

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Fernando Antonio Serrapio Peres**

**Tratamento de Águas de Resfriamento com Peróxido de  
Hidrogênio**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Orientador: Luiz Alberto Teixeira

Co-orientadora: Lídia Yokoyama

Rio de Janeiro, 18 de abril de 2006



**Fernando Antonio Serrapio Peres**

## **Tratamento de Águas de Resfriamento com Peróxido de Hidrogênio**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Luiz Alberto César Teixeira**

Orientador

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – PUC Rio

**Profa. Lídia Yokoyama**

Co-orientadora

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

**Prof. Oswaldo Galvão Caldas da Cunha**

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

**Prof. Maurício Leonardo Torem**

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – PUC Rio

**Prof. Francisco José Moura**

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia – PUC Rio

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do Centro Técnico Científico da  
PUC Rio

Rio de Janeiro, 18 de abril de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

**Fernando Antonio Serrapio Peres**

Graduou-se em Engenharia Química pela Universidade Federal Fluminense. Pós-Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Fundação Oswaldo Cruz.

Ficha Catalográfica

Peres, Fernando Antonio Serrapio

Tratamento de águas de resfriamento com peróxido de hidrogênio / Fernando Antonio Serrapio Peres ; orientador: Luiz Alberto Teixeira ; co-orientadora: Lídia Yokoyama. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, 2006.

94 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia.

Inclui referências bibliográficas.

CDD: 669

A Deus e a todos os meus familiares.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Alberto César Teixeira, pela amizade e confiança e pela orientação sábia e experiente.

Ao amigo Victor Surerus, pela ajuda na realização dos experimentos na primeira etapa da pesquisa e pelo incentivo.

Ao professor Marco Miguel, pela grande contribuição na etapa final do trabalho e pelas críticas e sugestões imprescindíveis para a realização desta pesquisa.

A toda equipe do Laboratório de Microbiologia de Alimentos da UFRJ, em especial ao Antonio, pela paciência e boa vontade em ajudar nos experimentos.

Ao CNPq e a Peróxidos do Brasil, pelo apoio financeiro.

A todos os professores e alunos do DCMM, pela amizade e companheirismo ao longo do curso.

A minha namorada Ariane, pela compreensão e carinho, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, pelo amor, carinho e palavras de conforto nos momentos difíceis.

## RESUMO

Fernando Antonio Serrapio Peres. **Tratamento de Águas de Resfriamento com Peróxido de Hidrogênio**. Rio de Janeiro, 2006. 94p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O tratamento de águas de resfriamento normalmente é feito com a adição de cloro, porém este produto apresenta algumas desvantagens em sua aplicação. Como alternativa ao cloro, algumas indústrias no Brasil e no exterior estão começando a utilizar outros biocidas, dentre estes o peróxido de hidrogênio, um poderoso oxidante que apresenta forte ação biocida. O objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência do cloro e do peróxido de hidrogênio como biocidas em diferentes condições, através de testes em água da torre de resfriamento de uma indústria siderúrgica localizada no Rio de Janeiro. A contaminação microbiológica desta água foi medida sem a adição dos biocidas e com a adição de cloro e peróxido de hidrogênio, permitindo assim comparar o desempenho destas substâncias no combate aos grupos bacterianos presentes na amostra. Foi realizado também um estudo sobre o efeito corrosivo destas substâncias através de testes de corrosão em aço carbono 1020, que permitiram avaliar a taxa de corrosão por perda de massa provocada pela aplicação destes produtos na água. Os resultados mostraram que o peróxido de hidrogênio possui uma ação biocida satisfatória para aplicações em águas de resfriamento. Foi constatado que o efeito biocida do peróxido de hidrogênio é mais limitado do que o cloro e que sua eficiência depende do tempo de contato e pode ser afetada pela presença de impurezas dissolvidas na água. Os ensaios de corrosão revelaram que o peróxido de hidrogênio provoca um efeito corrosivo comparável ao do cloro no material testado.

### Palavras-Chave:

biofilmes; corrosão; desinfecção; aço carbono; peróxido de hidrogênio.

## ABSTRACT

Fernando Antonio Serrapio Peres. **Cooling Water Treatment Using Hydrogen Peroxide**. Rio de Janeiro, 2006. 94p. Master Dissertation– Department of Materials Science and Metallurgy, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

Cooling water treatment generally is made with the addition of chlorine, although it's application has some disadvantages. There is an active development in Brazil and other countries to use alternative chemical disinfectants in place of chlorine, such as hydrogen peroxide, a powerful oxidant which is known for its high biocidal efficiency. The aim of this research is to study the effectiveness of hydrogen peroxide as a disinfectant compared to chlorine in different operational conditions. The experiments were carried out using an water sample from a cooling water system of a steelmaking plant in the city of Rio de Janeiro. The microbial contamination of this water sample was measured without adding any kind of disinfectant. After that, water sample was treated by adding hydrogen peroxide and chlorine, in order to compare and evaluate the efficiency of the two biocides to control bacterial growth in water. Besides microbiological tests, experiments were conducted to compare the degree of corrosion caused by the addition of hydrogen peroxide and chlorine in water. The experimental methodology employed 1020 carbon steel specimens and corrosion rates were measured by weight loss determination after the period of exposure. The results showed that the application of hydrogen peroxide leads to satisfactory bacterial control. However, compared to chlorine, hydrogen peroxide is a rather poor disinfectant. The efficiency of hydrogen peroxide depends on reaction time and it is affected by dissolved pollutants in water. Evaluation of corrosion rates showed that hydrogen peroxide causes basically the same corrosion rates than chlorine.

### Key-words

slime; corrosion; disinfection; carbon steel; hydrogen peroxide.

# Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
2 Revisão Bibliográfica	19
2.1. Sistemas de resfriamento	19
2.1.1. Sistemas abertos sem recirculação de água	19
2.1.2. Sistemas fechados	20
2.1.3. Sistemas abertos com recirculação de água	20
2.1.3.1. Purga	21
2.1.3.2. Água de reposição	21
2.2. Presença de microrganismos em águas de resfriamento	22
2.2.1. Depósitos	22
2.2.2. Entupimento	22
2.2.3. Corrosão	22
2.2.4. Biofouling	23
2.3. Tipos de microrganismos encontrados nas águas de resfriamento	23
2.4. Fatores que influenciam o crescimento microbiano	24
2.4.1. Nutrientes	24
2.4.2. pH	24
2.4.3. Temperatura	25
2.4.4. Luz solar	25
2.4.5. Oxigênio dissolvido	25
2.5. Biofilmes	26
2.6. Corrosão	29
2.6.1. Corrosão microbiológica	30
2.6.1.1. Pilhas de aeração diferencial	31
2.6.1.2. Corrosão por bactérias oxidantes de ferro	33
2.6.1.3. Corrosão por bactérias redutoras de sulfatos (BRS)	34
2.6.1.4. Corrosão por bactérias oxidantes de enxofre	34
2.6.2. Corrosão por “pites”	35
2.7. Desinfecção de águas de resfriamento	36

2.7.1. Biocidas oxidantes	37
2.7.1.1. Cloro	37
2.7.1.2. Ozônio	41
2.7.1.3. Peróxido de hidrogênio	42
2.7.2. Biocidas não oxidantes	44
2.7.2.1. Glutaraldeído	44
2.7.2.2. Sais quaternários de amônio (Quats)	45
2.7.2.3. Isotiazolinas	45
2.8. Métodos de aplicação dos biocidas	46
2.9. Mecanismo de ação dos Biocidas	46
2.10. Biocidas e impactos ambientais	48
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL E MATERIAIS UTILIZADOS	51
3.1. Biocidas utilizados	51
3.2. Ensaio de Corrosão	51
3.2.1. Preparação dos Cupons metálicos	52
3.2.2. Testes estáticos de corrosão	52
3.3. Análise Bacteriológica	56
3.3.1. Preparação do Meio de Cultura	56
3.3.2. Preparação da água peptonada	56
3.3.3. Preparação das amostras de água de resfriamento	56
3.3.4. Determinação da temperatura de incubação	57
3.3.5. Avaliação do efeito biocida na água de resfriamento	57
3.3.6. Semeadura e inoculação em placas de petri	57
3.3.7. Incubação e contagem de colônias nas placas de petri	58
3.3.8. Contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC/mL)	60
3.3.9. Avaliação da microbiota presente na água de resfriamento	61
3.3.10. Análise físico-química da água de resfriamento	61
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
4.1. Ensaio de corrosão	63
4.2. Ensaio de análise bacteriológica	76
4.2.1. Temperatura de incubação	77
4.2.2. Avaliação da microbiota presente na água de resfriamento	77

4.2.3. Análise físico-química da água de resfriamento	79
4.2.4. Comparação entre ação biocida do cloro e do peróxido de hidrogênio	80
5 CONCLUSÕES	88
6 RECOMENDAÇÕES	90
7 REFERÊNCIAS	91

## Lista de figuras

Figura 1 – Esquema simplificado de uma torre de resfriamento. (Dantas, 1988)	21
Figura 2 – Crescimento de microrganismos em torre de resfriamento. (Trovati, 2005)	28
Figura 3 – Trocador de calor com acúmulo de biofilme. (Trovati, 2005)	28
Figura 4 – Consórcios microbianos no interior de um biofilme. (Costerton & Geesey, 2003)	32
Figura 5: Depósitos negros de FeS em tubos de aço carbono. (Trovati, 2005)	35
Figura 6 – Tubo de aço carbono corroído por “pites”. (Trovati, 2005)	36
Figura 7 – Diagrama de distribuição do cloro em meio aquoso. (Dantas, 1988)	38
Figura 8 – Vasilhame de aço inoxidável exposto a biocida clorado. (Trovati, 2005)	39
Figura 9 – Aparato experimental utilizado nos testes estáticos.	54
Figura 10 – Diluição e inoculação em placas de petri.	59
Figura 11 – Contagem de unidades formadoras de colônia (UFC/mL) na diluição $10^{-5}$ mL.	60
Figura 12 – Comparação das taxas de corrosão em pH = 5.5	66
Figura 13 – Comparação das taxas de corrosão em pH = 8.5.	66
Figura 14 – Efeito do pH na taxa de corrosão do ferro. (Gentil, 1982)	67
Figura 15 – Cupom antes da exposição ao meio corrosivo.	70
Figura 16 - Cupom após 24 horas de exposição	70
Figura 17 - Cupom após 96 horas de exposição	70
Figura 18 – Taxas de corrosão esperadas em função da concentração de oxigênio dissolvido em meio aquoso. (Gentil, 1982)	71
Figura 19 – Corrosão do cloro em diferentes valores de pH.	73
Figura 20 – Corrosão do peróxido em diferentes valores de pH.	74
Figura 21 - Crescimento de Bactérias Gram Positivas na Água de resfriamento.	78
Figura 22 - Resultados de UFC/mL em escala logarítmica no tempo de	

contato de 20 minutos. 81

Figura 23 - Resultados de UFC/mL em escala logarítmica em tempo de  
contato de 5 horas. 81

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Classes de microrganismos, nutrientes e danos causados. (Trovati, 2005)	23
Tabela 2 – Ação do peróxido de hidrogênio em relação a diferentes microrganismos. (Block, 2001)	43
Tabela 3 – Reagentes utilizados e condições de aplicação.	51
Tabela 4 – Efeito corrosivo do peróxido de hidrogênio em pH 5,5 e 8,5.	65
Tabela 5 – Efeito corrosivo do cloro em pH 5,5 e 8,5.	65
Tabela 6 – Análise Físico-Química da água de resfriamento.	79
Tabela 7 – Resultados obtidos com a aplicação de cloro e peróxido em tempo de contato de 20 minutos.	80
Tabela 8 – Resultados obtidos com a aplicação de cloro e peróxido em tempo de contato de 5 horas.	80

## Lista de quadros

Quadro 1 – Sítios e mecanismos de ação de alguns agentes biocidas antimicrobianos. ( Pelczar et al., 1993; Atlas, 1995; Madigan et al., 1997; Tortora et al., 1997)	47
Quadro 2 – Composição química típica de pós de Aciaria em indústrias siderúrgicas (Fonte: Marroquín & Benique, 2004)	84
Quadro 4 – Comparação da atividade biocida do cloro e do peróxido de hidrogênio (Fonte: Block, 2001).	87