

CORROSÃO MICROBIOLÓGICA EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO SEMI-ABERTO

PAPER 05

RESUMO

O controle da corrosão e dos depósitos inorgânicos foi o objetivo principal dos tratamentos de água industrial até a última década. Atualmente, reconhece-se os problemas dos processos de biodeterioração (o *biofouling* e a corrosão microbiológica) nos circuitos industriais, e o controle dos depósitos de ordem biológica e seus efeitos negativos passou a integrar de forma consistente os objetivos do tratamento de águas.

Este trabalho apresenta uma revisão atualizada da identificação, monitoramento, controle e prevenção dos processos de corrosão microbiológica.

Baseado na caracterização dos microorganismos (metabolismo, estrutura e efeitos) vários tipos de tratamentos químicos preventivos contra a proliferação microbiológica em sistemas de resfriamento semi-abertos são tratados neste trabalho, bem como as vantagens e economias que envolvem as mais desenvolvidas tecnologias em biocidas.

Desta forma, através do trabalho conceituado de empresas especializadas em tratamento de águas, as perdas econômicas que atingem as atividades industriais que necessitam de troca de calor, através sistemas de resfriamento, podem ser avaliadas, quantificadas e minimizadas, além de otimizar o tempo de vida útil de equipamentos.

Palavras- Chave: Microorganismos.Fouling.Microbicidas.Corrosão

ABSTRACT

The control of corrosion and inorganic deposits was the main objective of industrial water treatments for the last decade. Currently, the problems of biodeterioration processes (biofouling and microbiological corrosion) in industrial circuits are recognized, and the control of biological deposits and their negative effects has started to consistently integrate the objectives of water treatment.

This work presents an updated review of the identification, monitoring, control, and prevention of microbiological corrosion processes.

Based on the characterization of microorganisms (metabolism, structure, and effects), various types of preventive chemical treatments against microbiological proliferation in semi-open cooling systems are presented in this paper, as well as the advantages and savings that involve the most developed biocide technologies.

In this way, through the renowned work of companies specialized in water treatment, the economic losses that affect industrial activities that require heat exchange, through cooling systems, can be evaluated, quantified, and minimized, in addition to optimizing the life equipment life cycle.

Keywords: Microorganisms.Fouling.Biocids.Corrosion

1 INTRODUÇÃO

Em atividades industriais, a água é considerada matéria-prima básica. Devido à sua importância, é fundamental que se tenha conhecimentos teórico e prático quanto à utilização de água em sistemas de resfriamento. Isto porque a água utilizada como fluido de troca térmica, apresenta vários inconvenientes, como deposições orgânicas e inorgânicas, corrosão e por consequência, perda de carga térmica.

Atualmente, milhões de dólares são gastos por ano com prejuízos que tangenciam tratamentos corretivos e/ou tratamentos preventivos mal dimensionados ou gerenciados. O maior responsável, entre todos os possíveis inconvenientes, é o processo de corrosão microbológica, gerado pela proliferação descontrolada de microrganismos.

A fim de proporcionar um embasamento eficaz no controle, monitoramento e dimensionamento de programas de tratamento químico preventivo, para combater a corrosão por microrganismos em sistemas de resfriamento semi-aberto, é necessário entender o que é, e como funcionam tais sistemas, principalmente as características que envolvem o processo de troca térmica propriamente dito, e de forma geral, os vários tipos de processos corrosivos.

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.

A deterioração causada pela interação de microrganismos entre o material (sistema de resfriamento) e o seu meio operacional (água) representa alterações prejudiciais desagradáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, aumentando significativamente a depreciação de equipamentos. Tal deterioração, normalmente é caracterizada pela corrosão galvânica, eletrolítica ou por aeração diferencial.

Tópicos como os principais microrganismos que causam deposições orgânicas e as formas mais eficazes de biocidas são abordados, de forma a apresentar o que existe de mais moderno em tecnologia de controle microbiológico.

Com base em casos reais, é possível qualificar os processos corrosivos por ação microbiológica, dimensionar um programa de tratamento químico preventivo, bem como quantificar perdas e ganhos econômicos relacionados aos sistemas de resfriamento semi-abertos, com ênfase em *chillers* (trocadores de calor).

2 FAULING

Fouling pode ser definido como acúmulo de material indesejável depositado na superfície de transferência de calor. O *Fouling Biológico* é constituído de gêneros de algas, fungos e bactérias sésseis, capazes de formar limo, material gelatinoso que adere às superfícies metálicas (DANTAS, 1988).

Com a finalidade de se obter a máxima eficiência nesta troca térmica, especificações corretas deverão ser feitas na base de projeto, tais como: área do trocador, velocidade e sentido dos fluxos, temperatura de água de refrigeração, metal utilizado nos tubos, disposição dos tubos e previsão de *fouling* dos fluídos utilizados. O uso do fator *fouling* ou fator de limpeza pode na realidade ser essencial para o controle de tratamento de água durante a operação, a fim de se atingir o máximo de eficiência do equipamento.

3 PRINCIPAIS PROCESSOS CORROSIVOS EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO COM RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Estes sistemas apresentam problemas como corrosão, deposição, incrustação, *fouling* e crescimento microbiológico.

Embora muitos destes problemas são decorrentes uns dos outros, a abordagem do tema terá ênfase apenas nos que são induzidos por microrganismos. Entre os diversos tipos de corrosão provenientes da proliferação microbiológica, os mais comuns são através de aeração diferencial e ácido sulfídrico. A denominação **corrosão microbiológica**, empregada para expressar a participação dos microrganismos nos fenômenos de corrosão, pode induzir a pensar em um novo tipo de processo.

4 CORROSÃO INDUZIDA POR MICROORGANISMOS (MIC)

Na maioria dos processos corrosivos em metais, onde os microrganismos são os agentes causadores, são denominados de corrosão induzida por microrganismos, corrosão microbiológica, biodeterioração ou biocorrosão. Estes processos podem ser aeróbicos ou anaeróbicos.

4.1 FORMAÇÃO DO BIOFILME

Os seres planctônicos e os seres sésseis são os microrganismos que permanecem aderidos a um substrato.

Os microrganismos sésseis nunca se fixam a uma superfície nua, de um substrato, e sim, a um exopolímero.

Em meio aquoso, existem os seres planctônicos, microrganismos que flutuam livremente, formando uma fina camada de matéria orgânica, denominada de filme condicionador. As bactérias planctônicas flutuando na massa d'água, iniciam a colonização da superfície de um substrato, excretando exopolímero que aprisionam as células, iniciando então uma vida sésil.

Inicialmente, o biofilme é composto de espécies microbianas precursoras, distribuídas como células isoladas, de maneira heterogênea, sobre a superfície. Após alguns minutos, determinadas espécies produzem um exopolímero fortemente adesivo, glicocalix, que encapsula as células e as mantém aderidas a um substrato. O glicocalix restringe a disseminação das células microbianas em reprodução, na superfície dos substratos. Neste estágio de desenvolvimento, a espessura do biofilme é menor que 10 µm e se apresenta como matrizes descontínuas, de células e exopolímeros. Quando diferentes espécies de bactérias sésseis continuam a reproduzir-se e excretar mais exopolímeros, o biofilme aumenta sua espessura sobre a superfície do substrato.

Ao longo do tempo, bactérias planctônicas e material particulado tornam-se envolvido no biofilme, contribuindo para o crescimento da comunidade e aumento da sua complexidade, neste estágio, o biofilme maduro torna-se visível a olho nu.

Os principais microorganismos formadores de biofilme são as algas (filamentosas azul esverdeadas, verdes – *Chlorophyta*, capsuladas – *Anacystis*); fungos (*Aspergillus* e *Cladosporium*) e as bactérias (*Pseudomonas*; *Aerobacter*; *Flavo Bacterium*; *Gallionella*; *Sphaerotilus*).

4.2 PILHAS DE AERAÇÃO DIFERENCIAL

Uma das formas de corrosão mais frequentes, aproximadamente 70% dos casos, é a originada pela existência de variações na concentração de oxigênio ou de íons na superfície metálica que ocasiona correntes localizadas. Se um microrganismo se encontra nas vizinhanças de uma tubulação, cria-se uma célula de aeração diferencial entre as partes da estrutura em que o oxigênio é consumido pelas bactérias e aquelas em que a concentração de oxigênio não foi modificada. As zonas de oxigênio comportam-se anodicamente a respeito das restantes e são centros potenciais de ataque do metal.

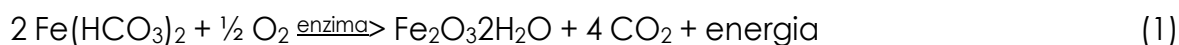
Uma das formas de corrosão mais frequentes associada a este tipo de mecanismo é a que corresponde à formação de tubérculos no interior da tubulação de água. São responsáveis pela mesma, os microrganismos oxidantes do ferro do tipo de bactérias do gênero *Gallionella* que oxidam o

íon ferroso em solução a íon férrico, ocasionando a precipitação de hidróxido férrico que forma excrescências no interior da tubulação, conhecidos como tubérculos (VIDELA, 1993, p.29).

O principal agente causador destas pilhas é a deposição de matéria orgânica na superfície metálica, na forma de biofilme. Além do biofilme, a poeira do meio ambiente, os sólidos em suspensão na água de alimentação e a lama de fosfato de cálcio são também causadores deste tipo de corrosão. Após formadas, o seu crescimento independe das concentrações de inibidores de corrosão existentes na água de refrigeração, o que evidencia a gravidade da sua presença para os metais dos sistemas.

4.3 BACTÉRIAS OXIDANTES DE FERRO E MANGANES

As bactérias mais comuns são *Leptothrix*, *Gallionella* e *Siderocapsa*. Por intermédio de enzimas, elas catalisam a reação de transformação de ferro solúvel, existente na água, para ferro insolúvel, de onde retiram a energia necessária para o seu crescimento de acordo com a reação:



4.3.1 MECANISMO

As bactérias oxidantes de ferro e manganês oxidam ferro ferroso a férrico, depositando hidróxido férrico, por meio de enzimas.

Desenvolvem-se em meio aeróbico e são do gênero *Talófitas*, *Gallionella* e *Siderophacus Filamentosa*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix* e *Crenothrix*.

4.4 CICLO DO ENXOFRE

O gás sulfídrico poderá estar presente no meio ambiente e na torre de resfriamento, ele é absorvido pela água, passando a ácido sulfídrico. Este ácido é extremamente reativo, atacando todos os metais utilizados em sistemas de refrigeração, com a formação dos seus sulfetos metálicos.

Dentro do grupo de bactérias relacionadas com o enxofre temos as bactérias oxidantes (aeróbicas) e as redutoras (anaeróbicas).

4.4.1 BACTÉRIAS OXIDANTES DE ENXOFRE

Um grupo de bactérias do gênero *Thiobacillus* oxida enxofre, ou os compostos de enxofre, a sulfato, com a simultânea produção de ácido sulfúrico que funciona como agente corrosivo. Algumas bactérias metabolizam sulfetos solúveis, se a concentração de H₂S livre estiver abaixo de 200 ppm, e estão

frequentemente associados a microrganismos que convertem sulfatos (SO_4^{2-}) para sulfetos (S^{2-}) e sulfetos para enxofre. As três espécies de bactérias mais envolvidas nos processos de corrosão são *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorus*. Essas bactérias são aeróbias.

A temperatura ótima para crescimento dessas bactérias está na faixa de 25-30°C, e elas não sobrevivem na faixa de 55-60°C. Seus processos metabólicos ocasionam, em alguns casos, valores de pH em torno de 2, podendo alcançar valores ainda menores.

O gás sulfídrico é oxidado, pelas bactérias, para ácido sulfúrico, que ocasiona então a corrosão do aço ou do concreto. O tubérculo formado mantém no seu interior uma área oca não aerada ou pouco aerada que propicia o crescimento de bactérias redutoras de sulfato. O gás sulfídrico formado como produto de seu metabolismo, será responsável pelo aparecimento de agulhas ou nódulos de sulfeto de ferro, originando uma pilha galvânica, com o aparecimento de corrosão localizada (GENTIL,2003,p.97).

4.5 BACTÉRIAS DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é de grande importância para o desenvolvimento de microrganismos, pois é utilizado como fonte de energia por muitos deles. O processo de oxidação de Nitrito a Nitrato é denominado nitrificação, sendo que a principal espécie de microrganismos, por ele responsável, é *Nitrobacter winogradsky*, que utiliza o nitrito como fonte de energia, conforme a reação:



Estas bactérias interferem no tratamento de água de refrigeração à base de nitrito. Já a desnitrificação envolve a redução de nitrato a nitrito, óxidos de nitrogênio e amônia. Entre os microrganismos responsáveis por esta fase temos o *Thiobacillus desnitificans*.

4.6 PROCESSOS ANAERÓBICOS DE CORROSÃO

4.6.1 CORROSÃO PELAS BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO

Este grupo de bactérias, extremamente danosas a diferentes materiais metálicos, compreende diferentes gêneros, sendo o de maior interesse em água de refrigeração o *Desulfovibrio*.

Todas as bactérias redutoras de sulfato são anaeróbicas e na sua maioria necessitam uma completa ausência de oxigênio e um meio restrito, para o seu completo desenvolvimento. Todavia, elas podem circular em águas aeradas, provavelmente no estado de dormência, mesmo em águas

cloradas, até acharem o local adequado para seu desenvolvimento. *Desulfotomonas acetoxidans* são responsáveis pela redução do S⁰ para S²⁻, são chamadas geradoras de sulfeto ou sulfidogênicas.

Na corrosão eletroquímica do ferro e do aço, um filme de hidrogênio se forma sobre a área catódica do metal, que se torna polarizado. Sob condições aeróbicas, este hidrogênio reage com o oxigênio dissolvido na água, despolarizando a pilha formada. A energia desprendida da oxidação catódica do hidrogênio é a fonte de energia para o crescimento da bactéria.

4.7 CORROSÃO POR AÇÃO CONJUNTA DE BACTÉRIAS

Este tipo de processo corrosivo ocorre pela ação simultânea de bactérias. Devido à ação das bactérias redutoras de sulfato, forma-se o H₂S, que é oxidado para H₂SO₄ pela espécie *Thiobacillus thiooxidans*. O sulfeto formado pelas bactérias redutoras de sulfato é oxidado por certas bactérias, inclusive *Thiobacilli*, para enxofre elementar que é substância muito corrosiva para materiais ferrosos. A oxidação de enxofre elementar (de origem química ou biológica) provocada simultaneamente por *Thiobacilli* e *Ferrobacilli*, produz mais ácido e, evidentemente, corrosão mais rápida;

5 FOULING

Fouling é uma aglomeração de materiais, onde o ligante normalmente é a biomassa e, em outros casos, óleo mineral ou fluídos de processo, e o material aglutinado sólidos suspensos, tais como *silt*, poeira, lama produtos de corrosão e outros precipitados inorgânicos, tais como os de polifosfatos hidrolisados. Portanto, a presença de microrganismos em águas de sistemas de refrigeração, pode causar consequências graves como: bloqueio de tubulações, redução no coeficiente de troca térmica, aumento na perda de carga térmica, corrosão induzida por microrganismos, corrosão sob depósitos – aeração diferencial, formação de tubérculos – magnetita e goetita, perfuração da tubulação sob os tubérculos, meio anaeróbico sob o biofilme formado.

5.1 ALGAS

São seres vivos fotossintéticos, unicelulares ou pluricelulares, geralmente aquáticos ou crescendo em locais úmidos. Crescem preferencialmente num meio aquoso, onde os valores de pH oscilam entre 4,5 e 9,3 e nas temperaturas numa faixa de 15 a 60°C, desenvolvendo-se em águas do mar, salobras e doces.

Em sistemas de refrigeração as mais encontradas são as cianofíceas, as clorofíceas e as diatomáceas, cujos principais efeitos em água de refrigeração são deposições na bacia de distribuição, bloqueando a passagem de água, cortinas das variedades filamentosas sobre as venezianas,

bloqueando a passagem de ar.

5.1.1 FUNGOS

Os fungos são talófitos sem clorofila, que se reproduzem por esporos. Eles vivem na água, nos solos e sobre substratos sólidos, tais como madeira, couro, plástico, entre outros. Eles são imóveis, porém seus esporos são levados com o vento para locais distantes, contaminando muitos sistemas que utilizam torres de refrigeração.

5.2 BACTÉRIAS

Bactérias são organismos microscópicos, procariotas, não possuindo membrana nuclear. A respeito deste fato, elas se reproduzem por divisão binária, elaboram seus alimentos por sínteses químicas e, em alguns casos, por fotossíntese.

As bactérias possuem as seguintes características: esféricas (cocos); bastonetes (bacilos) e espiral (espirilo). Também podem ser aeróbicas, anaeróbicas e anaeróbicas facultativas. Quanto ao seu crescimento o pH preferencial está entre 6,5 – 7,5, sendo considerado alternativo o pH entre 4- 10. A temperatura ideal de crescimento varia de acordo com os diferentes tipos: *Psicrófilas*, crescem $\leq 0^{\circ}\text{C}$, sendo temperatura ótima entre 15 – 20 $^{\circ}\text{C}$; *Mesófilas*, 30 – 40 $^{\circ}\text{C}$; *Termófilas*, 50 – 60 $^{\circ}\text{C}$.

As bactérias em água de refrigeração são classificadas como sésseis e planctônicas. Todas as bactérias sésseis são envolvidas por uma cápsula gelatinosa, basicamente formadas de polissacarídios e glicocálix, formando o limo bacteriano. As bactérias sésseis estão sempre fixas, não se movendo na água.

As bactérias planctônicas têm elevada mobilidade e permanecem sempre flutuando nas águas dos sistemas, e por não serem envolvidas por cápsulas gelatinosas, não formam limo bacteriano. Estas bactérias são facilmente eliminadas pelos microbicidas e não acarretam problemas em sistemas de água de refrigeração.

O limo bacteriano está fortemente associado às *Pseudomonas*, não só porque elas são do tipo capsulado, como por serem predominantes em águas de refrigeração.

6 CONTROLE DO CRESCIMENTO DOS MICROORGANISMOS

A fim de eliminar os microrganismos ou mesmo impedir o seu crescimento em águas de refrigeração, empregam-se produtos químicos denominados microbicidas. Microbicidas podem ter atividade genética para muitos microrganismos ou específica a uma determinada espécie. Os primeiros são,

naturalmente, os preferidos, sendo conhecidos como microbicidas de largo espectro. Formulações contendo diferentes microbicidas têm sua eficiência aumentada.

No controle biológico, a parede celular é o primeiro ponto de defesa dos microrganismos e conseqüentemente o ponto inicial de ataque dos microbicidas. Bactérias expostas a concentrações sub-letais de microbicidas, caso em que os microbicidas são dosados continuamente, mudam a composição química da sua parede celular, fazendo-a mais resistente aos produtos químicos.

7 MICROBICIDAS E SUAS DIFERENTES FORMAS DE ATUAR

Os microbicidas utilizados em sistemas de resfriamento são classificados como oxidantes e não-oxidantes.

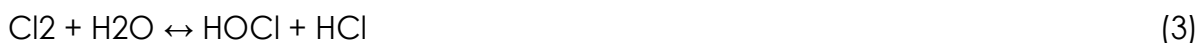
7.1 MICROBICIDAS OXIDANTES

7.1.1 CLORO

O cloro e seus compostos são microbicidas do tipo oxidante, sendo os mais utilizados no controle do crescimento microbiológico da água.

Mecanismos de ação: No protoplasma ele forma ligações estáveis com nitrogênio, inativando todos os organismos vivos.

Quando o cloro é dissolvido na água, forma ácido hipocloroso e ácido clorídrico, conforme a seguinte reação:



O ácido hipocloroso formado é um ácido fraco, cuja tendência de dissociação acarreta a formação de íon hipoclorito.



A polaridade do ácido hipocloroso faz com que ele seja o mais utilizado entre os agentes oxidantes, devido à grande facilidade em penetrar na membrana celular e inativar as enzimas, por reação de oxidação com o seu grupo sulfidril. A pouca eficiência do íon hipoclorito, OCl^- , se deve a sua carga elétrica negativa, igual à carga elétrica da membrana citoplásmica. Como cargas elétricas iguais se repelem, o íon hipoclorito não atravessa esta membrana protetora. O ácido hipocloroso predomina entre valores de pH 4,0 e 7,5. Na faixa de pH entre 7,5 e 9,5, predomina o íon hipoclorito, sendo que

em valores de pH acima de 10, todoo cloro está nesta última forma.

O ácido hipocloroso reage com os compostos nitrogenados, formando cloraminas. Estes compostos têm mais baixo poder bactericida que o cloro, porém persistem na água por um período mais longo.

7.1.1.1 Eficiência e Perigos da Cloração

A temperatura, o valor do pH e a matéria orgânica exercem grande influência na eficiência bactericida das soluções de cloro ou hipoclorito. Sendo a ação esterilizante do cloro devida, principalmente, ao ácido hipocloroso, o valor de pH indicado para a cloração deverá ser situado entre o mínimo de 7,0 e o máximo de 7,5, onde as concentrações de ácido hipocloroso são elevadas e o valor de pH não interferem nos diferentes programas de tratamento.

Cuidados especiais deverão ser tomados com a cloração excessiva, pois poderá provocar um destes problemas: ataque localizado aos tubos de aço inox 304; ataque à lignina da madeira, solubilizando-a e deixando apenas a celulose, na sua forma fibrosa; ataque aos fosfonatos aminados, hidrolisando a sua molécula com a liberação do ortofosfato; ataque ao mercaptobenzotiazol quando utilizado como inibidor específico de cobre, degradando sua molécula.

7.1.2 BROMO

O bromo e seus compostos são biocidas oxidantes de alta eficiência. Eles atuam nas bactérias, no estado vegetativo e esporulado, nos fungos, nas algas, nos vírus e nos cistos dos protozoários. A química do bromo tem sido uma alternativa positiva, na desinfecção de águas em geral.

8.2 MICROBICIDAS NÃO OXIDANTES

Estes microbicidas se dividem em venenos das enzimas e os que rompem as paredes celular e citoplásmica.

8.2.1 QUATERNÁRIOS DE AMÔNIO

Os sais quaternários de amônio são compostos de nitrogênio, De um modo geral eles são conhecidos como cloretos de amônioquaternário.

Sua ação como microbicida está associada aos seguintes mecanismos: atividade de superfície ativa; atração eletrostática a grupos receptores, carregados negativamente na parede celular e na membrana citoplasmática; ataque aos fosfolípidios na membrana citoplásmica, causando lise e morte da célula; ataque por absorção à membrana semipermeável da célula, provocando lesões citológicas com perdas de metabólitos intracelulares e coenzimas.

8.2.2 GLUTARALDEÍDO (ALDEÍDO GLUTÁRICO)

A solução aquosa do dialdeído glutárico, cuja fórmula é $\text{HOC}(\text{CH}_2)_3\text{COH}$, é utilizada como biocida de longo espectro. A solução é facilmente dispersa em água e sua atividade está relacionada à sua reação química com as aminas primárias existentes na lisina, um componente da parede celular.

A utilização de glutaraldeído como biocida possui vantagens como : atuação direta nas bactérias sésseis, penetrando inicialmente em sua camada limosa; atuação nas bactérias anaeróbicas do tipo redutora de sulfato; maior atividade nas faixas de pH 7,5 – 8,5; não é afetado por águas com elevado grau de dureza; compatível com tensoativos aniônicos, catiônicos e não-iônicos.

8.2.3 TIAZOLONAS

Os produtos ativos destes compostos são 5-cloro-2-metil-4-isotiazolona-3-ona e 2-metil-4-isotiazolina-3-ona. O produto é um biocida de largo espectro, atuando sobre as algas, fungos e bactérias.

É eficiente em baixos níveis de produto ativo, 0,5 – 5,0 ppm, nas bactérias sésseis formadoras de limo e nas redutoras de sulfato, além de ser compatível com o cloro. Possui estabilidade nas temperaturas de 5,0 a 50°C, valores de pH entre 3,5 e 9,5 e dureza total de 50 a 1000 ppm e elimina a corrosão por aeração diferencial, quando causada pelo biofilme, assim como a provocada pelas bactérias redutoras de sulfato.

Com relação ao seu mecanismo de atuação, inicialmente, as tiazolonas se comportam com bioestáticos, devido à rápida inibição da síntese macromolecular (proteína, RNA e parede celular). Posteriormente, é um biocida, porquanto a célula morre depois de poucas horas de íntimo contato.

9 CONTROLE DO TRATAMENTO MICROBIOLÓGICO

A dosagem de dois biocidas com mecanismos de atuação diferentes, com a finalidade de evitar a criação de microrganismos resistentes é uma ótima alternativa para controlar a proliferação microbiológica com maior eficácia, pois trabalha-se com espectro de atuação mais abrangente. Uma outra medida muito importante a ser tomada é quanto às dosagens corretas dos biocidas, considerando as concentrações adequadas e o tempo de meia-vida para a desconcentração do biocida no meio aquoso do sistema de refrigeração. A verificação do cálculo de tempo de desconcentração dos biocidas utilizados nos sistemas abertos com recirculação de água, quanto à frequência e quantidade exatas de biocidas a serem dosados, pode ser

realizada, considerando que suas doses de reposição deverão ser feitas quando as concentrações no sistema caírem a 30, 25 ou 20% da concentração dosada inicialmente.

9 ESTUDO DE CASO

Pode-se traduzir em valores as consequências da proliferação microbiológica em um sistema de resfriamento, tomando-se como base o cálculo de eficiência em *chiller*, desta forma torna-se mensurável os prejuízos causados pela corrosão microbiológica, bem como sua proliferação sem o controle adequado.

A seguir cita-se um estudo de caso real, demonstrando a economia de um sistema de resfriamento sem tratamento ou com tratamento ineficiente, comparado com um tratamento microbiológico adequado. Os dados abaixo apresentados no estudo de caso foram tirados em edifício comercial em São Paulo.

Se a superfície de troca térmica do condensador não está limpa (condensador sujo, incrustado ou com contaminação microbiológica), o fluido refrigerante terá sua temperatura aumentada e conseqüentemente a pressão de condensação também será aumentada. Este aumento de pressão requer um maior trabalho do compressor, que é o maior consumidor de energia. Isto aumenta o consumo de energia elétrica e conseqüentemente os custos de operação.

9.1 EFICIENCIA EM CHILLER

Neste estudo de caso, visitou-se um Condomínio Comercial, onde verificou-se que o condensador estava sujo, o que provocava um maior consumo de energia, ou seja, o coeficiente de performance (eficiência) kW/TR estava acima do projeto.

Foi implementado um programa de tratamento com objetivo principal de prevenir deposições no condensador. Isto resultou em temperaturas e pressões mais baixas no fluido refrigerante. Na Tabela 1 estão os dados utilizados no estudo do caso.

Tabela 1 – Dados requeridos para os cálculos.

Variável	Descrição	Dados Obtidos
E	Eficiência ou Coeficiente de performance (projeto)	0,75 kW/TR
Te	Temperatura de entrada da água gelada no evaporador	12,2 °C
Ts	Temperatura de saída da água gelada no evaporador	6,7 °C
Qag	Vazão da água gelada:	57,4 m ³ /h
Ic	Corrente elétrica média do compressor	150 Ampéres
Vc	Tensão elétrica de alimentação do compressor:	380 Volts

	Custo do kW/h	R\$ 0,09/kW fora do horário de ponta
RT	Regime de Trabalho	24 h/dia – 300 dias/ano
ρ_{H_2O}	Densidade da água	1000 kg/m ³
Cf	Capacidade frigorífica	TR (calculado abaixo)
Fc	Fator de conversão de unidades	1 TR = 3.024 kcal/h
Pc	Potência consumida	kW (calculado abaixo)
cos ϕ	fator de potência	0,85

Fonte : Belleza (2002)

O dado de projeto da eficiência kW/TR, está disponível normalmente no manual do fabricante da máquina ou no painel de comando. Termômetros instalados na linha de recirculação de água gelada, indicarão as temperaturas de entrada e saída da água no evaporador.

A vazão de água pode ser medida, caso exista algum medidor de vazão no sistema. Na ausência de qualquer medidor deve ser assumido a vazão de projeto. Entretanto, tal condição pode não ser precisa, devido aos desgastes dos rotores com o tempo, bem como deposição nas tubulações. A corrente elétrica média, em ampéres é um valor medido no motor trifásico do compressor. A corrente elétrica medida em um determinado instante, pode ser obtida da seguinte forma: um amperímetro medindo cada fase uma a uma ou um amperímetro com uma chave seletora para as 3 fases. Muitos equipamentos já possuem leitura direta no painel. A tensão elétrica (volts) pode ser obtida através do voltímetro ou placa indicativa situada no painel de comando ou elétrico do *chiller*. O custo do kilowatt/hora é obtido na fatura de energia elétrica e o regime de trabalho com o responsável pelo sistema.

10.2 CÁLCULOS

$$\Delta T \text{ água gelada} = T_e - T_s = 12,2 - 6,7 = 5,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$C_f = \frac{Q_{ag} \times \rho_{H_2O} \times \Delta T}{\text{Kcal/h}} = \frac{57,4 \text{ m}^3/\text{h} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 5,5}{3024 \text{ kcal/h}} \quad (6)$$

$$C_f = 104 \text{ TR}$$

Com a finalidade de comparação das performances entre os tratamentos microbiológicos ineficiente e adequado, foram utilizados os dados obtidos nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2-**Tratamento Biológico Ineficiente**

Variável	Resultado Obtido
T _e	12,2 °C
T _s	6,7 °C
Q _{ag}	57,4 m ³ /h

I _c	175 A
V _c	380 V

Fonte : Belleza (2002)

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \phi}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 175 \times 0,85}{1000} \quad (7)$$

$$P_c = 97,9 \text{ kW}$$

Para o cálculo de eficiência em kW/TR do tratamento ineficiente do *chiller*, obteve-se:

$$\text{Eficiência em kW/TR} = \frac{97,9 \text{ kW}}{104 \text{ TR}} \quad (8)$$

$$\text{Eficiência em kW/TR} = 0,94 \text{ kW/TR}$$

Obs: Foi considerado a capacidade de 104 TR conforme projeto para cálculo, porém sabe-se que, a temperatura de condensação aumenta e reduz a capacidade de refrigeração do *chiller*.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos após a intrdução de um programa de tratamento adequado a situação encontrada no equipamento.

Tabela 3 – **Resultados Obtidos após Tratamento Biológico Adequado**

Variável	Resultado Obtido
T _e	12,2 °C
T _s	6,7 °C
Q _{ag}	57,4 m ³ /h
I _c	150 A
V _c	380 V

Fonte : Belleza (2002)

$$P_c = \frac{\sqrt{3} \times V_c \times I_c \times \cos \phi}{1000} = \frac{1,732 \times 380 \times 150 \times 0,85}{1000} \quad (9)$$

$$P_c = 83,9 \text{ kW}$$

O programa permitiu trabalhar em melhores condições, bem próximo do projeto.

Para o cálculo de eficiência em kW/TR do tratamento adequado do *chiller*, obteve-se:

$$\text{Eficiência em kW/TR} = \frac{83,9 \text{ kW}}{104 \text{ TR}} \quad (10)$$

Eficiência em kW/TR = 0,80 kW/TR

11 CONCLUSÃO

A corrosão microbiológica é hoje reconhecida como um dos maiores problemas em sistemas de águas de resfriamento.

No caso real estudado, no condomínio em São Paulo, cuja identidade fica mantida em sigilo por solicitação da empresa, pôde-se traduzir em valores as consequências da proliferação microbiológica em um sistema de resfriamento, tomando-se como base o cálculo de eficiência em *chiller*. Todos os dados expostos acima, no estudo de caso, foram acompanhados pelos respectivos responsáveis da empresa que administra o condomínio comercial e dão fé de sua veracidade. No programa recomendado utilizou – se um biodispersante e um microbicida não oxidante, a base de isotiazolina, melhorando o controle microbiológico. Com a manutenção da superfície de troca térmica limpa, o programa empregado propiciou ao sistema operar com o valor de projeto para o coeficiente de performance kW/TR. Em função disto, foi possível uma economia de energia elétrica na ordem de 0,14 kW/TR, implicando em uma economia real em torno de R\$ 18.000,00/ano.

Assim sendo, conclui-se que um programa de tratamento de águas bem dimensionado e bem monitorado, reduz os problemas com corrosão microbiológica, trazendo maior vida útil do sistema e economia financeira, sendo, portanto, sua implementação fundamental para os empreendimentos e para o sistema de AVAC-R.

REFERÊNCIAS

BELLEZA, Sérgio;. Manual de Operação de Chiller. São Paulo, 2002.

DANTAS, Evandro. Geração de Vapor e Água de Resfriamento: Falhas- Tratamento- Limpeza Química. Rio de Janeiro. Ecolab/José Olympio, 1988. 305 p. GENTIL, Vicente. Corrosão. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.

VIDELA, Hector A.. Biotecnologia. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1993. 65p. (Corrosão Microbiológica, v.4).