

**XVI CONBRAVA – CONGRESSO BRASILEIRO DE
REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO,
AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**
São Paulo Expo – 10 a 13 setembro de 2019

RECUPERAÇÃO DE ÁGUA CONDENSADA EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Edgar Eihachi Watanabe;

RESUMO

Recuperação de água condensada de sistemas AVAC-R como reposição em Torres de Resfriamento. O presente trabalho aborda os aspectos da quantidade de água condensada possível de ser recuperada em sistemas AVAC-R e o impacto de economia quando reutilizada como água de reposição em torres de resfriamento em substituição a água potável de uma concessionária pública. Aparentemente de boa qualidade, visto que seria uma água destilada, a água condensada, em função dos contaminantes aéreos, tem um potencial de corrosão e de crescimento microbiológico que deverá ser avaliada e adequadamente condicionada para evitar os potenciais custos de manutenção em equipamentos trocadores de calor e também neutralizar possíveis efeitos de crescimento de micro-organismos geradores de lodo e danos à saúde. Para o desenvolvimento deste trabalho foi efetuado coleta de água de condensação de sistemas AVAC-R em edifícios comerciais na cidade de São Paulo, principalmente.

Palavras-chave: Água de condensação. AVAC-R. Economia. Contaminação. Corrosão.

ABSTRACT

Utilization of condensed water from HVAC Systems as Cooling Towers makeup water. This paper presents main aspects of condensed water recovered from HVAC Systems to be utilized as a source of makeup water for cooling towers and the economy that it represents both in terms of money and good tapped water saved. Although supposed to be of good water quality, since it is an almost distilled water standard, the condensed water can carry together a potential of corrosion and microbiological growth due to the air contaminants exists in the environment where it is generated. These corrosion and microbiological aspects should be evaluated and eventually conduct to a water conditioning to avoid the potential problems of maintenance costs in heat exchange equipment and the effects of microbiological growth that lead to slime formation and hazardous healthy consequences. To the development of this paper, samples of condensed water were collected in HVAC of commercial buildings mainly in the city of São Paulo – Brazil.

Keywords: Condensed water, HVAC. Savings. Contaminants. Corrosion.

1 INTRODUÇÃO

Muito se comenta sobre a viabilidade de aproveitamento da água condensada (A.C.) gerada nos sistemas de ar condicionado.

A conclusão imediata é que, sem dúvida, é uma fonte de água de boa qualidade, baixo custo e que pode ser recuperada e reaproveitada em várias aplicações como por exemplo, reservatórios de incêndio, descargas de banheiros, jardins, limpeza de solo e principalmente como reposição em torres de resfriamento.

Por outro lado, em edifícios mais antigos onde a infraestrutura civil e hidráulica necessária ao reaproveitamento é difícil, deve-se levar em conta o investimento necessário para o reaproveitamento de A.C.

Sem dúvida nenhuma, os novos projetos de sistemas de ar condicionado, devem incorporar infraestrutura para recuperação, armazenamento e reuso deste importante recurso sustentável, verde e economicamente atraente.

2 APROVEITAMENTO DA A.C. EM TORRES DE RESFRIAMENTO

Neste trabalho apresentaremos a alternativa de utilização da A.C. como reposição em torres de resfriamento. Atualmente se utiliza água tratada e potável como reposição das perdas por evaporação e arraste. Essa opção é considerada a mais cara possível, uma vez que o preço das concessionárias pode chegar a R\$ 35,00 / m³ na cidade de São Paulo. Considerando que as citadas perdas por evaporação e arraste variam em torno de 0,9 – 1,1% da vazão de circulação, podemos ter um quadro de água de reposição da seguinte ordem:

Tabela 1: Reposição x Vazão X TR

<i>Capacidade (TR)</i>	<i>Vazão Torre (m³/ h)</i>	<i>Reposição (m³/ h)</i>
100	65,0	0,5 - 0,6
300	195,0	1,4 - 1,9
500	320,0	2,5 - 3,2

Obs: 1TR requer 3gpm ou 0,6m³/h de vazão.

Tabela 2: Custo de água de reposição x TR

Capacidade (TR)	R\$ / dia	R\$ / mês
100	140,00 - 168,00	4.200,00 - 5.040,00
300	392, 00 - 504,00	11.760,00 - 15.120,00
500	700,00 - 840,00	21.000,00 - 25.200 00

Obs: operação 8h/dia e 30d/mês.

3 CÁLCULO DO POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DE A.C.

Como observamos no tópico anterior, a quantidade de água de reposição somente relacionada a Evaporação e Arraste é considerável. É bom lembrar que frequentemente é necessário descargas adicionais para manter o Ciclo de Concentração em níveis não incrustantes, portanto, mais água de reposição pode ser necessária além do mostrado na Tabela 1.

A pergunta importante é quanto desta água de reposição boa, potável e cara pode ser substituída pela A.C. recuperada?

Algumas fórmulas sobre a A.C. gerada estão relacionadas com a quantidade de ar condicionado e a diferença da umidade relativa entre o ar captado e condicionado.

Um exemplo este cálculo é proposto por E. Boulware no livro “*Alternative water and wastewater management system*”, citado por Barbara B. Adams.

$$\text{Volume A.C. (gpm.)} = \frac{Q_{ar} \times \Delta U.R.}{8,33 \times V \text{ específico ar}}$$

Segundo o autor, dependendo do $\Delta U.R.$, as seguintes proporções podem ser utilizadas.

Tabela 3: Geração A.C X TR

1 TR: produz 0,1 - 0,3 galões = 0,6 – 1,0L
--

4 RECUPERAÇÃO DE A.C. NA SEDE DA CQA¹

Foi efetuado um trabalho de coleta de A.C. no prédio do Laboratório, Sala Principal, onde existe um aparelho com capacidade 18.000 BTU ou 1,5 TR. A A.C. foi coletada e uma bombona de 50L localizada no lado externo:

¹ CQA sigla da empresa em que o autor trabalha.

Figura1 Coleta de A.C.



Obs: 8h/dia e 5d/semana

U.R.= 80%

Tabela 4: Volume A.C. coletado

1ª Semana	38,2 litros
2ª Semana	41,2 litros
3ª Semana	39,2 litros
MÉDIA	39,5 litros

Assim, considerando o regime de trabalho obtivemos o resultado: 0,66L / TR, dentro dos padrões esperados pela Tabela 3.

Tabela 5: TR x Vazão x Reposição x A.C.

Capacidade	Vazão Torre (m ³ /h)	Reposição (m ³ /h)	Potencial * A.C. (m ³ /h)	% A.C. em relação a reposição
100 TR's	65,0	0,6	0,1	16,6
300 TR's	194,0	1,9	0,3	17,8
500 TR's	324,0	3,2	3,2	15,2

(*) valor máximo de produção AC/TR = 1L/TR

Portanto é possível que valores próximos de 20% de água de reposição possam ser economizados com a recuperação de A.C.

Tabela 6: TR x Economia com A.C.

Capacidade TR	Economia água (R\$/mês)	Economia água (R\$/ano)
100	840,00	10.080,00
300	2.520,00	30.240,00
500	4.200,00	50.400,00

Operação: 8h/d, 30d/mês e R\$35,00/m³

5 QUALIDADE DA ÁGUA CONDENSADA

Considerando que a A.C. gerada no equipamento de ar condicionado é proveniente da umidade do ar, seria esperado que a qualidade dessa A.C. seria próxima de uma água destilada ou desmineralizada, portanto algo com pH = 7,0 e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) <10,0 ppm.

Nas primeiras amostras, o resultado obtido foi de pH 6,8 e STD = 80ppm, posteriormente outras amostras de várias unidades de ar condicionado da sede CQA mostraram os seguintes resultados:

Tabela 7: A.C. X pH / STD

Local	Amostra 1 pH / STD	Amostra 2 pH / STD	Amostra 3 pH / STD	Amostra 4 pH / STD
Sala Diretoria	4,8 / 43	6,0 / 55	6, 5 / 40	6,0 / 75
Laboratório	6,8 / 80	7,0 / 65	6,7 / 50	6, 9 / 70

Considerando que o Ar Atmosférico é composto de ar seco + vapor d'água + impurezas. E, também considerando que a tomada de ar nos aparelhos não é filtrada, o teor de STD, certamente está relacionado com o material particulado, e o pH ácido, com poluição presente no ar atmosférico. Também foi observado material particulado na forma de sólidos em suspensão (S.S.) que é diferente de STD, pois fica retido em filtros.

Figura 2: Material na forma de S.S. na A.C. coletada



Posteriormente efetuamos amostragem em alguns clientes nossos e a composição de A.C. foi a seguinte:

Tabela 8: AC x pH e STD em Edifícios Institucionais

Local	Capacidade (TR)	pH	STD
Edifício escritório em SBC	150	7,1	130
Ed. escritório na Chácara Sto. Antonio - SP	120	8,2	125
Fábrica de doces - Vinhedo	750	5,7	18
Edifício escritório na Avenida Paulista - SP	300	6,7	72
Hospital na Lapa - SP	500	6,0	83

Como conclusão dessas amostragens, observamos uma constante no teor de STD acima do esperado e um pH muitas vezes ácido, característica das impurezas do ar atmosférico.

Observação: constatamos que a Dureza Total (Ca + Mg) foi zero (0) em todas as amostras efetuadas.

6 EFEITO DA A.C. NA CORROSÃO

Quando coletamos as amostras, procuramos verificar o efeito desta A.C. na corrosão em aço carbono. Para tal utilizamos cupons de prova Aço 1.020 padrão ASTM em 2 tipos de teste: imersão do cupom na A.C. e circulação da A.C. em estação de cupons de prova por períodos de 15 dias.

Figura 3: Cupom Prova no Frasco Coleta



Figura 4: Visualização do cupom em imersão

Interessante observar que o ataque ao cupom foi imediato e grande quantidade de ferrugem (Fe_2O_3) entrou em solução e após um período a corrosão estabilizou. A taxa de corrosão nestas condições chegou a 12mpy e o teor de Ferro na solução foi de 42ppm.

Em seguida 50L de A.C. coletados na sede foram colocados em um circuito de água circulante, operando 8h/dia e duração de 2 semanas.

Figura 5: Sistema de Circulação de A.C.



Figura 6: Estação de Cupom na A.C. Circulante

Figura 7: Cupom de Prova



Taxa de corrosão 17,2 mpy

Taxas de corrosão acima de 5mpy são considerados ruins e devem ser diminuídas com tratamento de inibidores de corrosão.

A taxa de corrosão pode ser calculada pela fórmula:

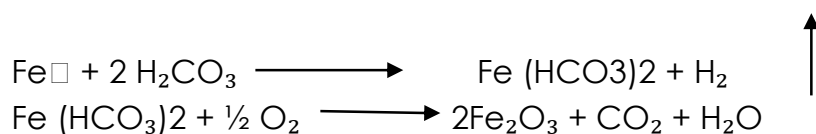
$$T_C = \frac{K \cdot \Delta p}{D \cdot A \cdot t}$$

- Onde:
- K = constante para adaptar as diferentes unidades
 - Δp = perda de peso em mg com 4 casas depois da vírgula
 - D = densidade do cupom (g/cm^3)
 - A = Área do cupom (pol^2)
 - t = tempo de exposição (dias)

As reações de corrosão abaixo, bem como cálculo da taxa de corrosão foram extraídas do livro "Corrosion Engineering" de Mars G. Fontana.

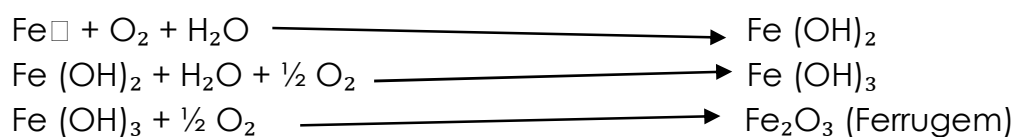
- Baixo pH

Devido a presença de H_2CO_3 , formado pela junção de umidade e CO_2 proveniente dos gases de combustão de veículos (poluição)



- Corrosão por Oxigênio Dissolvido

A.C. é uma água aerada , com teor de Oxigênio por volta de 7 a 8 cc/l



Como conclusão, a A.C. tem um alto potencial de corrosão, causado em menor escala por pH ligeiramente ácido e fundamentalmente por causa do teor de Oxigênio dissolvido.

7 EFEITO DA A.C. NO CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO

Considerando o local em que a A.C. é gerada, a temperatura do processo e a presença de STD dissolvido, temos todas as condições para crescimento microbiológico, que são: água + temperatura + nutrientes.

Assim, é de se esperar que a A.C. tenha um alto potencial deste problema. Muitas vezes, dependendo do tipo de equipamento em que a A.C. é gerada e acumulada, como por exemplo, bandejas de sistemas self-contained, além de pontos de retenção nas linhas, por exemplo, pontos baixos, "barrigas" de conduites, o crescimento de todo tipo de micro-organismo é esperado.

A tabela a seguir referente as condições para crescimento microbiológico foram extraídos do Livro Drew Chemical – Princípios de Tratamento de Água Industrial.

Tabela 9: Condições para crescimento microbiológico:

Grupo	Exemplos	Temperatura °C	pH
Verde	CLLORELLA SPIROGYRA	30 - 35	5,5 – 8,9 6,0 – 8,9
Verde Azulado	ANACYSTIS (lodo) OSCILATORIA (filamentoso)	35 - 40	2 – 8 5 - 6
Aeróbicas Esporuladas	MYCOIDES	20 - 40	5-8
Aeróbicas Redutoras Sulfato	DESULFOVIBRIO	20 - 40	4-8
Relacionadas Ferro	GALLIONELLA	20 - 40	7-9

As consequências do crescimento microbiológico é que podem se alastrar para os equipamentos trocadores de calor relacionados aos equipamentos de condensação à água.

Os problemas são inúmeros e poderemos citar os seguintes:

Tabela 10: Problemas causados por descontrole microbiológico

Lodo microbiológico
Depósitos e perdas na transferência de calor

Corrosão

8. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO NA A.C.

O estudo efetuado para avaliar os níveis de crescimento microbiológico foram baseados na coleta de amostras na sede da CQA e nos clientes que as amostras mencionadas na tabela 8 foram coletadas.

A avaliação foi efetuada utilizando-se a técnica de lamino-cultivos e contagem de bactérias totais. Os resultados mostraram também neste caso uma similaridade no crescimento microbiológico.

Sede CQA	
Laboratório	UFC / ml
Amostra 1	10^4
Amostra 2	10^5
Amostra 3	10^5

Figura 8: UFC/ ml: 10^4

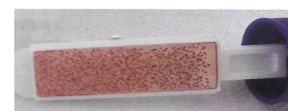


Clientes CQA	
Laboratório	UFC / ml
Hosp. Lapa	10^5
Ed. Paulista	10^6
Ed. S.B.C	10^5

Figura 9: UFC/ ml: 10^6



Figura 10: UFC/ ml: 10^5



9 CONTROLE DE CORROSÃO E CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO DA A.C.

Considerando o potencial de corrosão e crescimento microbiológico, foi efetuado um estudo utilizando-se o mesmo sistema piloto de circulação, porém, com a inclusão de dosagem de inibidor de corrosão e biocida no circuito de circulação. Também se manteve o uso de cupom e lamino cultivo para comparar com o período de tratamento.

Optou-se por utilizar uma tecnologia da empresa baseada em Produto Químico Sólido disponibilizado em refis por ser a opção da empresa para o mercado HVAC.

figura 11: Sistema piloto avaliação Produto Sólido



figura 12: Refis de Produto Sólido

10 INIBIÇÃO DE CORROSÃO E CRESCIMENTO MICROBIOLÓGICO

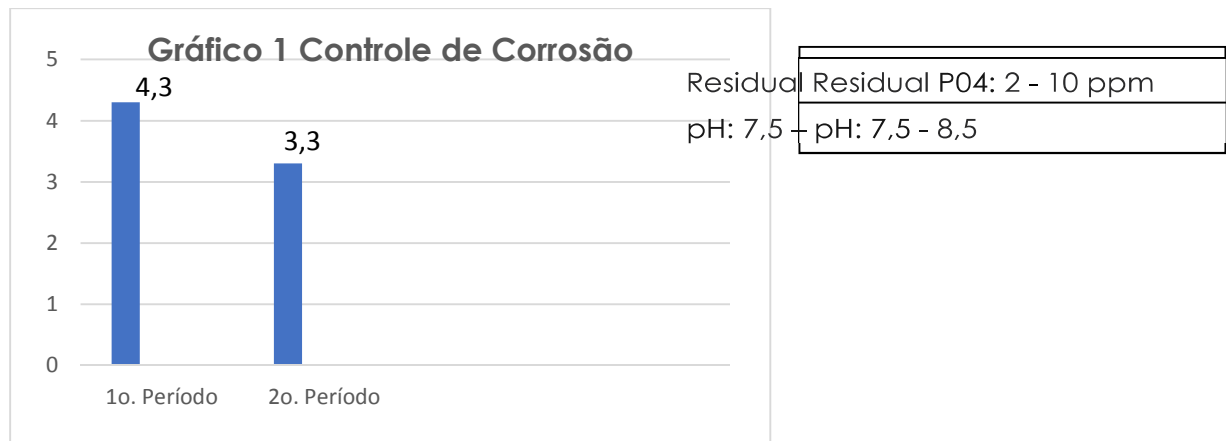
O inibidor de corrosão baseado em tecnologia Polifosfato / Zn é um programa tradicional e age na formação de filme uni molecular nas regiões catódicas, diminuindo assim a tendência a corrosão.

Região Catódica $(Cl)3-Zn + Fe^{\circ} \text{ ----- } Zn-Fe-Zn-Fe$ (filme protetor)

Região Catódica $NaO-(P04)x-0Na + Fe^{\circ} \text{ + } Fe)-(P04)x-Fe$ (filme protetor)²

Tendo em vista a alta tendência do crescimento microbiológico poder inclusive ter consequências no lado humano, optou-se por utilizar tecnologia com Biocida Oxidante, na forma sólida, a base de Triazina TriCloro para garantir que nenhum microorganismo patogênico pudesse resistir nas condições de circuito de circulação e por extensão quando A.C. reutilizada em Torres de Resfriamento.

² Obs.: Mecanismo de inibição extraídos do livro “Princípios de Tratamento de Água Industrial” Drew Chemical Co. O composto resultante como filme protetor é uma estilização resumida da verdadeira reação química.



Cada período: 15 dias

< 10²

Residual HClO: 0,5 - 1,5 ppm
pH : 7, pH : 7,5 - 8,5

1º período

2º período

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A composição do ar atmosférico e aspectos de qualidade da filtração irão determinar a composição de Água Condensada em termos de pH, que no caso da G.S.P. (Grande São Paulo) foi ligeiramente ácido, e um teor de sólidos dissolvidos alto, aproximando-se de uma água clarificada.

pH	6,0 - 6,8
STD	60 - 80 ppm

A taxa de corrosão é alta devido tanto ao pH, alto teor de STD e nada de Dureza, essa característica pode ser avaliada através do famoso índice de Longelier, cujo valor negativo encontrado de -3,5 pode ser interpretado como sendo CORROSIVO. De qualquer maneira a taxa de corrosão encontrada mostra esse potencial corrosivo: **Tx corrosão sem tratamento 12 – 17mpy.**

O potencial de crescimento microbiológico é alto em função das características da A.C. proporcionarem este desenvolvimento. Assim o fato da água condensada ser aerada, ter contaminantes que proporcionariam os nutrientes nas temperaturas ideais para o crescimento de todo tipo de microorganismo, acabam dando a tendência de alto crescimento microbiológico.

<i>locais</i>	<i>UFC/ml</i>
<i>variados</i>	$10^4 - 10^6$

Neste trabalho, a finalidade foi a utilização da A.C. como reposição de Torre de Resfriamento, assim, não foram levados em conta os potenciais problemas que esta A.C. poderia causar, se recuperada e reutilizada em outros setores, onde, condições de armazenamento e níveis de cloração deverão ser avaliados e revisados. Com relação ao Programa de Tratamento aplicado ser de tecnologia tradicional com PO₄ e agente oxidante, porém, com aplicação diferenciada devido a sua apresentação em estado sólido, observou-se que os resultados obtidos para controle de corrosão e crescimento microbiológico foram dentro dos objetivos do tratamento de água.

Avaliação	Resultados
Tx corrosão (mpy)	3,0 -5,0
Crescimento microbiológico (UFC/ml)	< 10 ³

AGRADECIMENTOS

Aos colaboradores de campo, analistas de Laboratório da CQA e as empresas parceiras que colaboraram na coleta de amostras de água.

REFERÊNCIAS

ADAMS, B.B. *The Benefits of Harvesting HVAC Condensation*. USA. **Water Technology Magazine**, February 2017.

DREW PRODUTOS QUÍMICOS. **Drew Chemical**: princípios de tratamento de água industrial. Tradução Buchard J. T.; revisão técnica Lehwing, C.R. São Paulo: Drew Produtos Químicos, 1979.

FONTANA, M.G. **Corrosion Engineering**. 3.ed. New York, McGraw Hill, 1986.