

II-115 – AVALIAÇÃO DO EFEITO BIOCIDA DO CLORO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO COM REÚSO DE EFLUENTE COMO ÁGUA DE REPOSIÇÃO**Andréa Azevedo Veiga⁽¹⁾**

Engenheira Química pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/EQ). Mestre no Controle da Poluição Urbana e Industrial pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/PEAMB). Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/EQ). Engenheira de Meio Ambiente no Centro de Pesquisas da PETROBRAS-RJ.

Lídia Yokoyama⁽²⁾

Engenheira Química pela UFPa. Mestre em Engenharia Metalúrgica - PUC-RJ. Doutora em Química - PUC-RJ. Professor Adjunto do Depto de Processos Inorgânicos – Escola de Química - UFRJ.

Juacyara Carbonelli Campos⁽³⁾

Engenheira Química pela UFRJ, Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professor Adjunto do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química da UFRJ.

Luiz Alberto Cesar Teixeira⁽⁴⁾

Engenheiro Metalúrgico. Doutor em Extractive Metallurgy pela University of London. Professor Associado da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Consultor da Peróxidos do Brasil Ltda (Grupo Solvay).

Vânia Maria Junqueira Santiago⁽⁵⁾

Engenheira Química pela UFRJ com especialização em Engenharia Ambiental pelo IHE, Holanda, atuando há 30 anos na área de tratamento de efluentes hídricos, Consultora Sênior do Centro de Pesquisas da PETROBRAS- RJ.

Endereço⁽¹⁾: Rua Horácio Macedo, 950 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão - RJ - CEP: 21941-915 - Brasil - Tel: (21) 3865-6698 - e-mail: andreaveiga@petrobras.com.br

RESUMO

Águas de reúso podem, entre outros, acelerar processos de corrosão, incrustação e crescimento microbiológico em sistemas de resfriamento industriais, em função da presença de alguns constituintes. Em condições específicas, a utilização de biocidas oxidantes tais como o cloro, podem produzir sub-produtos organoclorados carcinogênicos e acelerar processos de oxi-redução nas superfícies metálicas envolvidas, e em particular as que se referem aos trocadores de calor. Além de tais fatores, questões de segurança ambiental e do trabalho têm fomentado a busca de alternativas em substituição ao uso do cloro.

Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da manutenção da concentração de cloro residual livre e de H_2O_2 , sobre o controle do crescimento microbiano e as taxas de corrosão associadas, quando aplicados em águas de reúso em torres de resfriamento. Os estudos foram realizados em escala piloto, usando água de reúso de uma refinaria de petróleo. Foram usadas soluções comerciais de NaOCl e de H_2O_2 as quais foram adicionadas nas bacias de torres (BT), mantendo-se concentrações de cloro residual livre de zero (“sistema controle” – BT 03), 0,2 mg/L (BT 01) e 0,5 mg/L (BT 02), e concentrações residuais de peróxido de hidrogênio de 0,5 mg/L (BT 04) e 2,0 mg/L (BT 05). Medidas de perda de massa em cupons de aço carbono 1020 (AC), cobre e aço inox 316 (AI), na presença de produtos inibidores de corrosão e dispersantes, à temperatura e velocidades de escoamento constantes (40 °C e 1,56 m/s, respectivamente), apresentaram taxas de corrosão entre 2 e 3 mpy ao AC, menores que 0,3 mpy ao cobre, e inexpressíveis ao AI para todas as condições avaliadas. O monitoramento da contagem de bactérias planctônicas (BHT) para as águas recirculantes mantidas com diferentes concentrações de cloro residual livre revelou que, independente da concentração aplicada, obteve-se valores abaixo do limite de 10^4 UFC/mL, recomendado para águas de resfriamento utilizando como reposição, o reúso de efluente tratado. Entretanto, para ambas as concentrações residuais de peróxido de hidrogênio avaliadas, foram observados valores superiores o limite da contagem de BHT. Constatou-se a necessidade de uma concentração maior do que 6 mg.L⁻¹ em peróxido de hidrogênio para controlar a contagem de BHT abaixo do referido valor limite de 10^4 UFC/mL. O monitoramento da contagem de bactérias sésseis sobre biocupons, após 31 dias de estudo e independentemente da concentração residual mantida para ambos os biocidas, indicou taxas de crescimento semelhantes para o AC, inibição do crescimento, para o cobre, e incremento do crescimento para o AI.

PALAVRAS-CHAVE: Reúso, peróxido de hidrogênio, cloração, biofilme, corrosão, torres de resfriamento.

INTRODUÇÃO

Na indústria petroquímica, a necessidade de expansão e introdução de novos processos produtivos, o custo elevado da água, as limitações para obtenção de outorga e o aumento das exigências ambientais para a adequação da qualidade dos efluentes a serem descartados, são fatores críticos e estimulantes para os investimentos crescentes em pesquisas visando ao reúso de águas. Paralelamente, o aprimoramento de processos unitários e de sistemas de tratamento e o reúso planejado das águas, com as mudanças na política de segregação interna de correntes hídricas e utilização diferenciada das águas, já são realidade neste segmento industrial para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

Sendo os sistemas de resfriamento responsáveis por cerca de 55% da demanda total da água em refinarias de petróleo, os processos de tratamento de efluentes para fins de reúso têm como objetivo principal atingir os padrões de qualidade requeridos para este fim.

Atuando continuamente como um lavador atmosférico, a água de recirculação na torre estará constantemente sujeita à solubilização de gases, à captação de particulados e ao crescimento microbiano. Portanto, após ter sido enquadrada dentro das características necessárias, a água de reúso direcionada para as torres de resfriamento requer ainda um controle constante de sua qualidade, de forma a não favorecer processos de corrosão, formação de depósitos, incrustação e desenvolvimento microbiano, vistos como problemas econômicos industriais de grande relevância com potencial para estudos futuros.

Apesar de não haver consenso nos valores limites estipulados para taxas de corrosão a metais em águas de resfriamento, principalmente àqueles envolvendo águas de reúso, alguns autores classificam as taxas de corrosão ao aço carbono e cobre, atribuindo a estas, limites máximos esperados (Dantas, 1988). Para o aço carbono, cobre e aço inox, limites de 2,0 mpy, 0,3 mpy e 0,1 mpy, respectivamente, têm sido praticados por empresas tratadoras de águas, quando na avaliação de águas recirculantes em torres de resfriamento (Nalco do Brasil, 2009 e Kurita do Brasil, 2009).

Visto que a presença de microorganismos em sistemas de resfriamento pode afetar a eficiência de troca térmica e de operação, seja por processos de corrosão associados ou pela produção de metabólicos e/ou formação de depósitos, favorecendo a formação de biofilmes, objetivou-se avaliar de forma comparativa os efeitos da utilização do cloro e H_2O_2 (peróxido de hidrogênio), sobre o controle microbiano e taxas de corrosão envolvidas, quando águas de reúso de refinarias são direcionadas para suprir as demanda de torres de refrigeração.

Com potencial para substituição a ampla utilização do cloro como biocida oxidante nestes sistemas, o peróxido de hidrogênio apresenta maior segurança, quando comparado ao cloro, uma vez que não gera subprodutos potencialmente tóxicos, e ao decompor-se rapidamente em meio aquoso, libera moléculas de oxigênio e água, traduzindo-se em uma grande vantagem ambiental.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Betim, Minas Gerais, e do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, 05 (cinco) sistemas de resfriamento, com capacidade de 85 L cada, foram montados, em escala piloto, na área industrial de uma refinaria de petróleo. Duas águas de reposição com características diferentes foram utilizadas nos estudos: água desmineralizada, para reposição contínua das perdas por evaporação, e água de alimentação dos circuitos, denominada de água sintética, para reposição das purgas diárias efetuadas. A água de alimentação dos circuitos foi sintetizada a partir da adição de sais em concentrações pré-definidas (Tabela 1) em água desmineralizada e, de forma a simular as características da futura água de reúso do efluente da refinaria, obtida após o tratamento terciário do efluente industrial por Eletrodíálise Reversa, adotando-se um ciclo de concentração igual a 5.

Tabela 1 - Parâmetros pré-definidos, nas suas respectivas concentrações, referentes à composição da água sintética.

Parâmetros	Unidade	Valor
Condutividade	$\mu\text{mhos.cm}^{-1}$	2000
Cálcio	$\text{mg Ca}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$	56
Magnésio	$\text{mg Mg}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$	22
Dureza Total	$\text{mg CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$	230
Cloretos	$\text{mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1}$	500
pH	-	7
COT (diesel)	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	80
Alcalinidade M	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	150

O tempo de residência hidráulico foi de 140 horas, e a vazão de recirculação de água e a temperatura das águas recirculantes, foram mantidas constantes em $1,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (escoamento turbulento) e 40°C , respectivamente. No momento das purgas diárias, fixadas em $14,6 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$, cada sistema recebeu o mesmo volume em água sintética. Diesel de destilação (4 mL) foi adicionado aos sistemas, como fonte de carbono orgânico, para simular contaminações orgânicas por eventuais vazamentos de óleos em trocadores de calor.

As concentrações residuais de cloro livre empregadas no estudo foram de $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, e do H_2O_2 de $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $4,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e $6,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Dispersantes de sais e inibidores de corrosão comerciais foram adicionados aos sistemas mantendo-se concentrações residuais de produtos ativos em $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de sais de fosfato, $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de sais de zinco e $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de ativo de dispersante em cada sistema.

Em cada sistema de resfriamento foram instaladas três árvores de testes, composta por: um suporte para colocação dos cupons de biocorrosão (biocupons) e três suportes para cupons de perda de massa (cupons de corrosão) (Figura 1).

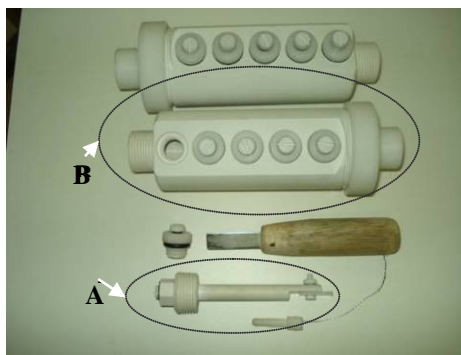


Figura 1 – Suportes para colocação de cupons de corrosão (A) e biocupons (B).

Para a avaliação das taxas de corrosão e de crescimento microbiológico, cada árvore recebeu cupons de prova de corrosão de diferente material metálico (aço carbono - AISI 1020 (AC), cobre - CDA110 (Cu) e aço inox - AISI 316 (AI)). Para tanto, foram feitas medidas de perda de massa para cálculos de taxas de corrosão. A confecção dos cupons de prova metálicos e as taxas de corrosão obtidas foram baseadas na norma ASTM D2688-05 e no método de perda de massa, descrito na norma do APHA.

A contagem de bactérias heterotróficas totais, planctônicas e sésseis, foi realizada em duplicata após inoculação de 1mL de cada amostra em Petrifilm (MERCK), e incubação por 48 horas em estufa a 37°C , no 31º dia de operação. O desprendimento das bactérias sésseis aderidas à superfície de cada biocupom foi promovido por ultrassom (3 pulsos de 1 min, a 60 Hertz) em solução salina a 1% (v/v), e o resultado das contagens de BHT foram expressos por cm^2 de área metálica exposta para cada biocupons utilizado.

A Figura 2 mostra o esquema de um dos sistemas de resfriamento piloto construído para os estudos, sendo a árvores de teste A, B e C compostas pelos cupons de aço carbono, cobre e aço inox, respectivamente.

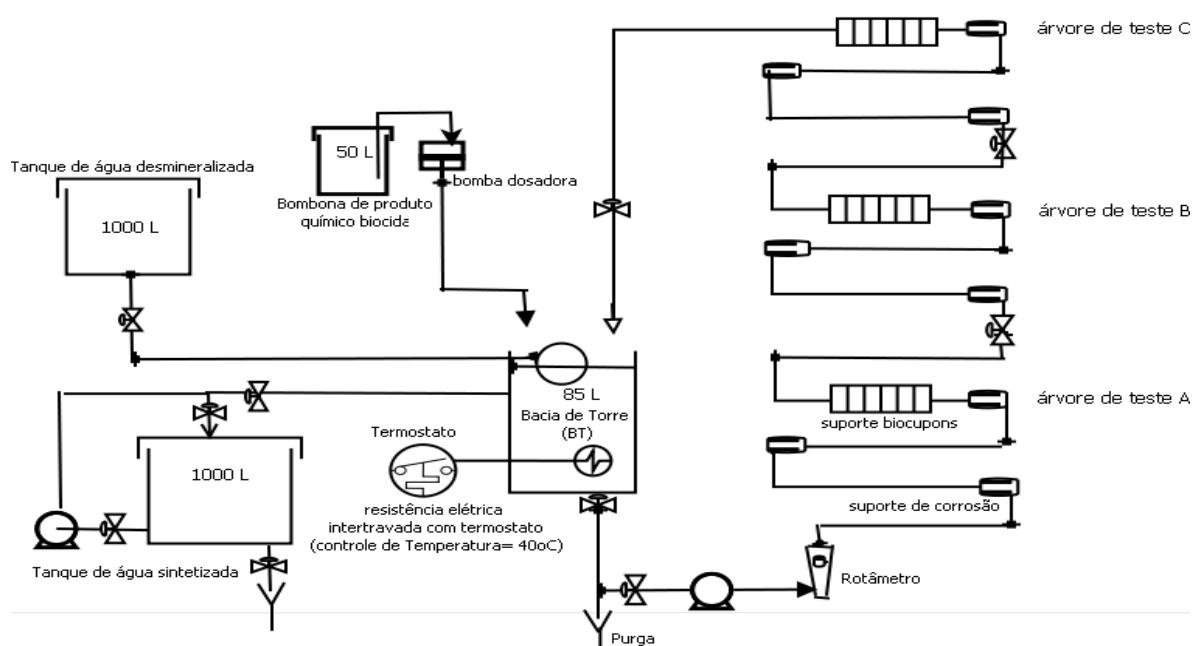


Figura 2 – Esquema de um dos sistemas de resfriamento piloto montados para os estudos, composto por uma bacia de torre e três árvores de testes, sendo cada árvore composta por três suportes para a instalação de cupons de corrosão, e um suporte para a instalação dos cupons de biocorrosão (biocupons).

Ensaios posteriores complementares para a identificação da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* foram realizados, utilizando-se tubos contendo meio asparagina e incubada em estufa a $35 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Os tubos turvados, considerados positivos, foram transferidos uma alíquota do meio de asparagina para o meio de acetamida, para a confirmação, e após a inoculação, incubados em estufa a $35 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, durante o período de 48 horas. Procedeu-se em seguida ensaios para prova bioquímica da catalase.

RESULTADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os resultados experimentais obtidos através destes estudos avaliando-se: Taxas de corrosão médias para cupons de AC, Cu e AI (Tabela 2); Quantificação de bactérias heterotróficas totais (BHT) planctônicas (Figura 3), presentes nas águas recirculantes dos sistemas, e sésseis (Figura 4), formadas em superfícies de biocupons nas mesmas metalurgias dos cupons de avaliação de taxas de corrosão, para as diferentes concentrações de biocidas mantidos nos sistemas.

Tabela 2 – Taxas de corrosão médias obtidas para os sistemas de resfriamento piloto, mantendo-se concentrações residuais de $0,2 \text{ mg. L}^{-1}$, $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$ e 0 mg. L^{-1} de cloro livre, e $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$ e $2,0 \text{ mg. L}^{-1}$ de H_2O_2 , na presença de inibidores, em 31 dias de experimentos submetidos a cada condição.

Produto/ Metalurgia	TAXAS DE CORROSÃO (mpy)					Limites (mpy)*
	Cloro Residual Livre $0,2 \text{ mg. L}^{-1}$	Cloro Residual Livre $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$	Cloro Residual Livre $0,0 \text{ mg. L}^{-1}$	H_2O_2 Residual $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$	H_2O_2 Residual $2,0 \text{ mg. L}^{-1}$	
AÇO CARBONO 1020	$2,09 \pm 0,05$	$2,61 \pm 0,54$	$2,08 \pm 0,67$	$1,80 \pm 0,12$	$1,73 \pm 0,23$	< 3,0
COBRE	$0,22 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,10$	$0,21 \pm 0,02$	$0,18 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,01$	< 0,3
AÇO INOX 316	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,003 \pm 0,002$	$0,008 \pm 0,007$	< 0,1

(*) Limites estabelecidos para águas de resfriamento.

Mesmo com a substituição da qualidade de água de reposição por água de reúso, observa-se pelos resultados da Tabela 2, que taxas de corrosão inferiores aos limites estabelecidos para águas de resfriamento foram obtidas, sendo estas classificadas como “excelente” (Dantas, 1988) para os todos os materiais metálicos estudados.

Na quantificação de BHT plactônicas, a Figura 3 mostra os resultados obtidos para os sistemas mantidos com cloro livre residual (0, 0,2 e 0,5 mg. L⁻¹) e a Figura 4, os resultados obtidos para aqueles que mantiveram residuais de peróxido de hidrogênio (0, 0,5 e 2,0 mg. L⁻¹).

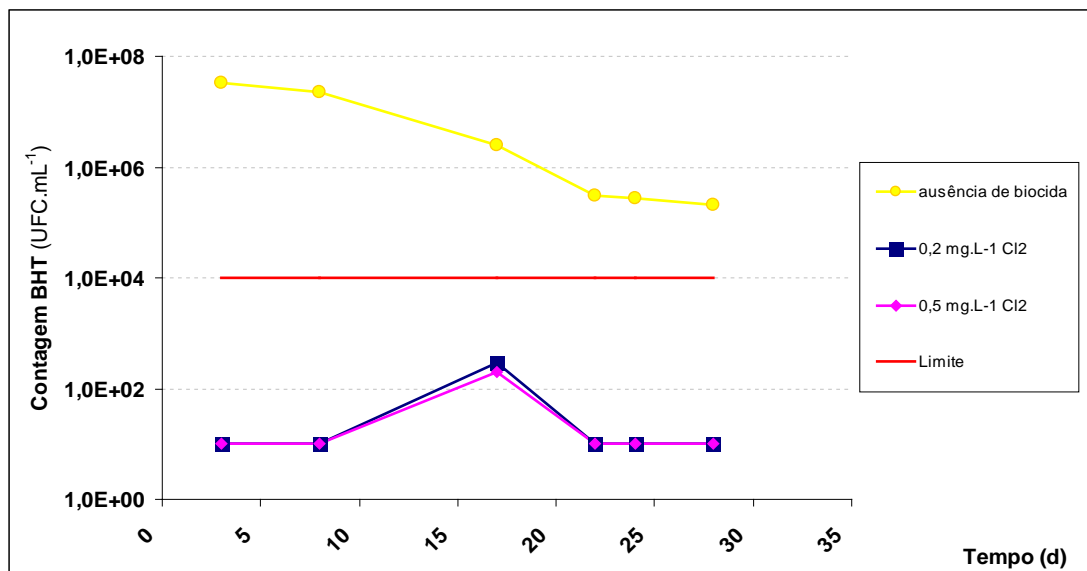


Figura 3 – Contagem de bactérias heterotróficas totais para os sistemas mantidos com residuais de cloro livre em 0, 0,2 e 0,5 mg. L⁻¹, ao longo dos estudos.

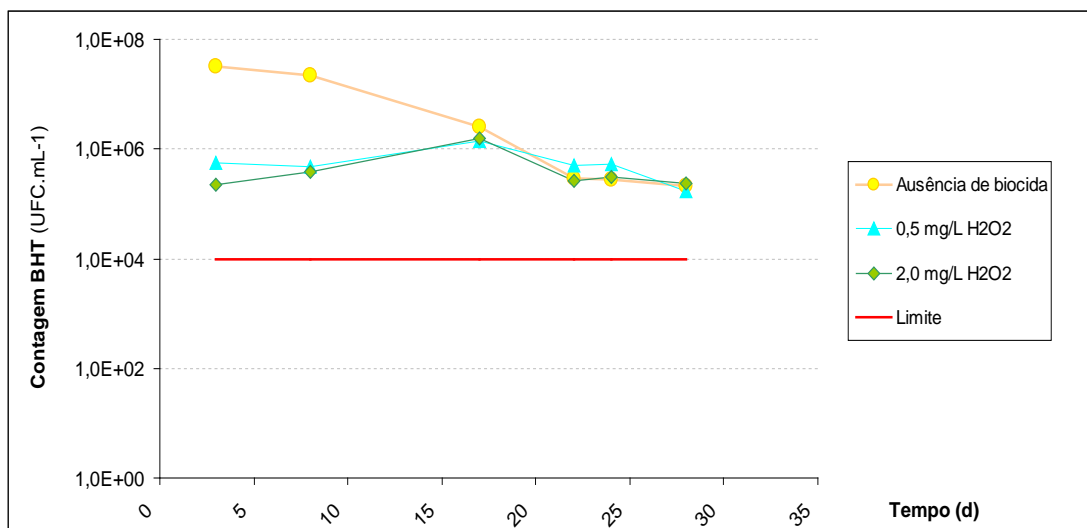


Figura 4 – Contagem de bactérias heterotróficas totais para os sistemas mantidos com residuais de 0, 0,5 e 2,0 mg. L⁻¹ de peróxido de hidrogênio, ao longo dos estudos.

Os sistemas mantidos com cloro residual livre em 0,2 e 0,5 mg.L⁻¹ apresentaram contagens de BHT inferiores ao limite de 10⁴ UFC.mL⁻¹ estabelecido como máximo por empresas tratadoras da área (Figura 3). Entretanto, os sistemas que foram mantidos com residuais de 0,5 e 2,0 mg.L⁻¹ de peróxido de hidrogênio apresentaram concentrações de BHT superiores ao limite de 10⁴ UFC.mL⁻¹ (Figura 4), indicando a baixa efetividade biocida do H₂O₂ na faixa de concentrações residuais estudadas de 0,5 e 2,0 mg.L⁻¹.

Os resultados da quantificação de BHT para as bactérias sésseis aderidas aos biocupons de aço carbono (AC), cobre (Cu) e aço inox (AI) após 31 dias, tanto para os sistemas mantidos com residuais de cloro livre (0,2 e 0,5 mg.L⁻¹) quanto para os mantidos com residuais de peróxido de hidrogênio (0,5 e 2,0 mg.L⁻¹), encontram-se nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

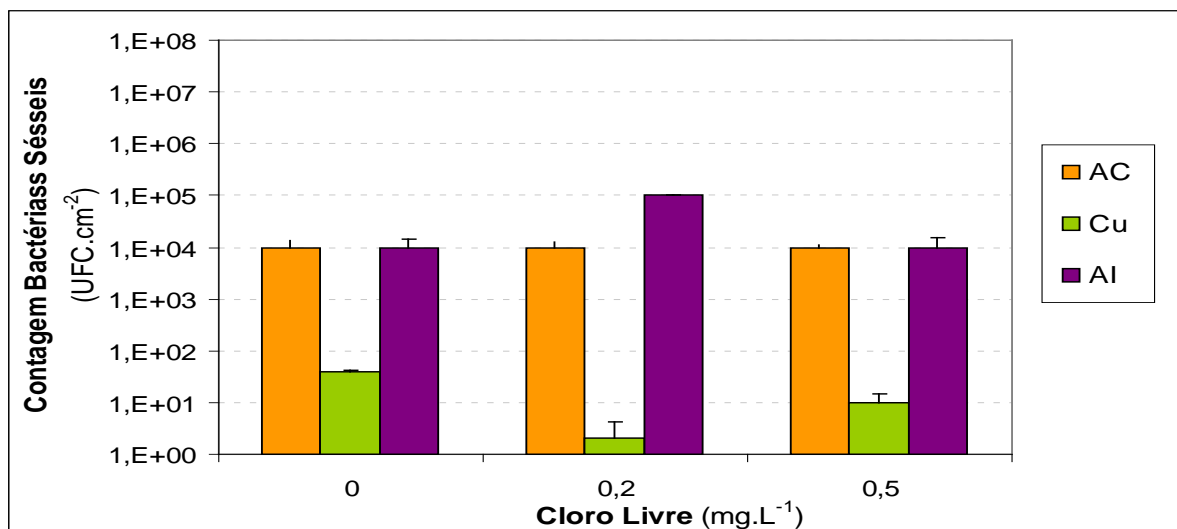


Figura 5 – Contagem de bactérias heterotróficas totais para o sistema “branco” (ausência de biocida) e os sistemas mantidos com residuais de cloro livre em 0,2 e 0,5 mg.L⁻¹, em 31 dias dos experimentos.

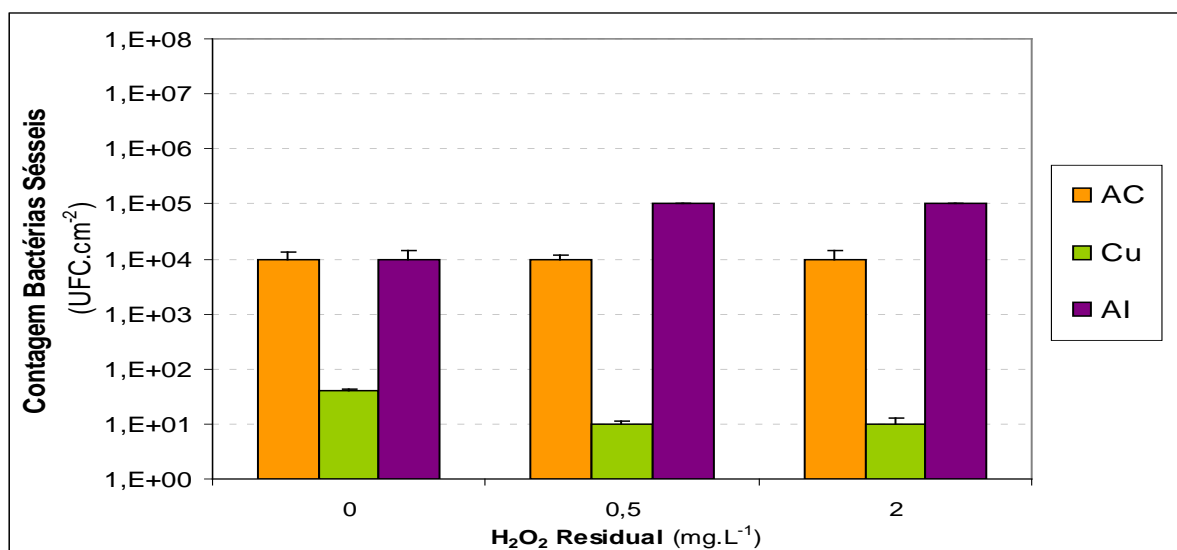


Figura 6 – Contagem de bactérias heterotróficas totais para o sistema “branco” (ausência de biocida) e para os sistemas mantidos com residuais de peróxido de hidrogênio em 0,5 e 2,0 mg.L⁻¹, em 31 dias dos experimentos.

Observa-se na Figura 5 e Figura 6 que, para ambos os biocidas empregados, independentemente da concentração residual mantida nos sistemas, a contagem de BHT sésseis em 31 dias de experimentos, para os biocupons em AC, foi igual a 10⁴ UFC.mL⁻¹.

Para os biocupons de cobre, observou-se a tendência à queda nas contagens de BHT, atribuída, principalmente, ao efeito biocida e tóxico promovido pelo contato deste metal com os microorganismos presentes nos biofilmes formados.

Tendência à aglomeração microbiológica sobre os biocupons em AI foi observada para ambos os biocidas avaliados, independentemente da concentração residual empregada, através dos resultados obtidos para as contagens de BHT sésseis nas superfícies dos biocupons deste metal.

ENSAIOS POSTERIORES

A presença de *Pseudomonas aeruginosa*, seguida de prova da catalase, foi comprovada através de análises em estudos posteriores conduzidos com concentrações residuais de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de H_2O_2 .

Além da quantificação de BHT sésseis nas diferentes metalurgias de biocupons, a média dos resultados obtidos na quantificação de *Pseudomonas aeruginosa* pelo método de Agar cetrimida, para os biocupons em AC, Cu e AI, nos sistemas mantidos a 40°C com residuais de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de H_2O_2 , em 30 dias de ensaios, também encontram-se na Figura 7.

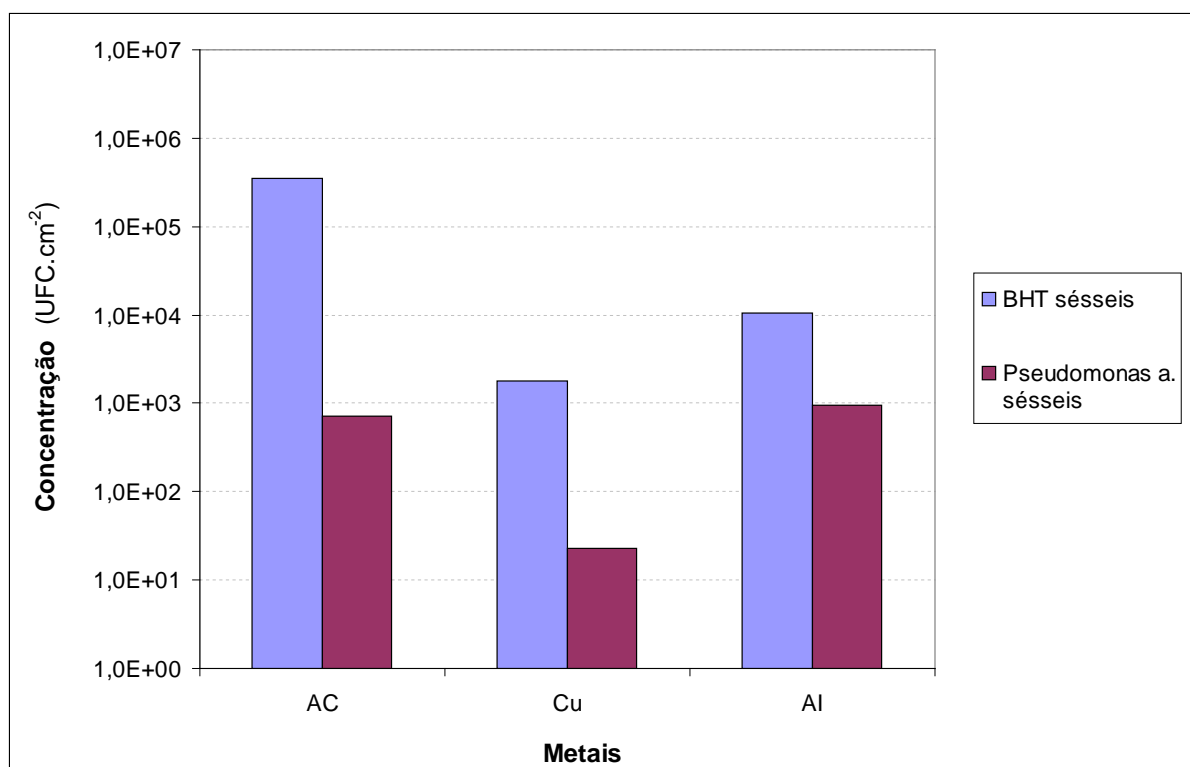


Figura 7 – Média dos resultados obtidos na quantificação de *Pseudomonas aeruginosa* (método Agar cetrimida) para os biocupons em AC, Cu e AI nos sistemas mantidos a 40°C , com residuais de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de H_2O_2 , em 30 dias de ensaios.

Observa-se pelos resultados das concentrações de *Pseudomonas aeruginosa* nos biofilmes formados sobre as superfícies de AC, Cu e AI (Figura 7) que, mesmo tendo sido mantida concentrações residuais de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de H_2O_2 , tais organismos desenvolveram resistência a este oxidante, mantendo contagens na ordem de 10^3 (para AC e AI) e 10^1 (Cobre).

Visando avaliar a sensibilidade dos micro-organismos presentes nas águas recirculantes na presença de H_2O_2 , foram tomadas alíquotas de amostras do sistema “controle” (0 mg.L^{-1} de H_2O_2), sendo estas posteriormente inoculadas na presença de concentrações crescentes de peróxido de hidrogênio. Os resultados obtidos na quantificação de BHT em função da concentração de H_2O_2 adicionada encontram-se dispostos de forma gráfica na Figura 8 e Figura 9.

O resultado gráfico para a concentração adicionada de 70 mg.L^{-1} de H_2O_2 não se encontra nas Figuras 8 e 9, uma vez que para tal concentração a contagem foi nula.

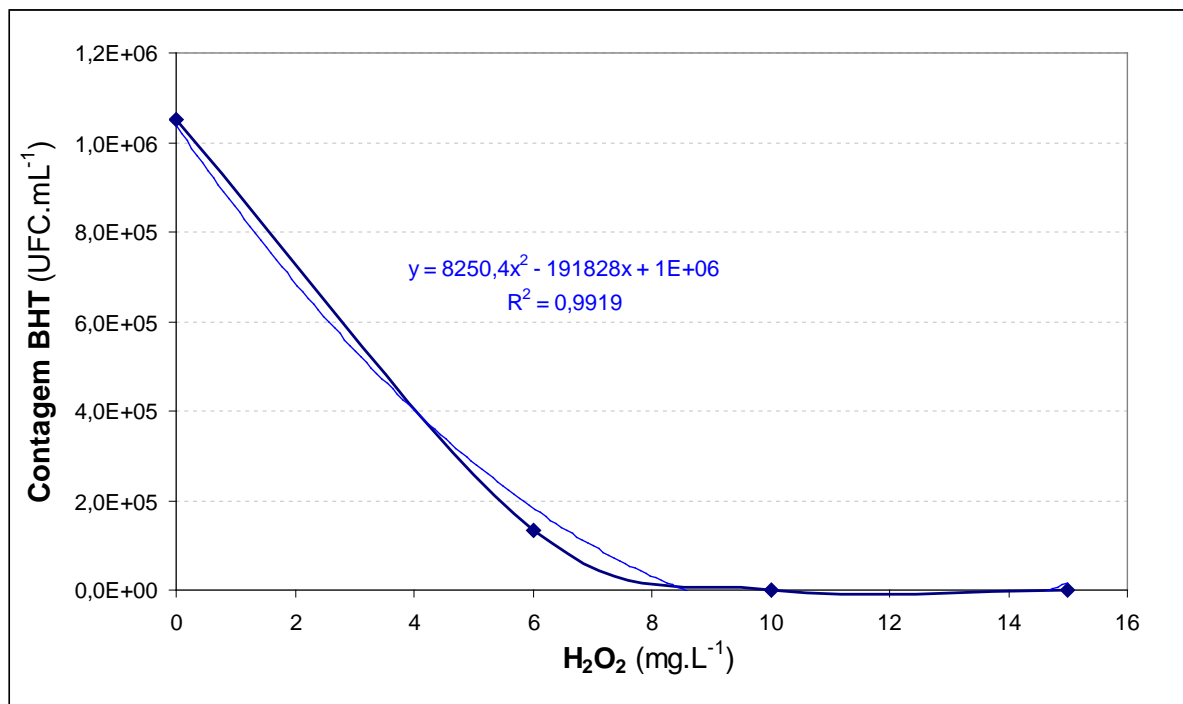


Figura 8 – Resultados da quantificação de BHT em função da concentração de H₂O₂ adicionada, para amostras do sistema “controle” (0 mg. L⁻¹ de H₂O₂) durante os experimentos posteriores.

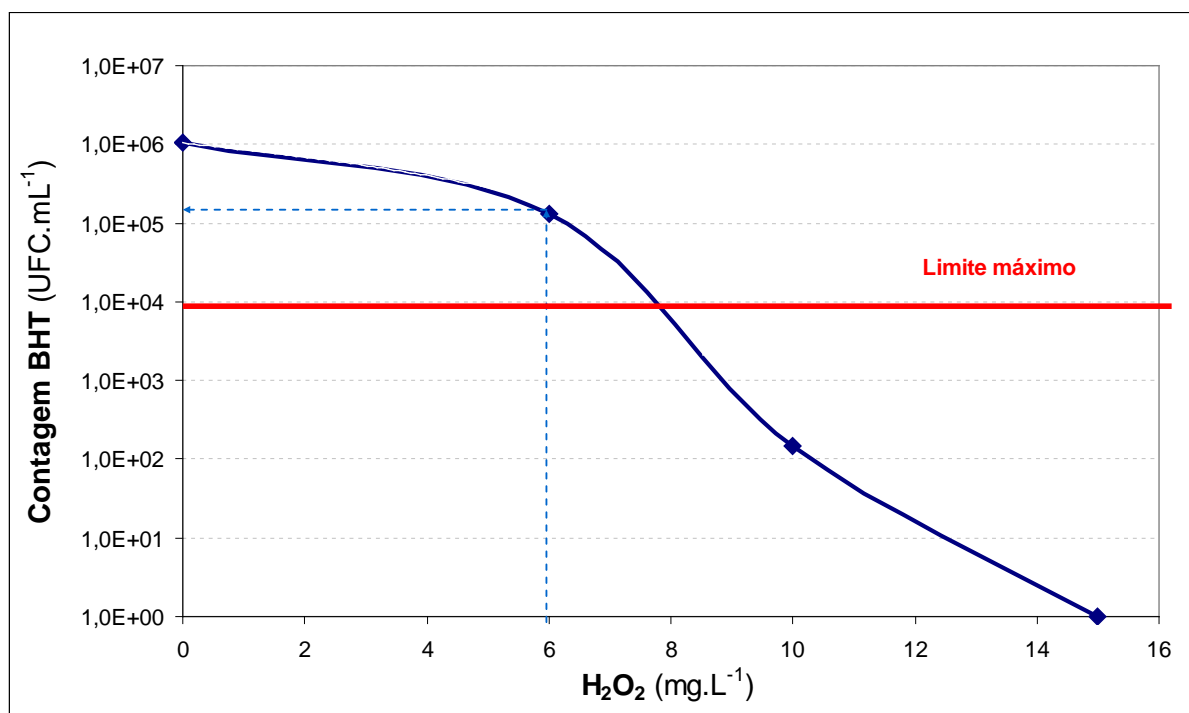


Figura 9 – Log dos resultados da quantificação de BHT em função da concentração de H₂O₂ adicionada, para amostras do sistema “controle” (0 mg.L⁻¹ de H₂O₂) durante os experimentos posteriores. Limite máximo para contagem de BHT plancônicas em águas de resfriamento.

Observa-se na Figura 8 e Figura 9, que para a concentração aplicada de 6,0 mg.L⁻¹ de H₂O₂, os resultados obtidos para contagens de BHT foram muito próximos do limite máximo de 10⁴ UFC.mL⁻¹ estipulados pelas

tratadoras para águas recirculantes em torres de resfriamento. Tal fato pode sugerir, que a manutenção de concentrações de peróxido de hidrogênio entre 6 e 10 mg.L⁻¹, em águas de resfriamento tratadas com inibidores, possa controlar a concentração de BHT abaixo dos limites máximos estipulados.

A detecção de *Pseudomonas aeruginosa* ao longo dos estudos mantendo-se 6,0 mg.L⁻¹ de H₂O₂, tanto na população planctônica (Figura 10) quanto na séssil (Figura 7), pode indicar que a produção da enzima catalase, liberada para o meio líquido, pode ter sido superada pela ação biocida exercida pelo peróxido de hidrogênio quando este foi mantido nesta concentração.



Figura 10 – Colônias de *Pseudomonas aeruginosa*, obtidas a partir de águas recirculantes dos ensaios posteriores conduzidos com 6,0 mg.L⁻¹ de H₂O₂.

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Para ambos os biocidas testados, medidas de perda de massa em cupons de aço carbono AISI 1020 (AC), cobre CDA 110 e aço inox AISI316 (AI), revelaram taxas de corrosão, na presença de produtos inibidores de corrosão e dispersantes, semelhantes àquelas obtidas quando água de reposição clarificada e filtrada é utilizada na reposição de sistemas de resfriamento.

O monitoramento da contagem de bactérias planctônicas (BHT) nas águas recirculantes mantidas com cloro (até 0,5 mg.L⁻¹), revelou valores abaixo do limite de 10⁴ UFC.mL⁻¹, recomendado por empresas tratadoras para águas de resfriamento. Entretanto, para as concentrações de peróxido de hidrogênio avaliadas (até 2 mg.L⁻¹), valores superiores a tal limite foram observados.

Experimentos adicionais permitiram inferir, que a manutenção de concentrações de peróxido de hidrogênio entre 6 e 10 mg.L⁻¹, em águas de resfriamento tratadas com inibidores, possa controlar a concentração de BHT abaixo dos limites máximos estipulados.

O monitoramento da contagem de bactérias sésseis sobre biocupons metálicos, após 31 dias de estudo e independentemente da concentração residual mantida para ambos os biocidas, indicou taxas de crescimento microbiano semelhantes para o AC, decrescentes para o cobre e crescentes para o AI.

Nas concentrações estudadas os biocidas estudados apresentaram taxas de corrosão e atuação sobre o controle da formação de biofilmes semelhantes.

O efeito degradante da presença de catalase sobre o peróxido de hidrogênio pode ter contribuído para a baixa eficiência biocida apresentada pelo peróxido de hidrogênio nas concentrações residuais estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AWWA – WEF, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 20th ed. Washington: American Public Health Association, 2000.
2. DANTAS, E. V., Tratamento de água de Refrigeração e Caldeira, José Olympio Editora S.A., 370 p, 1988.
3. ELKINS, J. G.; HASSET, D. J.; STEWART, P. S. et al. Protective Role of Catalase in *Pseudomonas aeruginosa* Biofilm Resistance to Hydrogen Peroxide. In: *Applied and Environmental Microbiology*. v. 65, n. 10, 4594 – 4600, 1999.
4. FREDERICK, J. R.; ELKINS, J. G.; BOLLINGER, N. et al. Factors Affecting Catalase Expression in *Pseudomonas aeruginosa*. In: *Applied and Environmental Microbiology*. v.67. n. 3, 1375 – 1379, 2001.
5. KURITA do BRASIL, Proposta Técnica-Comercial – Reúso de águas – Tratamento de Água no Sistema de Refrigeração U223 – Coque – Refinaria Gabriel Passos – REGAP, Betim, MG, 2009.
6. NALCO, Latin American Water Treatment Technology Seminar, Naperville, Illinois, EUA, 2009.
7. PERES, F. A. S. Tratamento de Águas de Resfriamento com Peróxido de Hidrogênio. Tese (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia). PUC-Rio, 94 p, 2006.
8. VEIGA, A. A., Estudo do Efeito Biocida do Cloro e do Peróxido de Hidrogênio em Sistemas de Resfriamento com Reúso de Efluente como Água de Reposição. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química. UFRJ. RJ, 286 p, 2010.
9. WAGNER, M.; BRUMELIS, D.; GEHR, R. Disinfection of Wastewater by Hydrogen Peroxide or Peracetic Acid: Development off Procedures for Measurement of Residual Disinfectant and Application to a Physicochemically Treated Municipal Effluent. *Water Environ Research*. n. 1, V. 74, 19 p, 2002.