofreu alterações em relação à massa de resíduo, nem à exposição à autoclave. Houve pequenas oscilações nos valores de OD.

Em relação à temperatura após a exposição à autoclave a 132°C, verificou-se um aumento, justificando a eficiência da autoclave, com variação da temperatura proporcional à massa, para eliminar as três bactérias no resíduo. À medida que a massa aumentava, a temperatura dentro do resíduo diminuía, conforme mostra figura 4-5.

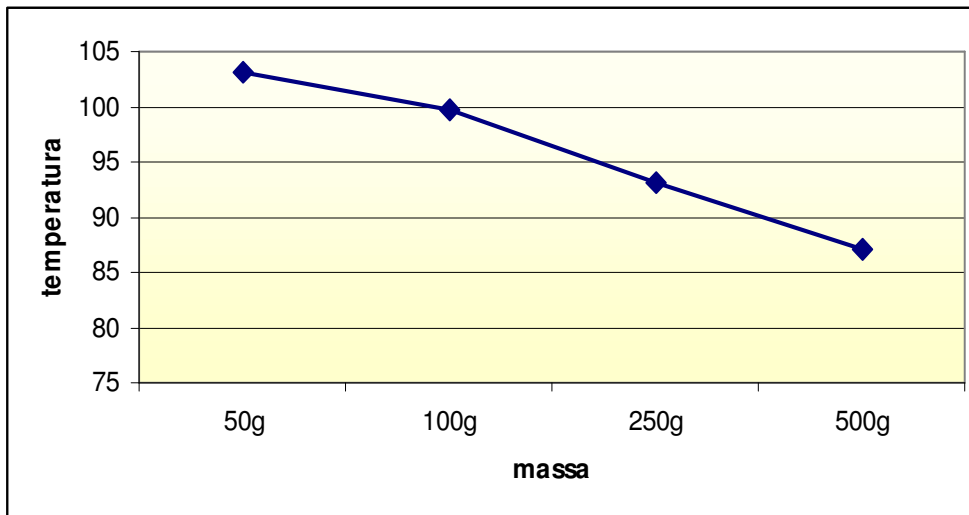


Figura 4-5 Autoclave. Temperatura após exposição à autoclave a 132°C

Como o tempo de exposição foi o mesmo e a massa variou de 50 a 500 gramas, a temperatura após exposição à autoclave foi inversamente proporcional ao aumento da massa. Com 50 gramas a temperatura foi de 103,1°C, enquanto que com 500 gramas a temperatura foi de 87,1°C. Nesta segunda etapa experimental a menor temperatura após exposição à autoclave foi de 87,1°C, quando o resíduo teve uma desinfecção completa.

Na terceira parte experimental com a temperatura de 121°C e pressão de 1 atm e como recipiente sacos autoclaváveis, variou-se a massa de 50 a 1000 gramas. Os resultados de pH, OD e temperatura após exposição estão apresentados na tabela 4-12.

Tabela 4-12 – Autoclave. Resultados pH, OD e temperatura após exposição à autoclave com sacos plásticos autoclaváveis.

Experimentos	pH	OD (mg/l)	Temp(°C).
<b>50 gramas</b>			
Controle	7,205	5,8	22,7
1 min	7,214	5,9	73,1
<b>100 gramas</b>			
Controle	7,198	5,6	23,1
1 min	7,192	5,5	74,1
<b>250 gramas</b>			
Controle	7,115	5,7	21,9
1 min	7,108	5,8	72,6
<b>500 gramas</b>			
Controle	7,146	6,2	23,4
1 min	7,154	5,9	72,4
<b>1000 gramas</b>			
Controle	7,112	5,9	23,8
1 min	7,084	6,0	75,2

Analisando os valores de pH e OD, verificou-se que ocorreram pequenas oscilações dos valores de pH dos grupos experimentais submetidos à autoclave horizontal de bancada, comparados aos seus respectivos grupos controle. Com estes dados, o parâmetro pH não sofreu alterações em relação à massa de resíduo, nem à exposição à autoclave. Houve pequenas oscilações nos valores de OD.

Em relação à temperatura após a exposição à autoclave a 121°C, verificou-se um aumento, na variação da temperatura em torno de 72,4 a 75,2°C, sendo que a variação da temperatura não sofreu influência da massa, apenas do contato do vapor.

Comparando os recipientes, os sacos plásticos autoclaváveis, após exposição à autoclave, obtiveram temperaturas menores de 75,4°C para 1 kg, ou de 72,4°C para 500 gramas,

enquanto que no balão de vidro a temperatura foi de 80,7°C para 500 gramas. Esta diferença ocorreu primeiramente, pelo tempo de exposição que foi menor, e os sacos autoclaváveis terem uma pequena abertura, por onde ocorreu a saída do vapor mais rápido do que no balão de vidro.

No balão o vapor aquece o frasco e o calor permanece dentro do resíduo por mais tempo. No caso do uso de balão de vidro, no experimento da primeira etapa consumiu-se maior tempo e energia, dependendo da massa e da condutividade térmica desses materiais.

#### 4.3 CAL

Neste trabalho foi utilizada a cal hidratada (CH<sub>3</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>) por ser mais acessível sua aquisição, bem como ser menor o risco a manuseia. Sua utilização foi feita também para que não houvesse aumento na temperatura dentro do resíduo infeccioso tipo, pois para fazer a contagem bacteriana foi necessário adicionar água peptonada salina 0,1% conforme descrito no capítulo 3. O aumento da temperatura poderia prejudicar as análises microbiológicas, pois reduziria os microrganismos.

Para avaliar se havia alguma reação que pudesse alterar a temperatura durante os dias que o resíduo ficou em contato com a cal, verificou-se a temperatura com um termômetro digital, marca SALVTERM 1200K. No início diariamente; com o tempo, a cada 2 a 3 dias, conforme a tabela 4-13 que mostra o controle da temperatura realizado em todos os experimentos.



Tabela 4-13 – Cal. Controle da temperatura do resíduo com a cal, o controle e a temperatura ambiente.

<b>Experimento com cal com tempo de contato de 45 dias</b>					
Data	Controle	Porcentagem, Cal			Ambiente
		20%	30%	40%	
06/ago	22,1	22,2	22,1	21,9	23
07/ago	22,3	22,3	22,1	21,9	23
08/ago	21,7	21,9	21,6	21,8	22
09/ago	21,9	22,1	21,9	21,7	22
10/ago	21,8	21,9	21,8	21,9	22
11/ago	21,5	21,7	21,7	21,6	21
12/ago	21,9	22,2	21,4	21,6	22
15/ago	20,8	21,5	21,3	21,5	21
18/ago	20,8	21,4	21,5	21,6	21
20/ago	21,0	21,6	21,6	21,7	22
22/ago	21,3	21,3	21,4	21,3	20
25/ago	21,7	21,6	21,7	21,5	21
27/ago	21,8	21,7	21,7	21,6	21
29/ago	22,3	22	22,1	22,2	23
01/set	23,2	23,5	23,6	23,7	23
03/set	22,6	22,8	22,9	22,8	22
05/set	21,9	22,2	22,3	22,2	20
08/set	21,4	21,3	21,6	21,6	20
11/set	21,1	21	21,2	20,8	19
16/set	21,4	21,3	21,5	21,4	21
18/set	21,3	21,3	21,4	21,0	20
<b>Experimento com cal com tempo de contato de 30 dias</b>					
Data	Controle	20%	30%	40%	Ambiente
23/set	22,1	22,4	22,0	21,9	23
26/set	21,7	21,8	21,5	21,7	22
29/set	21,9	22,2	21,3	21,6	22
01/out	20,8	21,5	21,2	21,5	21
03/out	20,8	21,4	21,5	21,6	21
06/out	21,0	21,6	21,5	21,7	22
08/out	21,3	21,3	21,4	21,3	20
10/out	21,7	21,6	21,6	21,5	21
13/out	21,8	21,7	21,7	21,6	21
16/out	22,3	22,0	22,0	22,2	23
20/out	22,6	22,8	22,7	22,8	24
<b>Experimento com cal com tempo de contato de 7 dias</b>					
Data	Controle	60%	80%	100%	Ambiente
27/out	22,8	22,7	22,7	22,6	22
29/out	23,5	23,5	22,9	23,0	23
31/out	23,8	24,5	23,1	23,5	23

<b>Experimento com cal com tempo de contato de 15 dias</b>					
Data	Controle	60%	80%	100%	Ambiente
04/nov	22,5	22,4	22,9	22,4	23
06/nov	21,9	21,8	22,3	21,9	22
10/nov	21,7	21,6	22,1	21,3	20
13/nov	21,0	21,4	21,8	21,0	20
18/nov	20,7	21,0	21,2	20,8	21

<b>Experimento com cal com tempo de contato de 20 dias</b>				
Data	Controle	50%	55%	Ambiente
19/jan/04	23,2	23,5	23,4	23
21/jan	23,1	23,2	23,1	23
23/jan	23,5	23,5	23,4	24
26/jan	23,2	23,6	23,5	24
28/jan	23,4	23,3	23,4	23
30/jan	23,3	23,6	23,6	24
02/fev	23,7	23,6	23,7	24
04/fev	23,9	23,9	23,8	25
06/fev	24,1	24,2	24,1	25

<b>Experimento com cal com tempo de contato de 15 dias</b>				
Data	Controle	50%	55%	Ambiente
09/fev	23,9	23,7	23,6	24
11/fev	23,7	23,6	23,5	24
13/fev	23,8	23,7	23,5	24
16/fev	23,6	23	23,6	24
18/fev	23,4	23,2	23,6	25
20/fev	23,3	23	23,5	24

Foi possível verificar que não ocorreram aumentos da temperatura dos resíduos expostos à adição da cal, comparados com o grupo controle, apenas ocorreu uma variação devido à temperatura ambiente do laboratório que ficava em torno de  $22 \pm 2^\circ\text{C}$ . Os resíduos infecciosos ficavam em uma caixa de madeira aberta, conforme descrito no capítulo 3.

A primeira etapa experimental foi com as porcentagens de 20%,30% e 40% em um tempo de contato de 30 e 45 dias. A cal seria misturada dentro do balão de vidro, simulando o acondicionamento dentro de sacos de lixos fechados sem contato com o ambiente externo e sem entrada de água.

Foram inoculados dois balões de controles para fazer a contagem bacteriana, que iniciou variando de  $10^{-6}$  a  $10^{-8}$  UFC/g. Um balão foi aberto no dia do preparo dos experimentos e o outro balão controle ficou junto com os três balões contendo a cal, que seriam abertos em 30 dias e 45 dias, para comprovar o desenvolvimento das bactérias nos balões. Os cinco balões

foram inoculados com o mesmo tubo de ensaio contendo a solução inóculo das bactérias. A tabela 4-14 mostra a contagem inicial e após os 30 e 45 dias dos balões controle.

Tabela 4-14 – Cal. Contagem bacteriana feita no controle no 1º. dia, 30º dia e 45º dia

	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E.coli</i>	<i>S. aureus</i>
Contagem inicial (1º dia)	1,25E+06	2,10E+06	1,90E+06
Contagem no 30º. dia	2,60E+07	2,40E+06	1,20E+08
Contagem inicial (1º dia)	2,3E+06	1,9E+06	2,1E+06
Contagem no 45º. dia	4,5E+08	7,1E+06	3,4E+06

As bactérias requerem certos nutrientes básicos e condições físicas que lhes possibilitem seu crescimento. As condições que foram oferecidas no experimento no balão controle demonstraram que houve as condições físicas e nutricionais necessárias para o seu desenvolvimento e um aumento significativo na contagem bacteriana. De acordo com o crescimento bacteriano, verificou-se que as três bactérias apresentavam-se na fase exponencial. É importante que as bactérias estejam nessa fase, pois é o ápice do seu crescimento e ainda não houve declínio devido a falta de nutrientes.

Nos balões controle, no experimento com 30 dias, houve associações ou interações entre as três bactérias neste meio. Como pode ser observado na tabela 4-14, a *P. aeruginosa* e *S. aureus* tiveram um aumento significativo no seu crescimento, fazendo com que houvesse uma limitação no crescimento da *E. coli*, devido a uma competição entre os microrganismos que requeriam os mesmos nutrientes e as mesmas condições ambientais. No experimento com 45 dias a *P. aeruginosa* limitou o crescimento do *S. aureus* e a *E. coli*, porém a *E. coli* teve um crescimento melhor se comparado com o experimento de 30 dias.

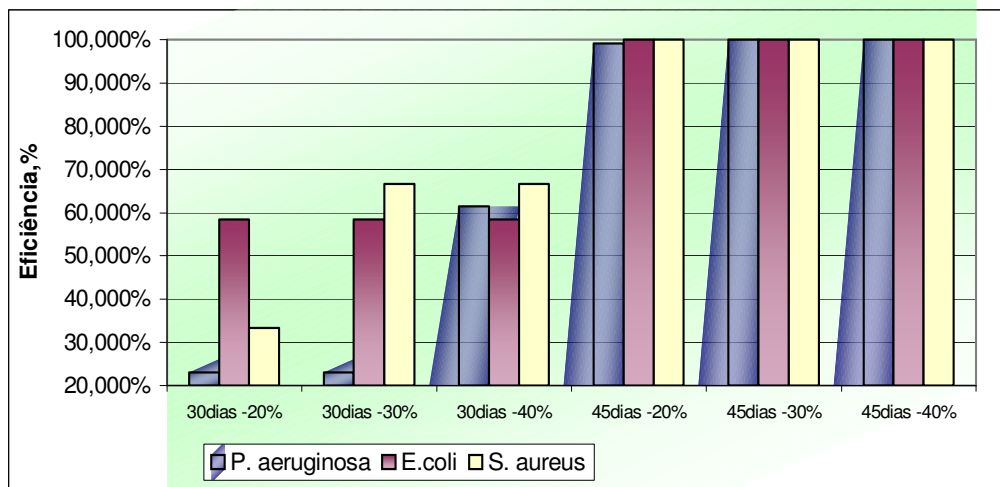
Na primeira etapa da parte experimental com a massa de resíduo de 150 gramas foram misturadas três diferentes porcentagens de cal (20%, 30% e 40 % na massa de resíduo

infeccioso tipo sem adição da fração líquida). Os resultados são apresentados na tabela 4-15 e na figura 4-6, constatando-se um comportamento diferenciado para as três bactérias.

Tabela 4-15 – Cal. Eficiência de desinfecção com 20, 30 e 40 % de cal (30 e 45 dias)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>30 dias</b>			
20%	23,077%	58,333%	33,333%
30%	23,08%	58,343%	66,677%
40%	61,538%	58,337%	66,667%
<b>45 dias</b>			
20%	99,130%	100%	100%
30%	99,945%	100%	100%
40%	99,971%	100%	100%

Figura 4-6 – Cal. Eficiência de desinfecção em relação de tempo de exposição e à porcentagem de cal



Analisando-se os resultados obtidos com a variação das porcentagens de cal na massa do resíduo, verificou-se que, com o aumento no tempo de exposição, de 30 dias para 45 dias, a

eficiência melhorou, porém não obteve desinfecção total. Houve a sobrevivência da *P. aeruginosa*, que poderiam provocar uma contaminação.

No tempo de contato de 30 dias, não houve uma eficiência adequada para a utilização da cal no resíduo infeccioso tipo, o qual não deve ser colocado em aterros sanitários, pois pode contaminar o solo com seu acondicionamento inadequado ou mesmo com a manipulação dos sacos de lixo.

No tempo de contato de 45 dias, a *P. aeruginosa* comparada com a *E. coli* e *S. aureus* teve uma resistência maior à cal. Isso ocorreu, talvez devido a sua estrutura ter glicocálice, fazendo que tenha uma resistência maior a variações ambientais, neste caso variação no pH.

Devido os resultados com as percentagens de 20%, 30% e 40% de cal não obterem uma eficiência de 100% na desinfecção do resíduo, foi realizada a segunda etapa experimental.

A segunda parte experimental consistiu da massa fixa de resíduo de 150 gramas. Foram misturadas três diferentes porcentagens de cal, que foram 60%, 80% e 100%, através destes experimentos foi analisado o comportamento das bactérias. Na tabela 4-16 estão a contagem bacteriana inicial, e de 15 dias e de 7 dias, que demonstrou o crescimento bacteriano.

Tabela 4-16 - Cal.Contagem bacteriana feita no controle no 1º dia, 15º dia e 7º dia

	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E.coli</i>	<i>S. aureus</i>
Contagem inicial (1º dia)	1,08E+08	1,09E+08	5,70E+08
Contagem no 15º. dia	1,20E+08	2,10E+08	5,80E+08
Contagem inicial (1º dia)	1,03E+08	3,90E+08	2,1E+08
Contagem no 7º. dia	1,15E+08	8,10E+08	2,3E+08

As condições oferecidas no experimento no balão controle demonstraram que houve as condições físicas e nutricionais necessárias para o crescimento bacteriano e com aumento significativo na contagem bacteriana das três bactérias estudadas. Na tabela 4-17 estão apresentados os resultados obtidos na segunda etapa experimental com a cal.

Tabela 4-17 – Cal. Eficiência de desinfecção com 60, 80 e 100 % de cal (7 e 15 dias)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>15 dias</b>			
60%	100%	100%	100%
80%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
<b>7 dias</b>			
60%	100%	100%	99,978%
80%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%

Analisando os resultados obtidos com a variação das porcentagens de cal na massa do resíduo, verificou-se uma eficiência de 100% com o tempo de contato de 15 dias. Com 60% de cal no resíduo e com o tempo de contato de 7 dias, a *S. aureus* teve uma contagem de 5,00E+04 UFC/g, ou seja, sobreviveu a desinfecção, com isso, há um risco de contaminação, mesmo com a eficiência em 99,978%. Neste experimento, a *S. aureus* teve um crescimento muito maior se comparado com a *P. aeruginosa* e com *E. coli*.

Na segunda etapa a menor porcentagem foi a de 60% com tempo de contato de 15 dias; buscando uma menor porcentagem, foi feita a terceira etapa da parte experimental com a cal.

Na terceira etapa experimental, a cal foi misturada em duas porcentagens, com 50% e 55% em uma massa fixa de 150 gramas e com tempo de contato de 15 dias e de 20 dias. Na tabela 4-18 há os resultados com a contagem bacteriana obtida no 1º dia, com 15 dias e com 20 dias.

Tabela 4-18 - Cal. Contagem bacteriana feita no controle no 1º dia, 15º dia e 20º dia

	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
Contagem inicial (1º dia)	1,59E+07	8,10E+07	1,13E+08
Contagem no 15º. dia	2,70E+07	9,20E+07	2,10E+08
Contagem inicial (1º dia)	2,30E+07	2,70E+07	1,18E+08
Contagem no 20º. dia	7,30E+07	3,10E+07	2,30E+08

O experimento no balão controle demonstrou que houve as condições físicas e nutricionais necessárias para o crescimento bacteriano das três bactérias estudadas. Na tabela 4-19 estão sendo apresentados os resultados obtidos na terceira etapa experimental com a cal nas percentagens de 50% e 55% com o tempo de contato de 15 e de 20 dias.

Tabela 4-19 – Cal. Eficiência de desinfecção com 50% e 55 % de cal (15 e 20 dias)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>15 dias</b>			
50%	100%	98,91%	99,952%
55%	100%	100%	99,910%
<b>20 dias</b>			
50%	100%	100%	100%
55%	100%	100%	100%

Analisando os resultados obtidos com a variação das porcentagens de cal na massa do resíduo, verificou-se uma eficiência de 100% com o tempo de contato de 20 dias, tanto na percentagem de 50% e 55%. Com o tempo de contato de 15 dias e 50% de cal a *E. coli* teve uma contagem de 1,00E+06 UFC/g e *S. aureus* de 1,00E+05 UFC/g, ou seja, sobreviveram à desinfecção. Com isso, há um risco de contaminação, mesmo com uma eficiência de 98,91% para a *E. coli* e de 99,952% para o *S. aureus*.

Com a porcentagem de 55% houve sobrevivência de *S. aureus* com 1,9E+05UFC/g com eficiência de 99,910%. Segundo JAWETZ *et al* (1998), a *E. coli* possui uma ampla distribuição ambiental, e tem uma grande capacidade de sobrevivência (por exemplo, vários meses no solo), não necessitando de extratos de tecidos vivos para sua manutenção.

A porcentagem de 50% e de 55% com tempo de contato com a cal de 20 dias, teve uma eficiência de 100%. Com isso teve uma desinfecção garantida, pois não houve sobrevivência de nenhuma bactéria.

#### **Análises complementares de pH, OD e temperatura.**

A tabela 4 -20 estão sendo apresentando os resultados de pH, OD e temperatura da primeira etapa experimental da cal.

Tabela 4-20 – Cal. Resultados com pH, OD e temperatura nos experimentos com 30 e 45 dias da primeira etapa experimental

Experimento	pH	OD	Temperatura
Controle 1º dia	7,02	6,0	24,1
Controle 30º dia	7,94	5,7	23,4
30dias -20%	12,27	5,9	23,5
30dias -30%	12,29	5,7	23,6
30dias -40%	12,33	5,9	23,7
Controle 1º dia	6,92	6,8	24,2
Controle 45º dia	7,73	6,4	21,2
45dias -20%	12,43	6,1	21,2
45dias -30%	12,55	6,3	20,8
45dias -40%	12,56	6,6	21,0

Em relação ao pH, comparando os grupos controles ocorreu uma pequena elevação em torno 0,9 no experimento de 30 dias e no experimento de 45 dias, em torno de 0,8. Essa alteração no pH pode ser devido ao crescimento das bactérias, alterando a composição do



meio. Nos experimentos com adição da cal com o tempo de contato de 30 dias houve um aumento ficando o pH em torno de  $12,2 \pm 0,1$ , devido à ação da cal. No tempo de contato de 45 dias da cal, a média foi de  $12,4 \pm 0,1$ .

Em relação ao OD do grupo controle houve uma pequena redução de 0,3mg/L no experimento de 30 dias e 0,4 mg/L no experimento de 45 dias. Comparando, o controle com os experimentos, ocorreu pequenas alterações.

Em relação à temperatura, não sofreram alterações significativas o grupo controle e os experimentos, apenas oscilações devido à temperatura ambiente.

As tabelas 4-21 e 4-22 apresentam os resultados obtidos na segunda parte experimental com a utilização da cal.

Tabela 4 – 21. Cal. Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura na segunda etapa experimental

Experimento	pH	OD	Temperatura
Controle 1º dia	7,95	6,1	22,2
Controle 15º dia	8,08	5,9	21,1
15dias -60%	12,61	5,6	21,0
15dias -80%	12,67	5,8	21,2
15dias -100%	12,70	6,1	20,8

Experimento	pH	OD	Temperatura
Controle 1º dia	8,11	5,9	23,1
Controle 7º dia	8,28	5,7	23,8
7dias -60%	12,43	5,6	24,5
7dias -80%	12,48	5,5	23,1
7dias -100%	12,59	5,7	23,5

Tabela 4- 22- Cal. Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura na terceira etapa experimental

Experimento	pH	OD	Temperatura
Controle 1º dia	7,83	5,7	22,2
Controle 15º dia	7,98	5,6	24,1
15dias -50%	12,20	5,3	24,2
15dias -55%	12,23	5,5	24,1
Controle 1º dia	7,91	5,9	23,1
Controle 20º dia	7,85	5,7	23,6
20dias -50%	12,27	5,4	23,7
20dias -55%	12,30	5,7	23,5

Na tabela 4-21 e 4-22 pôde-se verificar que ocorreram pequenas variações nos resultados do pH no grupo controle de  $8,0 \pm 0,2$ , essas variações podem ter ocorrido devido ao equipamento e à calibração feita no mesmo. Comparando o grupo controle com os experimentos (adição de cal) houve um aumento e desinfecção no resíduo. Os valores médio de pH dos experimentos ficaram em torno de  $12,5 \pm 0,2$ .

O pH teve aumento nas três etapas experimentais, porém a variação foi de 0,3 comparando a percentagem de 20% (45dias) com a de 100% (15dias), o que demonstra que a quantidade adicionada foi decisiva, bem como o tempo de permanência da cal no resíduo foi determinante para que ocorresse a desinfecção. Só a adição da cal não foi suficiente para uma eficiência de 100%, mesmo com uma grande alteração no pH. Estas bactérias demonstraram uma grande resistência ao pH básico extremo.

Verificou-se também que ocorreram pequenas oscilações nos valores de OD e na temperatura tanto na segunda e na terceira etapa experimental feita com a cal.

#### 4.4 ULTRA-SOM

Na literatura não foi encontrado nenhum experimento, utilizando o ultra-som como método para desinfecção de percolado. Neste trabalho, a potência utilizada foi a máxima permitida pelo equipamento, o parâmetro de tempo foi estipulado inicialmente em 7 minutos, esperando que houvesse uma eficiência adequada, ou seja, ocorresse a desinfecção. Segundo o manual do equipamento, afirmou-se que o tempo de 13 minutos fosse suficiente para romper a parede celular do *S. aureus*, porém não descreveu o volume, nem a concentração de bactérias que havia na amostra, nem as condições dos testes.

Com 7 minutos não houve a eficiência na remoção total dos microrganismos. Para continuar os testes ,foram estipulados valores para que se pudesse realizar os experimentos, utilizando a mesma simulação do percolado acumulado. Através dos experimentos, foi analisada a desinfecção do disruptor de células ultra-sônico nas bactérias dentro do percolado acumulado com os volumes de 50, 100, 150 e 200 mL e com tempos de exposição variando de 7 a 45 minutos e na potência fixa de 336,6W, que seria a 99% do equipamento. O fabricante do equipamento recomendou um volume máximo de 250 mL de líquido.

Os resultados com a contagem bacteriana dos controles são apresentados na tabela 4-23. A primeira contagem foi feita no terceiro dia de simulação de percolado acumulado para

verificar se estavam presentes as três bactérias. Confirmados os resultados, foram feitos os testes de desinfecção.

Tabela 4-23 - Ultra-som. Contagem bacteriana feita na simulação do percolado nos controles do 3º dia, dos experimentos de 50, 100, 150 e 200 mL.

	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E.coli</i>	<i>S. aureus</i>
Contagem inicial (após 3º dia)	1,26E+06	2,10E+05	1,82E+06
Contagem no experimento com 50 mL	3,00E+06	4,90E+05	2,70E+06
Contagem no experimento com 100 mL	4,40E+06	1,46E+06	1,21E+06
Contagem no experimento com 150 mL	2,26E+07	9,3E+06	1,99E+06
Contagem no experimento com 200 mL	1,79E+07	2,43E+07	1,86E+06

Nesta simulação do percolado, foi feito à aeração diária de 6 horas para que houvesse um crescimento para as três bactérias. Foi possível constatar que o percolado acumulado ofereceu condições físicas e nutricionais necessárias que possibilitassem um desenvolvimento significativo na contagem bacteriana.

A contagem com 100mL, o *S. aureus* teve uma queda no crescimento, mas na outra contagem com 150 mL, voltaram a crescer, continuando os experimentos. Observou-se que no experimento com 200 mL começou a ocorrer um crescimento maior da *E. coli*, ou seja, continuava na fase exponencial e o *S. aureus* e a *P. aeruginosa* encontravam-se na fase estacionária ou de declínio, fazendo que parasse a simulação do percolado.

A primeira etapa experimental foi feita com volume de 50 mL com o desruptor de células ultra-sônico na potência de 336,6W, os resultados estão na tabela 4-24.

Tabela 4-24 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (50 mL, 336,6W)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>50 mL –P. 336,6W</b>			
7 min	99,30%	100,00%	99,41%
15 min	100,00%	100,00%	100,00%

Analisando-se os resultados obtidos com os tempos de 7 e 15 minutos, foi possível observar que houve eficiência na desinfecção de 50 ml com o tempo de exposição em 15 minutos.

No tempo de exposição de 7 minutos, as bactérias *P. aeruginosa* e *S. aureus* sobreviveram ao experimento com o desruptor de células ultra-sônico. E na contagem bacteriana foi de 2,1E+04 UFC/mL para *P. aeruginosa* com eficiência de 99,30% e 1,6E+04 UFC/ mL para *S. aureus* com eficiência de 99,41%. Com esta contagem, as bactérias poderiam voltar a se multiplicar e contaminar o solo ou lençóis freáticos.

No tempo de exposição de 7 minutos a *P. aeruginosa* e a *S. aureus* comparadas com a *E. coli* tiveram uma resistência maior à cavitação do desruptor de células ultra-sônico.

Na segunda parte experimental, o volume foi de 100mL com a mesma potência de 336,6W, o tempo de desinfecção aumentou conforme a tabela 4-25 .

Tabela 4-25 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (100 mL, 336,6W)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>100 mL –P. 336,6W</b>			
15min	99,88%	99,87%	100,00%
25min	100,00%	100,00%	100,00%

Analisando-se os resultados obtidos com os tempos de 15 e de 25 minutos, foi possível observar que houve eficiência na desinfecção de 100 mL com o tempo de exposição de 25 minutos.

No tempo de exposição de 15 minutos, as bactérias *P. aeruginosa* e *E. coli* sobreviveram ao experimento com o desruptor de células ultra-sônico. E na contagem bacteriana era de 5,1E+03 UFC/ml para *P. aeruginosa* com eficiência de 99,88% e 1,9E+03UFC/ ml era para *E. coli* com eficiência de 99,87%, as bactérias poderiam voltar a se multiplicar.

No tempo de exposição de 15 minutos, a *P. aeruginosa* e a *E.coli* comparadas com a *S. aureus* tiveram uma resistência maior à cavitação do desruptor de células ultra-sônico.

Na terceira etapa experimental, com o desruptor de células ultra-sônico, a análise foi feita com o volume de 150 mL, com a potência fixa de 336,6W e buscando-se a eficiência de 100%, com os tempos de 15 e 30 minutos, conforme a tabela 4-26.

Tabela 4-26 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (150 mL, 336,6W)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>150 mL –P. 336,6W</b>			
15 min	98,99%	99,68%	97,49%
30 min	100,00%	100,00%	100,00%

Analisando-se os resultados obtidos com os tempos de 15 e 30 minutos, foi possível observar que houve eficiência na desinfecção de 150 mL com o tempo de exposição em 30 minutos.

No tempo de exposição de 15 minutos, as três bactérias *P. aeruginosa*, *E. coli* e *S. aureus* sobreviveram ao experimento com o desruptor de células ultra-sônico. E a contagem bacteriana foi de 2,29E+05 UFC/ml de *P. aeruginosa*, 3,00E+04UFC/mL de *E. coli* e 5,0E+04 UFC/ mL de *S. aureus*. Com esses resultados, as bactérias poderiam voltar a se multiplicar e contaminar o solo ou lençóis freáticos.

Na quarta etapa experimental, com o volume de 200mL, com potencia fixa de 336,6W, variou o tempo de exposição de 20 e 40 minutos, conforme tabela 4-27.

Tabela 4-27 – Ultra-som. Eficiência de desinfecção em função do tempo (200 mL, 336,6 W)

Experimentos	<i>P. aeruginosa</i>	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
<b>200 mL –P. 336,6W</b>			
20min	98,88%	99,30%	91,40%
40min	100,00%	100,00%	100,00%

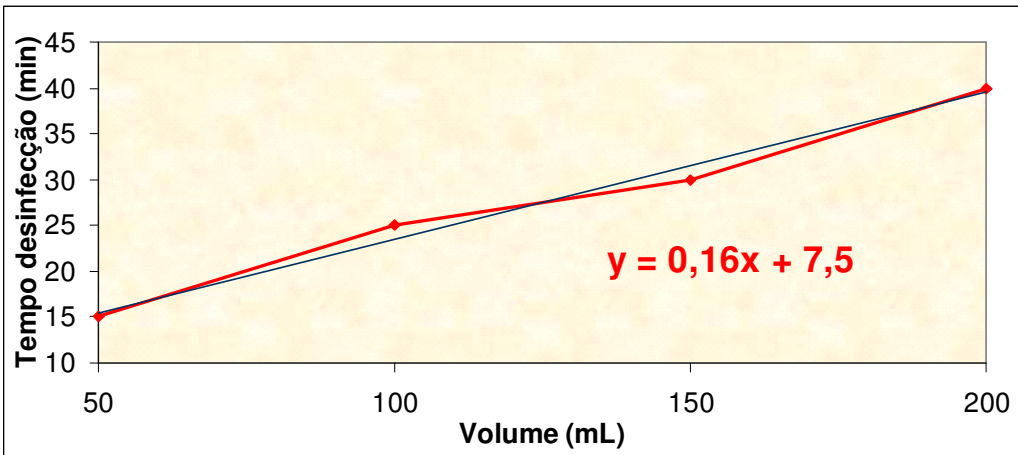
Analisando-se os resultados obtidos com os tempos de 20 e 40 minutos, foi possível observar que houve eficiência na desinfecção de 200 mL com o tempo de exposição em 40 minutos.

No tempo de exposição de 20 minutos, as três bactérias *P. aeruginosa*, *E. coli* e *S. aureus* sobreviveram ao experimento com o destrutor de células ultra-sônico. E sobreviveriam à desinfecção, com a contagem bacteriana de 2,01E+05 UFC/mL de *P. aeruginosa*, 1,71E+05UFC/mL de *E. coli* e 1,6E+04 UFC/ mL de *S.aureus*. As bactérias voltariam a se multiplicar e contaminar o solo ou lençóis freáticos.

Com os volumes de 50mL e com tempo de 7 minutos; o de 100mL com o tempo de 15 minutos; o de 150mL com o tempo de 15 minutos e o de 200mL com o tempo de 20 minutos, a bactéria que teve a maior resistência ao destrutor de células ultra-sônico em todos estes experimentos foi a *P. aeruginosa* provavelmente por possuir glicocálice em sua estrutura, a qual faz com que tenha uma resistência maior a variações ambientais. Porém segundo o manual do equipamento da UNIQUE, o *S. aureus* seria uma bactéria difícil de romper na cavitação, enquanto a *E.coli* e *P. aeruginosa* eram consideradas fáceis de romper.

Avaliando os tempos de exposição com eficiência de 100% na desinfecção, foi possível determinar uma equação da curva que relacionou o volume do percolado e tempo de exposição para desinfecção, de acordo com a figura 4 - 7.

Figura 4-7 - Ultra-som. Curva de desinfecção com a determinação da equação



Com esta equação da curva de desinfecção é possível determinar aproximadamente qual o tempo necessário para fazer a desinfecção em outros volumes, com o limitante de 200ml. Para volumes maiores, seria necessário um dimensionamento de equipamento adequado. São tempos relativamente altos, considerando volumes pequenos, porém podem garantir uma desinfecção total do percolado acumulado.

#### **Análises complementares de pH, OD e temperatura após a exposição ao ultra-som**

De acordo com a tabela 4-28, foi possível observar os resultados obtidos com o pH, OD e a temperatura após exposição ao desruptor de células ultra-sônico.



Tabela 4- 28- Ultra-som. Resultados das análises complementares de pH, OD e temperatura após exposição

Experimento	pH	OD	Temperatura
Controle 3º dia	7,162	5,9	25,1
Controle de 50mL	7,153	5,8	25,3
50mL 7 min	7,152	5,1	61,2
50 mL – 15 min	7,187	5,5	62,1
Controle de 100mL	7,124	5,6	26,7
100mL – 15 min	7,181	4,7	61,2
100mL – 25 min	7,315	5,4	63,8
Controle de 150mL	7,154	6,5	24,1
150mL – 15 min	7,148	5,5	47,7
150mL – 30 min	7,231	5,2	63,0
Controle de 200mL	7,154	4,9	24,1
200mL – 20 min	7,182	4,7	56,4
200mL – 40 min	7,245	4,4	64,1

Verificou-se que ocorreram pequenas oscilações dos valores de pH dos grupos experimentais submetidos ao desruptor de células ultra-sônico que tiveram sua eficiência em 100%, quando comparado ao seu respectivo grupo controle, fazendo com que aumentasse o seu pH. Esse aumento poderia ser devido à cavitação gerada no percolado acumulado. Os valores de pH permaneceram na faixa de 7,1 a 7,3.

A análise complementar do oxigênio dissolvido (OD) da amostra de controle e experimental foi importante nas simulações de percolação. Houve uma simulação laboratorial, na qual o valor do OD ficou abaixo de 3 mg/L. Isso fez com que os *S. aureus* morressem e

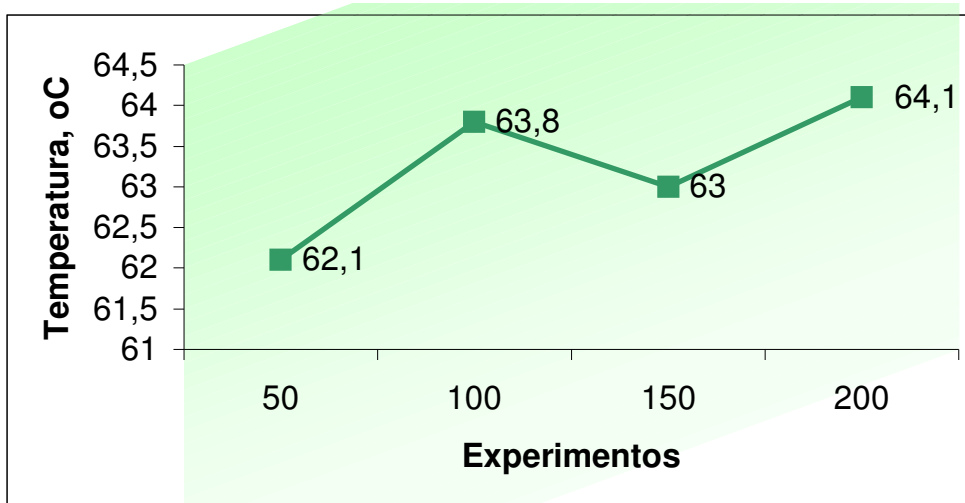
aumentassem a contagem de *E. coli* no percolado, sendo necessário parar com o experimento e iniciar novamente a simulação, controlando a aeração do percolado por aproximadamente 6 horas diárias.

Com a redução de oxigênio no percolado acumulado, foi possível avaliar a associação que existe entre estes microrganismos, que neste caso foi negativa. Segundo SILVA (2000), trata-se de competição dos organismos que se instalam no mesmo nicho ecológico, isto é, que requerem os mesmos nutrientes e as mesmas condições ambientais. Ocorre entre *E. coli* e *S. aureus* uma profunda influência recíproca. Ao acompanhar seu crescimento em cultura pura e em cultura mista diminui o crescimento da *S. aureus*, em cultura mista, devido a *E. coli* ter um tempo de geração mais curto; dessa forma cresce mais rapidamente e esgota os alimentos, limitando o crescimento da *S. aureus*.

Os valores de OD quando submetidos ao destrutor de células ultra-sônico tiveram uma pequena redução, quando comparados com o controle.

Quando o volume do percolado fica exposto ao transdutor do destrutor de células ultra-sônico durante o tempo necessário para desinfecção, comparado ao béquer controle, ele sofre um aumento da temperatura, pois o transdutor também aquece à medida que fica ligado. A variação da temperatura foi apresentada na figura 4-8.

Figura 4-8 – Ultra-som. Variação de temperatura nos pontos de eficiência de 100%



A temperatura irá influenciar visto que as três bactérias estudadas são mesófilas. Comparando os testes de 50, 100, 150 e 200mL, verificou-se que os testes tiveram eficiência de 100% quando a temperatura foi acima de 62,1°C.

Portanto, a desinfecção pode estar sofrendo a influência da temperatura, além do rompimento da membrana celular das bactérias pela cavitação que o ultra-som causa. A geração de calor, ou seja, o aumento da temperatura é o efeito decorrente da absorção das ondas ultra – sônicas pela célula. A vibração celular e de suas partículas provoca um atrito (fricção) entre elas, levando ao aquecimento. Isto também ocorre devido ao tempo de exposição do percolado ao ultra-som. A quantidade de calor gerada aumenta nas interfaces entre meios com características físicas diferentes. O calor causa um aumento da permeabilidade das membranas das células.

#### 4.5 CONSUMO ENERGÉTICO E DE OUTROS INSUMOS (CAL)

Os custos apresentados consideram somente a energia consumida (de R\$ 0,44/kWh). Os custos com aquisição de equipamentos, de operação e de manutenção devem ser avaliados em cada local onde será gerado o resíduo para definir qual tratamento deve ser adotado (tabelas 4-30, 4-31 e 4-32).

**Formatados:** Marcadores e numeração

#### Cal

Não há consumo de energia

Em relação ao custo da cal hidratada CHIII, o preço médio encontrado foi de R\$ 5,00 o saco de 20 kg, o preço por quilo ficou R\$ 0,25. Na tabela 4-29, foi feita a simulação do custo da cal por quilo no resíduo, utilizando os parâmetros de desinfecção.

Tabela 4-29 - Cal. Custos da cal para resíduo de 1 kg

% cal no resíduo	Tempo de contato, em dias	Custo da cal
50%	20	R\$ 0,125
60%	15	R\$ 0,15
80%	7	R\$ 0,20

Com a utilização de 50% de cal, comparado com o percentual de 60%, houve um aumento no custo de 16,7%, e comparando o de 80% de cal, houve um aumento do custo em 37,5%. Porém deve-se levar em consideração o tempo necessário que a cal precisará para fazer a desinfecção, para depois ser levado para um aterro, sem nenhum risco de contaminação na sua manipulação e no seu destino final. Além do mais, o custo associado à

disposição do RSS em aterros poderá sofrer um acréscimo idêntico à massa de cal adicionada (Se a base de preço for a massa).

Formatados: Marcadores e numeração

## Microondas

Tabela 4-30 – Custo da energia consumida pelo método de desinfecção por microondas  
Recipiente utilizado para RSS: pote de plástico

Potência do Equipamento = 900 Watts				
Massa (g)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo R\$
50g	75	67,50	0,018750	0,008
100g	90	81,00	0,022500	0,010
250g	150	135,00	0,037500	0,017
500g	240	216,00	0,060000	0,026
1000g	300	270,00	0,075000	0,033

Recipiente utilizado para o RSS: vidro

Potência do Equip.= 900 Watts				
Massa (g)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo R\$
50g	45	40,50	0,011250	0,005
100g	60	54,00	0,015000	0,007
250g	90	81,00	0,022500	0,010
500g	120	108,00	0,030000	0,013

Recipiente utilizado para o RSS: vidro

Potência do Equip.= 450 Watts				
Massa (g)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo R\$
50g	60	27,00	0,007500	0,003

## Autoclave

Na tabela 4 – 31 está aprestando o custo da energia consumida pelo método de desinfecção com à autoclave, foi considerado o tempo médio de aquecimento para atingir 121°C, que foi de 17 minutos e 30 segundos, e o tempo de resfriamento (ou exaustão até 66°C ) foi de 3 minutos, o tempo total foi de 20 minutos e 30 segundos, em segundos é de 1230. Para os experimentos com 132°C foi de 20 minutos e o tempo de resfriamento foi de 5 minutos, o tempo total foi de 25 minutos.

Tabela 4-31 – Custo da energia consumida pelo método de desinfecção com autoclave  
Recipiente utilizado para RSS: sacos autoclaváveis (plástico)

Potência do equipamento = 1800 watts		Temperatura : 121 °C				
Massa (g)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo da energia R\$	Custo Unit. embal, R\$	Custo R\$ (energia+ embal.)
50g	1290	2322,0	0,645000	0,219	0,50	0,72
100g	1290	2322,0	0,645000	0,219	0,50	0,72
250g	1290	2322,0	0,645000	0,219	0,50	0,72
500g	1290	2322,0	0,645000	0,219	0,50	0,72
1000g	1290	2322,0	0,645000	0,219	0,50	0,72
Recipiente utilizado para RSS : vidro		Temperatura : 121 °C				
Potência do Equip.= 1800 watts						
Massa (g)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo R\$		
50g	1290	2322,0	0,645000	0,258		
100g	1650	2970,0	0,825000	0,330		
250g	1830	329400	0,915000	0,366		
500g	1830	3294,00	0,300000	0,366		

Recipiente utilizado para RSS : vidro		Temperatura : 132 °C		
Potência do Equip.= 1800 watts		Tempo de aquecimento e resfriamento:25 minutos		
Massa (g)	Tempo total Aquec.+estéril.= resfriam	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo da energia, R\$
50g	1560	2808,00	0,780000	0,343
100g	1560	2808,00	0,780000	0,343
250g	1560	2808,00	0,780000	0,343
500g	1560	2808,00	0,780000	0,343

Para as condições experimentais adotadas, tanto para microonda como para autoclave existe uma tendência à diminuição do consumo unitário de energia com o aumento da carga de resíduos a tratar. Para o equipamento de microondas a embalagem de vidro favorece a diminuição do custo energético, em comparação às embalagens de plástico. Para a autoclave a embalagem de vidro é menos eficiente que os sacos plásticos autoclaváveis e o custo é bem maior, se comparado o custo consumo energético. Porém, adicionando o custo dos sacos autoclaváveis, o custo torna-se muito caro para o gerador de resíduos.

**Desruptor de células (ultra-som)**

Tabela 4-32 – Custo do consumo de energia no método de desinfecção com ultra-som  
 Ponteira utilizada: grossa

Potência do equipamento = 340watts				
Volume (mL)	Tempo (s)	C. energia (kWs)	C. energia (kWh)	Custo (R\$)
50	900	306,00	0,085	0,37
100	1500	510,00	0,142	0,062
150	1800	612,00	1,700	0,075
200	2400	816,00	0,227	0,100

Conforme mostra a tabela 4 – 32, no desruptor de células ultra-sônico, o custo é de R\$ 0,0005/mL tratado, considerando que para tratar um litro de percolado, o custo sairia aproximadamente R\$ 0,50/L. Porém este equipamento tem um limitante de volume de 250 mL, segundo o fabricante. Para colocar em escala maior, é necessário outro equipamento que seja um processo contínuo e não em batelada.



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### Conclusões:

Todos os métodos de desinfecção estudados tiveram eficiência de 100% na remoção das três bactérias em estudos, e para que isto ocorresse, foi feita preparação do resíduo, ou seja, os componentes simulavam ter sido picados, ou triturados.

Os métodos de desinfecção utilizados foram empregados para tratar resíduos infecciosos tipo e seu percolado, promovendo a eliminação dos microrganismos, no caso a *E. coli*, a *P. aeruginosa* e *S. aureus*.

**Microondas** - nesta etapa os resultados de desinfecção foram eficientes com a utilização do pote plástico e do balão de vidro. Com esta variação no recipiente utilizado, aumentaram os valores obtidos nas outras etapas com a mesma massa. Com massa de 50 gramas com balão de vidro, o tempo foi de 45 segundos e com o pote, de 75 segundos; o mesmo aconteceu com 500 gramas com vidro, foi de 120 segundos e com pote, dobrou para 240 segundos. O formato e o material do recipiente, utilizados tiveram um papel importante no processo.

O aquecimento por microondas é a absorção direta da energia pelo material a ser aquecido, ao contrário do que ocorre quando o aquecimento é realizado por convecção, no qual a energia é transferida lentamente do recipiente de reação para a solução. Assim, o aquecimento por microondas é seletivo e dependerá, principalmente, da constante dielétrica e da frequência de relaxação do material.

O forno de microondas é um método emergente para o tratamento de resíduos infectantes, ainda com poucas referências e sem padronização para resíduos. É necessária a presença de certa quantidade de água em contato com os resíduos, ou seja, umidade. Nos experimentos com microondas pode-se observar que os resultados foram diferentes quando alterou o recipiente de balão de vidro para potes de plástico. Isto aconteceu porque os potes de plásticos tinham uma abertura grande, apesar de ser colocado com a tampa, esta se abria dentro do forno, enquanto nos balões de vidro não havia saída do calor de dentro do

recipiente. O tempo para destruir as bactérias *P. aeruginosa*, *E. coli* e *S. aureus* foi de 5 minutos para 1 kg de resíduo, utilizando os potes de plásticos, e quando utilizou-se os balões de vidro foram necessários 2 minutos para 500 gramas.. Esses experimentos também demonstraram que o efeito térmico das microondas foi determinante para eficiência do método.

**Autoclave** –comparando os resultados da temperatura após exposição à autoclave, os sacos autoclaváveis tiveram uma temperatura muito menor, isto ocorreu devido os sacos autoclaváveis terem contato direto com o vapor, devido à abertura, que permitia a entrada do vapor ao resíduo e também devido à saída rápida de vapor. Enquanto nos balões de vidro o vapor precisava aquecer o frasco, até que este atingisse uma temperatura suficiente para destruir a bactéria, e mantendo a temperatura maior dentro do resíduo. A eliminação do microrganismo se dá pelo aquecimento do meio em que este se encontra e não pelo contato direto com o vapor.

Comparando com os recipientes de vidro, no caso do uso de balão de vidro no experimento da primeira etapa, verificou-se que aumentou o tempo e a energia, dependendo da massa e da condutividade térmica desses materiais, porque o vapor (que transmite o calor) levava mais tempo para chegar ao resíduo.

Nos experimentos com autoclave, a eficiência do processo dependeu da temperatura e pressão, tempo de exposição e contato direto com o vapor, além da densidade e estado físico do resíduo. Verificou-se que para um 1 kg de resíduo, utilizando como recipiente os sacos autoclaváveis, foi necessário 1 minuto a temperatura de 121°C e pressão de 1 atm, e utilizando os balões de vidro para 500 gramas, foram necessários 10 minutos.

**Cal** – os parâmetros tempo de contato e porcentagem de cal foram importantes para desinfecção do resíduo. A menor porcentagem foi a de 50% e o tempo de 20 dias, o menor tempo de contato foi de 7 dias com uma porcentagem de 80 %. É necessário fazer a trituração do resíduo antes da adição da cal, e também manter fechado dentro do saco de lixo, sem contato com o ambiente.

A adição da cal no resíduo infeccioso tem a vantagem de facilidade de manuseio. As suas desvantagens são: aumenta o volume do resíduo; o custo é alto; precisa de um local para armazenar o resíduo até poder ser depositado em aterro sanitário; precisa que o resíduo seja

triturado; é necessário ter controle com a massa de resíduo e a quantidade de cal a ser adicionada; precisa de uma balança, como equipamento.

**Ultra-som** – Nos experimentos com o disruptor de células ultra-sônico, a desinfecção das bactérias dentro do percolado acumulado com os volumes de 50, 100, 150 e 200 mL e com tempos de exposição variou de 15, 25, 30 e 40 minutos. O ultra-som se mostrou eficiente devido à cavitação, ou seja, o transdutor transformou energia elétrica em energia mecânica, obtendo-se ciclos de tensão e compressão dentro do líquido, formando bolhas microscópicas. Este efeito causa troca de pressões locais na ordem de milhares de atmosferas, fazendo com que houvesse rompimento nas paredes celulares das bactérias.

### **Recomendações:**

Não era pretensão deste estudo indicar qual o melhor método de desinfecção, apenas avaliar a sua eficiência, buscando o menor tempo de exposição e/ou menor quantidade de resíduo a ser utilizada. Isto contribuirá para melhorar as decisões a serem tomadas, no que tange à segurança e eficiência de manuseio, de transporte, de coleta e de destino final.

Seria importante que este experimento fosse também realizado usando cepas bacterianas esporuladas, como da espécie *Clostridium* ou *Bacillus*, avaliando estes tempos de desinfecção ou buscando o tempo de desinfecção adequado. Além do mais, deveria-se realizar estes mesmos tratamentos nos estabelecimentos de saúde, para avaliar junto à rotina e com a variação de resíduos que ocorre diariamente.

Junto ao percolado seria possível testar o disruptor de células ultra-sônico, como pré-tratamento para radiação ultravioleta, para buscar uma desinfecção em menor tempo de exposição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIA. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Resolução RDC Nº 306, de 07 de dezembro de 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (Comp.). **Compendium of methods for the microbiological examination of food.** 3<sup>rd</sup> ed., Washington, DC., 1992, 1219 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos de serviços de saúde: terminologia**, NBR 12807. **Rio de Janeiro, 1993.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.. **Resíduos sólidos de serviços de saúde: classificação**, NBR 12808. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cal Hidratada para Argamassas**, NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992.

BARELLA, K. M. **Avaliação de bactérias patogênicas em percolado de resíduo hospitalar infeccioso padrão.** Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.

BARBOZA, A. C. R. N., CRUZ, C. V.M.S., GRAZIANI, M. B., LORENZETTI, M. C.F. e SABADINI, E. Aquecimento em forno de microondas: Desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, São Paulo, v.24, n.6, 2001. Disponível em: < [www.scielo.br](http://www.scielo.br) >. Acesso em: 20 agosto 2004.

BARBOSA, H.R., TORRES, B.B. **Nutrição e Crescimento Bacterianos** in TRABULSI, L. R., ALTERTHUM, F., GOMPERTZ, O. F., CANDEIAS, J.A.N. **Microbiologia.** 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atheneu. p.25-30. 1999. 585p

BASSOLI, D.A. Avaliação dos efeitos do ultra-som pulsado de baixa intensidade na regeneração de músculos esqueléticos com vistas à aplicabilidade em clínica fisioterapêutica. São Carlos, Dissertação de mestrado em Bioengenharia, 2001

BISSCHOP, G.; BISSCHOP, E.; COMMANDRÈ, F. **Eletrofitoterapia**. 1ª Edição em português. São Paulo, Livraria Santos Editora Com. Imp. Ltda, 2001.

BLUME, T; NEIS, U. Improved wastewater disinfection by ultrasonic pre-treatment. In: **Ultrasonics Sonochemistry**, Volume 11, Issue 5, July 2004, Pages 333-336.

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E. Custos de tratamento por calagem. In: **Sanare**, v.11 nº11, julho a dezembro 1999. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v11>. Acesso em novembro de 2003.

CAPPUCCINO, J.G. & SHERMAN, N. **Microbiology: a laboratory manual**. Menlo Park: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1996. 477 p.

CHAGAS, W. F. Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000. 102p. Dissertação da Fundação Oswaldo Cruz / Escola Nacional de Saúde Pública (Mestre em Ciências em Saúde Pública).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 358, 29 de abril de 2005** Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br) Acesso em 01/06/2005

CONFORTIN, A. C.. **Estudo dos Resíduos de serviços de saúde do Hospital Regional do Oeste – SC**. p. 202. Dissertação (mestrado de Engenharia de Produção). Florianópolis, 2001.

CREPON, F. **Eletrofisioterapia e Reeducação Funcional**. São Paulo, Editora Lovise, 1996

ESPÍNDOLA, A.R.C. & SALLES, I.B. Estudo dos Resíduos Sólidos Hospitalares em Florianópolis - Hospital Gov. Celso Ramos, COMCAP/FATMA. Florianópolis, 1987.

FERNANDES, A. T. Infecção Hospitalar e suas interfaces na área da saúde. São Paulo: Editora Atheneu, 2000.

GILLIGAN, P. H. **Pseudomonas and Burkholderia**. In: MURRAY, P.R. *et al* **Manual of Clinical Microbiology**. 6<sup>th</sup> ed. Washington D.C: ASM Press. 1995. Cap. 40.

GRAY, L.D. **Escherichia, Salmonella, Shigella e Yersinia**. In: MURRAY, P.R. *et al* **Manual of Clinical Microbiology**. 6<sup>th</sup> ed. Washington D.C.: ASM Press 1995. Cap. 33.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos.: **A Cal- Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**.. Associação Brasileira dos produtores de cal. São Paulo, Pini Editora , p. 284.1998.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB. 2000. Disponível em: <http://www.ibge.org.br>. Acesso em maio de 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS: Lixo Municipal: Manual do gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo, 2000.

IWAGUCH, S.; MATSUMURA, K.; TOKUOKA, Y.; WAKUI S. e KAWASHIMA, N.. Sterilization system using microwave and UV light. In: Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, Volume 25, Issue 4, Pages 299-304. August 2002.

JENG, D. K. H.; KACZMAREK, K. A.; WOODWORTH, A. G. e BALASKY, G. Mechanism of Microwave Sterilization in the Dry State. **Applied and environmental Microbiology**, Vol. 53, n. 9, p. 2133 -2137. Set. 1987

KINOSITA, K. Jr. e TSONG, T. Y. Formation and resealing of pores of controlled sizes in human erythrocyte membrane. In: **Nature**, 268-441.1977.

KOEKE, P. U.. Estudo comparativo da eficácia da fonoforese, do ultra-som terapêutico e da aplicação tópica de hidrocortisona no tratamento do tendão de rato em processo de reparo tecidual. 2003. 164p. Dissertação (mestrado em Bioengenharia) Universidade de São Paulo, São Carlos.

KOZEMPEL, M., SCULLIN, O. J., COOK, R. e WHITING R. Preliminary investigation using a batch flow to determine bacteria destruction by microwave energy at low temperature. *Lebensm-Wissu- Technol*, n.7. p. 691-696. 1997

JAWETZ, E., MELNICK, J. L., ADELBERG, E. A., BROOKS, G. F., BUTEL, J. S., ORNSTON, L. N. **Microbiologia médica**. 20<sup>a</sup> ed, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998, 524 pp.

LAUER, J.; BATTLES, D. R. e VESLEY, D. Decontaminating Infectious Laboratory Waste by Autoclaving. In: **Applied and Environmental Microbiology**. Sept. 1982. Vol. 44, No. 3, p. 690-694.

MACHADO, N. L. & MORAES, L. R. S. RSS: Revistando as soluções adotadas no Brasil para tratamento e destino final. **Engenharia Sanitária e Ambiental**.vol. 9 - Nº 1 - jan/mar 2004, 55-64.

MATTOSO, V. D.B. Classificação, Quantificação e Análise Microbiológica dos Resíduos de Serviços de Saúde da Santa Casa de Misericórdia de São Carlos. São Carlos, 1996. 90p. Dissertação (Mestrado), EESC-USP.

MENDES, Adriane M. Moro. Efeito de microondas sobre bactérias psicrotróficas e sua influência na qualidade e vida útil de carcaças de frango refrigeradas. Florianópolis, 1993. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina.

MICROBIONET. *Escherichia e Pseudomonas aeruginosa* – Sciencenet Multimedia. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencenet.com.au/escherichia.htm>>. Acessado em em agosto de 2003.

MOREL, M.M.O.; BERTUSSI FILHO, L.A. **Resíduos de Serviços de Saúde**. In: RODRIGUES,E.A.C., MENDONÇA, J.S.; AMARANTE, J.M.B.; ALVES FILHO, M.B.; GRINBAUM, R. S.; RICHTMANN, R. Infecções **hospitais** – **prevenção e controle**. São Paulo: Sarvier, 1997. p.519-534.

MUNDIM, G. J., DEZENA; R. A.; OLIVEIRA A. C. S. de; SILVA, P. R. da ;CARDOSO, M.; PEREIRA, G. A.,MORAIS, C. A.e TERRA, A. P. S. **Avaliação da presença de *Staphylococcus aureus* nos leitos do Centro de Terapia Intensiva do Hospital Escola da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro, em relação à posição no colchão antes e após a limpeza.** Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.n.36(6). p.:685-688, nov-dez, 2003.

NEEF, C., VAN GILS, S. A. e IJZERMAN, W. L. **Analogy between temperature-dependent and concentration-dependent bacterial killing** Computers in Biology and Medicine, Volume 32, Issue 6, November 2002, Pages 529-54.

NEIS, U; BLUME, T. Ultrasonic disinfection of wastewater effluents for high-quality reuse. **IWA Regional Symposium on water recycling in Mediterranean Region Iraldio, Greece.2002.**

NODA, R.; RÊGO, R. C. E. Caracterização Preliminar de Resíduos Sólidos de Estabelecimentos Hospitalares. In **Seminário Internacional sobre Resíduos Sólidos Hospitalares**, Cascavel, 1993.

OROFINO, F. V. G. Aplicação de um Sistema de Suporte Multicritério - Saaty For Windows - na Gestão dos Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde - Caso do Hospital Celso Ramos.Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção).

PÉCOR, J. D & GUERISOLI, D.M. Z. **Ultra som.** In: Universidade de São Paulo,1997. Disponível em: <<http://www.forp.usp.br/restauradora/us01.htm> >. Acesso em agosto de 2004.

PELCZAR, M. J.; CHAN, E. C. S. & KRIEG, N. R. **Microbiologia: Conceitos e aplicações**, Vol 1. Makron Books: São Paulo, 1997.

POTHAKAMURY, U. R., BARBOSA- CANOVAS, G.V e SWANSON, B. G. Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes. **Food Technology**, 47 (12), 85 – 93. 1993.



RAGO, F. e CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção civil. São Paulo: EPUSP, 1998. 24 p

REGO, R.C.E. & NODA, R. Caracterização preliminar de resíduos sólidos de estabelecimentos hospitalares. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS HOSPITALARES**. Cascavel, PR, 1993.

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C. e NOBREGA, J. A. Microwave-assisted experiments for undergraduate courses. **Química Nova**, n.º.6, vol.27,Nov./Dez 2004,p.1012-1015. Disponível em :<[www.scielo.br](http://www.scielo.br)>. Acesso em janeiro de 2005.

RUTALA, W. A. **Antisepsis, disinfection, and sterilization in hospitals and related institutions**. In MURRAY, P. R. (ed.), BARON, E. J., PFALLER, M. A., TENOVER, F. C., YOLKEN, R. H., Manual of Clinical Microbiology. 6ª ed., Washington, DC.: ASM Press, 1995, 1482 pp.

SADICOFF, B. L., AMORIM, M. C. V. e MATTOS, M. C. S. Uma demonstração simples e visual do efeito do aquecimento com microondas com reações de poliadiação. **Química Nova**. n.4. vol.24, jul./ago 2001.Disponível em :<[www.scielo.br](http://www.scielo.br)>. Acesso em janeiro de 2005.

SANSEVERINO, A. M.. Microondas em Síntese Orgânica. **Química Nova**, São Paulo, v.25, n.4, 2001. Disponível em: < [www.scielo.br](http://www.scielo.br) >. Acesso em: novembro de 2004.

SANTOS, A. D. Dos. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação (mestrado) da Escola politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. 265p.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V.C.; SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos**. São Paulo: Varela, 1997. 295 p.

SILVA, M. M. A. C. **Avaliação do crescimento microbiológico em resíduos hospitalares infecciosos**. Florianópolis, 2000. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, A.C.N., REIS, J.D.P., BERNARDES, R.S. e MORAES, L.R.S. Estudo de fatores de riscos ambientais relacionados aos microrganismos patogênicos existentes nos resíduos sólidos de serviços de saúde. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 21, João Pessoa, 2001. CD-ROM.

SOARES, S.R.; CASTILHOS JÚNIOR; A.B.; MACEDO, M.C. **Diagnóstico da produção de resíduos de serviços de saúde**. Estudo de caso: Hospital Universitário. Florianópolis, Trabalho apresentado no 19º Congresso da ABES. Foz do Iguaçu, Paraná. 1997.

SOARES. S.R.; BENETTI, L.B.; OLIVEIRA, C.M.M.; MIRANDA, A.R.; BARRELLA, K.M. e ALVES, K.C.G. Avaliação microbiológica do percolado nos resíduos hospitalares infecciosos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 21, João Pessoa, 2001. CD-ROM.

STARKEY, C. Ultrasound In: **Therapeutic Modalities**. 2.Ed. Philadelphia: F.A. Davis, cap. 6, p.269- 302, 1999.

STRAIN, B. A. & GRÖSCHEL, D. H. M.Laboratory **Safety and Infectious Waste Management** In MURRAY, P. R. (ed.), BARON, E. J., PFALLER, M. A., TENOVER, F. C., YOLKEN, R. H., Manual of Clinical Microbiology. 6ª ed., Washington, DC.: ASM Press, 1995, pp. 75-85.

TODAR, K. Textbook of Bacteriology. The control of microbial growth. In: University of Wisconsin-Madison Department of Bacteriology, 2002.Disponível em: <http://www.textbookofbacteriology.net/> >. Acesso em setembro de 2005.

TORTORA, G. J., FUNKE, B. R. & CASE, C. L. Microbiology: an introduction. 6ª ed. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1997, 832 pp.

TOLEDO, M.R.F.; TRABULSI, L.R. **Pseudomonas** in TRABULSI, L.R., ALTERTHUM, F.; GOMPERTZ, O.F. , CANDEIAS, J.A.N. (ed) **Microbiologia** 3a ed. São Paulo: Atheneu; 585p. 1999. p.269-270.

ZAKI, A. N. & CAMPBELL, J. R. Infectious waste management and laboratory design criteria. **American Industrial Association Journal**. [online] V. 58, Issue 11. Akron, Nov. 1997.

## ANEXO

São apresentadas as três classificações dos RSS de acordo com:

Quadro 1 – Classificação dos RSS - CONAMA nº 358 de 29/04/05.

GRUPO A	
A1	culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética; resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4; bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta; sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;
A2	carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microorganismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação;
A3	peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 g ou estatura menor que 25 cm ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou familiares;
A4	kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados; filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares; sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4; resíduos de tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo; recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenha sangue ou líquidos corpóreos na forma livre; peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anátomo-patológicos ou de confirmação diagnóstica; carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microorganismos, bem como suas forrações; e bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão;

A5	órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons;
<b>GRUPO B</b>	
resíduos contendo substâncias químicas, tais como: produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossupressores; digitálicos; imunomoduladores; anti-retrovirais, quando descartados por serviços de saúde, farmácias, drogarias e distribuidores de medicamentos ou apreendidos e os resíduos e insumos farmacêuticos dos medicamentos; resíduos de saneantes, desinfetantes, resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes; efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores); efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas; demais produtos considerados perigosos (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos);.	
<b>GRUPO C</b>	
materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista. Enquadram-se neste grupo quaisquer materiais resultantes de laboratórios de pesquisa e ensino na área de saúde, laboratórios de análises clínicas e serviços de medicina nuclear e radioterapia que contenham radionuclídeos em quantidade superior aos limites de eliminação;.	
<b>GRUPO D</b>	
resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares, como papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em anti-sepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1; sobras de alimentos e do preparo de alimentos; resto alimentar de refeitório; resíduos provenientes das áreas administrativas; resíduos de varrição, flores, podas e jardins e resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde;	
<b>GRUPO E</b>	
Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas e todos os utensílios de vidro;	

Quadro 2 - Classificação dos RSS - RDC nº 306 de 7/12/04 – ANVISA

GRUPO A -Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção.	
A1	Culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética. Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido. Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta. Sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre.
A2	Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anátomo-patológico ou confirmação diagnóstica.
A3	Peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou familiares.
A4	Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados. Filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares. Sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou microrganismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons. Resíduos de tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo. Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenha sangue ou líquidos corpóreos na forma livre. Peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anátomo-patológicos ou de confirmação, carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações. Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão diagnóstica.
A5	Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfurocortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons.

**GRUPO B** - Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. - Produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossupressores; digitálicos; imunomoduladores; anti-retrovirais, quando descartados por serviços de saúde, farmácias, drogarias e distribuidores de medicamentos ou apreendidos e os resíduos e insumos farmacêuticos dos Medicamentos controlados pela Portaria MS 344/98 e suas atualizações. Resíduos de saneantes, desinfetantes, desinfestantes; resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes. Efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores). Efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas. Demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NBR 10.004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).

**GRUPO C** - Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados nas normas do CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista. Enquadram-se neste grupo os rejeitos radioativos ou contaminados com radionuclídeos, provenientes de laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia, segundo a resolução CNEN-6.05.

**GRUPO D** - Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares. - papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em anti-sepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1; sobras de alimentos e do preparo de alimentos; resto alimentar de refeitório; resíduos provenientes das áreas administrativas; resíduos de varrição, flores, podas e jardins - resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde

**GRUPO E** - Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: Lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares

Quadro 3 – Classificação dos RSS – NBR 12808 de 1993, conforme ABNT

Classe A - Resíduos infectantes	
Tipo A1 - Biológico:	Cultura, inóculos, mistura de microorganismos e meio de cultura inoculado, vacina vencida ou inutilizada, filtros de áreas contaminadas e quaisquer resíduos contados.
Tipo A2 - Sangues e hemoderivados:	Bolsas de sangue após transfusão, com prazo vencido, com sorologia positiva, amostra de sangue para análise, soro, plasma, e outros subprodutos.
Tipo A3 - Cirúrgico, anatomopatológico e exsudado:	Tecido, órgão, feto, peça anatômica e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais.
Tipo A4 – Perfurocortante	Agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi, vidro, etc.
Tipo A5 – Animal contaminado:	Carcaça ou parte do animal inoculado, exposto a microrganismo patogênico, ou portador de doença infecto contagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com eles.
Tipo A6 – Assistência ao paciente:	Secreções, excreções de demais líquidos orgânicos procedentes do paciente, bem como resíduos contaminados por estes.
Classe B - Resíduo especial	
Tipo B1 – Rejeito radioativo:	Material radioativo ou contaminado com radionuclídeos proveniente de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia.
Tipo B2 – Resíduo farmacêutico:	Medicamento vencido, contaminado, interditado ou não utilizado.
Tipo B3 – Resíduo químico perigoso:	Resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico.
Classe C – Resíduo comum	
São todos aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem risco adicional à saúde pública. Por exemplo: resíduos de atividades administrativas, dos serviços de varrição e limpeza de jardins e restos alimentares que não tenham entrado em contato com o paciente.	