

## ARREFECIMENTO EVAPORATIVO DE AR

### 1. O QUE É:

Genericamente, arrefecimento evaporativo ocorre quando algum meio ou produto cede calor para que a água evapore. A evaporação de um produto qualquer é um processo endotérmico, isto é, demanda calor para se realizar. Esta transferência de calor pode ser forçada (quando fornecemos o calor) ou induzida (quando criamos condições para que o produto retire calor do meio). Um exemplo bastante conhecido de arrefecimento evaporativo é a Torre de Arrefecimento, pois nela uma parcela de água é induzida a evaporar, retirando calor da água remanescente, que arrefece por ceder este calor.

No arrefecimento evaporativo de ar, o mesmo princípio é utilizado: o ar cede energia (calor) para que a água evapore, resultando numa corrente de ar mais fria à saída do arrefecedor.

A maneira como induzimos esta troca de calor está melhor explicada no item 4 abaixo.

### 2. HISTÓRIA:

Na verdade, o homem já utiliza o arrefecimento evaporativo há muito tempo. Os frescos do antigo Egito (2500 AC) mostram escravos abanando jarros (de paredes porosas) com água, para arrefecer o conteúdo.

Isto é feito ainda hoje em dia (sem os escravos, é claro) nos filtros e bilhas de barro cozido. Uma fracção da água armazenada evapora através da parede do vaso, arrefecendo o líquido remanescente.

Na Roma antiga e na Idade Média, reservatórios de água com paredes humidificadas foram utilizados. A genialidade de Leonardo Da Vinci levou-o a idealizar um arrefecedor evaporativo em forma de roda de água.

### 3. EXEMPLOS PRÓXIMOS:

Embora nem sempre nos demos conta, com alguma frequência sentimos os efeitos do arrefecimento evaporativo:

- Quando nos aproximamos de uma cachoeira e notamos o ar mais fresco;
- Quando saímos de uma piscina (deixamos a água, que está mais fria e entramos em contacto com o ar, que está mais quente) e temos aquela sensação de frio;
- Quando terminamos de lavar as mãos e as abanamos, sentindo-as arrefecerem;
- Quando, num dia quente, acontece uma "Chuva de Verão" e observamos a quase instantânea queda da temperatura;
- A Temperatura de Bolbo Húmido (TBU) que é lida num termómetro com o bolbo envolvido por uma gaze húmida, é a temperatura mais baixa que o ar ambiente pode assumir no local, e corresponde à condição de ar saturado obtida pela evaporação da água na região junto ao bolbo.

Muitos outros exemplos podem ser citados, mas acreditamos que o nosso leitor já tenha compreendido a ideia do ARREFECIMENTO EVAPORATIVO. É simples, mas não custa enfatizar que é com ele que a Terra controla a temperatura sobre sua superfície.

### 4. O PRINCÍPIO:

O ar atmosférico é uma mistura de ar seco e vapor de água. Para uma dada condição de temperatura e pressão esta mistura tem capacidade de conter uma quantidade máxima de vapor de água (ar saturado = 100% de humidade relativa ou 100% HR). Na prática esta condição de ar saturado só é observada durante e logo após uma chuva. Normalmente o ar encontra-se insaturado ( $HR < 100\%$ ) e, portanto, apto a absorver mais humidade.

Quanto mais seco o ar (menor HR), maior a quantidade de vapor de água que pode ser absorvida.



Para que haja esta absorção é necessário que a água utilizada passe da fase líquida para a fase vapor. Esta mudança de fase demanda uma quantidade de energia que é retirada do meio, no caso o ar, arrefecendo-o.

Existe um princípio básico nas reações físico-químicas segundo o qual quanto maior a superfície de contacto entre os reagentes, maior a velocidade da reacção. Assim sendo, devemos procurar aumentar a área de contacto entre a água e o ar. Como o ar já se encontra diluído e ocupando todos os espaços disponíveis, resta-nos a água para dispersar.

## **5. PROCESSOS UTILIZADOS:**

Uma maneira de "expandir" a água é através de chuveiros, sprays ou atomização. São métodos bastante eficientes, que atingem elevados índices de humidificação e abaixamento de temperatura. Recomenda-se, no entanto, que este tipo de humidificação seja efectuado dentro do arrefecedor. Quando lançada no ambiente, mesmo que micro-pulverizada, a água pode encontrar uma região já saturada, o que fará com que não seja absorvida pelo ar e se precipite, molhando o que estiver em seu caminho até o solo. Mesmo sistemas com higrostatos e válvulas solenóides, que cortam o fluxo de água quando determinada humidade relativa é atingida, tendem a gotejar nos bicos até a estabilização da pressão de água no sistema.

Outra maneira adoptada é a de utilizar superfícies de contacto, isto é, utilizando materiais com elevada superfície exposta. A água é distribuída na parte superior de colmeias ou mantas e desce por canais pré-formados ou aleatórios, molhando todo o meio. O ar atravessa transversalmente a colmeia ou a manta, entrando em contacto íntimo com o meio humedecido e absorvendo humidade até bem próximo da saturação.

As principais vantagens deste método são:

- A parte molhada do sistema fica restrita ao equipamento;
- Nunca se ultrapassa o ponto de saturação, pois o ar só absorve a humidade que pode comportar, deixando no equipamento a água excedente;
- Este processo realiza ainda uma lavagem do ar, retendo poeira e sujeiras na colmeia ou na manta, as quais são continuamente lavadas pela água excedente.

Os resultados globais atingidos por qualquer dos sistemas acima descritos dependem ainda do fluxo do ar. É necessária a adequação de vazão e velocidade para que se obtenham as melhores condições ambientais.

Estas considerações são normalmente levadas em conta pelos fabricantes dos equipamentos.

## **6. ENERGIA ENVOLVIDA:**

Quando 1 litro de água (1kg) se evapora, consome aproximadamente 580 kcal. É a mesma quantidade de energia necessária para arrefecer 60 litros de água de 30°C até 20°C. Ou para arrefecer 208m<sup>3</sup> de ar (242kg) dos mesmos 30°C até 20°C.

Como se pode observar pelos números acima, a energia envolvida na mudança de fase da água (calor latente) corresponde a uma grande variação de temperatura da mesma (calor sensível).

Temos aqui a resposta para uma pergunta bastante frequente: o uso de água gelada melhora a eficiência do arrefecedor? NÃO, pois o ganho em redução de temperatura é insignificante frente ao obtido pela evaporação.

## **7. REDUÇÃO DE TEMPERATURA:**

De acordo com o já exposto, sabemos que a redução de temperatura será tanto maior quanto menor for a humidade relativa do ar captado. Assim sendo, para uma mesma temperatura na entrada do arrefecedor, podemos ter diferentes temperaturas na saída conforme varie a humidade relativa do ar na entrada.

A "**TABELA DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA POR MEIO DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO EVAPORATIVO**" apresenta os valores obtidos para equipamento com colmeias de humidificação.

Para equipamentos correctamente projectados e fabricados, duas regras práticas podem ser adoptadas para se saber as temperaturas a serem atingidas em uma determinada região.

- A. A temperatura do ar arrefecido será aproximadamente 1°C acima da temperatura de bolbo húmido(TBH) do ar captado.
- B. A temperatura do ar arrefecido será aproximadamente 2°C abaixo da temperatura de saída da água de uma torre de arrefecimento eventualmente existente no local (desde que esta esteja operando correctamente).

Um facto muito importante a ser observado é que a humidade relativa varia ao longo de um dia normal. Tendo em vista que a humidade absoluta (gramas de vapor de água/kg ar seco) não se altera muito ao longo do dia, a menos que ocorram chuvas ou se esteja próximo a regiões cobertas por água (mar, rios, represas, etc.), a humidade relativa vai variar inversamente com a temperatura. Assim, quanto mais quente o período do dia, menor a humidade relativa e melhor o desempenho do resfriamento evaporativo.

As curvas "**PERFORMANCE PADRÃO EM DIA TÍPICO DE VERÃO**" mostram as temperaturas resultantes do sistema evaporativo num dia típico de verão em função do ar captado, para diferentes condições climáticas.

## **8. CONDIÇÕES PARA INSTALAÇÕES:**

### **8.1- RENOVAÇÃO DE AR:**

Logo após passar por um sistema de arrefecimento evaporativo, o ar tem sua humidade relativa elevada para níveis próximos à saturação. Ao adentrar o ambiente este ar aquece, abatendo as cargas térmicas existentes no local e reduzindo a HR sem, no entanto, voltar aos níveis originais (antes do arrefecimento). Caso recirculemos este ar pelo arrefecedor, a eficiência será menor a cada nova passagem, tendendo a ser nula após poucas recirculações. Teríamos então uma situação de temperatura e humidade elevadas, o que é muito desconfortável.

Assim sendo, a condição fundamental é de renovação total do ar.

### **8.2- EXAUSTÃO E ABERTURAS:**

Como num processo de ventilação comum, a renovação total do ar implica em exaustão ou aberturas compatíveis com a vazão de ar admitida. Assim sendo, portas, janelas, frestas ou exaustores são, via de regra, bem-vindos. Há apenas a necessidade de se verificar a disposição das mesmas para se otimizar a circulação do ar por todo o ambiente.

### **8.3- ISOLAMENTO TÉRMICO:**

Este é um item que, se existente, sempre auxilia. Para instalações novas, entretanto, é dispensável, ao contrário de sistemas de climatização por ar condicionado tradicional. Ocorre que os custos de instalação e de operação dos sistemas evaporativos são tão mais baixos do que os do ar condicionado, que resulta bem mais barato aumentar a capacidade do sistema evaporativo projectado, do que isolar telhados e paredes.

De facto, já nos defrontamos com casos em que só o custo do isolamento térmico de determinado ambiente era maior do que o do sistema de resfriamento instalado.

Ademais, a operação destes últimos envolve apenas os insufladores e/ou exaustores e as bombas de circulação ou aspersão de água, o que significa algo em torno de 1/10 da potência consumida por um sistema de ar condicionado tradicional equivalente.

#### **8.4- QUALIDADE DA ÁGUA:**

Como regra geral, é recomendável a utilização de água potável na alimentação dos arrefecedores evaporativos.

Água com altos teores de minerais, principalmente cálcio (água "dura"), deve ser evitada pois a concentração dos sólidos solúveis tende a aumentar com a evaporação (só água pura evapora) e, a partir de certo ponto, haverá super-saturação e precipitação dos minerais. Isto pode ser notado pela formação de depósitos na superfície da colmeia ou manta.

Caso seja necessário utilizar este tipo de água, é necessário manter uma purga contínua (bleed-off) de modo a evitar o crescimento da incrustação.

Água com carência de minerais, por outro lado, tende a compensar esta carência captando minerais das colmeias, enfraquecendo a resina enrijecedora.

Com relação ao PH, o ideal situa-se em 7 a 8, sendo aceitáveis valores entre 6 e 9.

#### **8.5- TRATAMENTO DA ÁGUA:**

Tendo em vista que o ar é lavado ao passar pelo arrefecedor, as partículas dele removidas tendem a se agregar no elemento humidificador e deste serem carregadas pela água para o reservatório. Entre estas partículas estão fungos, bactérias, algas, etc., as quais, em meio húmido, podem proliferar.

Quando em operação esta proliferação é bastante reduzida pela aeração da água e pela acção do oxigénio como oxidante dos microorganismos. Quando parado, no entanto, pode ocorrer o crescimento de colónias que poderão gerar odores desagradáveis na próxima partida do equipamento.

Para evitar que isto ocorra, algumas providências devem ser tomadas, a saber:

- A. Coloração da água no reservatório com pedras de cloro;
- B. Purga contínua através de dreno, regulável de acordo com a sujidade do ar captado;
- C. Drenagem e limpeza periódicas do reservatório para eliminar sujeira acumulada;
- D. Quando for desligar o equipamento, desligar primeiro a bomba e deixar o ventilador funcionando até secar o elemento (de 10 a 30 minutos, conforme a humidade do ar captado); caso o equipamento fique desligado por muito tempo, um final de semana por exemplo, esgotar o reservatório e tornar a enchê-lo quando for religá-lo.

#### **9. APLICAÇÕES:**

Considerando-se que o ar disponibilizado é:

- 100% renovado,
- Arrefecido,
- Humidificado,
- Filtrado e limpo (para equipamentos com mantas ou colmeias),
- De baixo custo de instalação,

- De baixo custo operacional,

Temos que o sistema evaporativo tem aplicação em quase todo tipo de ambiente, com uma gama de utilizações muito mais abrangente do que o ar condicionado e a ventilação tradicionais.

Assim sendo, de pequenos a grandes espaços, de áreas pouco povoadas a grandes adensamentos, de locais com baixa carga térmica a grandes geradores de calor, de áreas de lazer a locais de trabalho, todos podem se beneficiar das vantagens do arrefecimento evaporativo.

Há ainda aqueles ambientes em que a manutenção de elevada humidade relativa é requisito das condições do processo industrial. Em tais ambientes, dependendo da humidade desejada, pode ser utilizada renovação de ar total, parcial ou mesmo nula.

Como exemplo, citamos abaixo algumas das inúmeras aplicações possíveis:

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| - Ginásios                       | - Fundições                      |
| - Aeroportos                     | -                                |
| - Ambientes industriais em geral | - Galvanoplastia                 |
| - Áreas comuns de shoppings      | - Pavilhões de desportos         |
| - Auditórios                     | - Granjas                        |
| - Aviários                       | - Igrejas                        |
| - Bancos                         | - Incubatórios                   |
| - Bares                          | - Indústrias têxteis             |
| - Bingos                         | - Indústrias de celulose e papel |
| - Discotecas                     | - Jardins de inverno             |
| - Boliches                       | - Lavandarias                    |
| - Cabines de pintura             | - Leilões                        |
| - Cabines de subestações         | - Lojas                          |
| - Câmaras de fermentação         | - Mercados e mercearias          |
| - Câmaras refrigeradas           | - Oficinas                       |
| - Casas de espectáculos          | - Parques temáticos              |
| - Cinemas                        | - Praças de alimentação          |
| - Cozinhas industriais           | - Restaurantes                   |

- Criação de animais em geral
- Depósitos
- Escolas
- Escritórios
- Estações de metro
- Estufas p/plantas, cogumelos, hortifruticultura, etc.
- Feiras e convenções
- Refeitórios industriais
- Salas de controle
- Salas de máquinas em geral
- Supermercados
- Templos
- Terminais ferroviários e rodoviários

## 10. SELECCÃO:

Existem 2 métodos básicos para dimensionamento do sistema de arrefecimento evaporativo, a saber:

O Método por Cálculo de Carga Térmica, que é mais preciso, porém envolve levantamento mais correcto das condições do ambiente, tais como potências consumidas, transmissão de calor por condução e radiação, número de pessoas, iluminação, calor dissipado por máquinas, etc.

O Método das Renovações de Ar, que é mais empírico e demanda, por sua vez, alguma experiência na avaliação das condições.

### A. MÉTODO POR CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

1. Calcular a carga térmica total do ambiente a ser tratado;
2. Determinar a temperatura de bolbo seco e a humidade relativa do local da instalação;
3. Determinar a temperatura de saída do ar do arrefecedor (temperatura resultante) conforme "Tabela de Redução de Temperatura por meio do Sistema de Resfriamento Evaporativo".

Nesta tabela entrar com a temperatura externa (temperatura do bolbo seco) e com a humidade relativa;

4. Determinar a temperatura requerida do ambiente a ser tratado. Normalmente de 3°C a 5°C acima da temperatura de saída do ar do arrefecedor;
5. Calcular a vazão de ar requerida para o ambiente em questão.

$$V_{AR} = \frac{Q}{0,24 \cdot 1,2 \cdot \Delta t} = \frac{Q}{0,288 \cdot \Delta t} = \frac{374 \cdot Q}{\Delta t}$$

$V_{AR}$  = Vazão de ar requerida (m<sup>3</sup>/h)

Q = Carga Térmica (kcal/h)

$\Delta t$  = Diferença entre a temperatura requerida do ambiente e a temperatura de saída do ar do arrefecedor (°C)

### B. MÉTODO DAS RENOVAÇÕES DE AR

1. Determinar a temperatura de bolbo húmido do local de instalação;

2. Determinar se a carga térmica gerada internamente é normal ou alta;

**Obs.:**

**.Carga térmica alta:** locais com fornos, estufas, máquinas de solda, maçaricos, fundições, caldeiras, cozinhas industriais ou grande ocupação humana.

**.Carga térmica normal:** escritórios, lojas com baixa ocupação, fábricas com baixa geração de calor.

3. Determinar o grau de isolamento do ambiente ao calor externo (radiação solar);

**Obs.:**

**.Ambiente exposto:** Telhado de zinco ou fibrocimento; grandes áreas envidraçadas; telhado translúcido; paredes de alumínio ou fibrocimento.

**.Ambiente isolado:** Telhado isolado termicamente; forro falso; paredes de alvenaria ou com pouca incidência de radiação solar.

4. Determinar o número de trocas de ar requeridas por hora para o ambiente em questão, através da tabela abaixo:

<b>NÚMERO DE TROCAS DE AR REQUERIDAS POR HORA</b>					
<i>Carga Térmica</i>	<i>Grau de Isolamento</i>	<i>Temperatura de Bolbo Húmido</i>			
		<i>22 a 23°C</i>	<i>24 a 25°C</i>	<i>26 a 27°C</i>	<i>28 a 29°C</i>
<i>ALTA</i>	<i>Exposto</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>45</i>	<i>85</i>
<i>ALTA</i>	<i>Isolado</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>
<i>NORMAL</i>	<i>Exposto</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>40</i>	<i>60</i>
<i>NORMAL</i>	<i>Isolado</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>30</i>	<i>45</i>

5. Determinar o volume do ambiente;

$$V_{AMB} = W \times L \times H$$

$$V_{AMB} = \text{Volume do ambiente (m}^3\text{)}$$

$$W = \text{Largura do ambiente(m)}$$

$$L = \text{Comprimento do ambiente (m)}$$

$$H = \text{Altura abaixo da conduta de insuflação de ar (m)}$$

**Obs.:** As condutas devem ser instalados no máximo a 4,0m de altura, de preferência a 3,5m.

6. Calcular a vazão de ar requerida para o ambiente.

$$V_{AR} = V_{AMB} \cdot N_{TROCAS}$$

$$V_{AR} = \text{Vazão de ar (m}^3\text{/h)}$$

$V_{AMB}$  = Volume do ambiente ( $m^3$ )

$N_{TROCAS}$  = Número de trocas de ar (trocas/h)

Os dois métodos acima permitem um bom estudo do sistema a ser implantado. Não dispensam no entanto, a consulta a fornecedores qualificados que analisem, orientem, esclareçam e assumam a responsabilidade não só mecânica dos equipamentos, mas *também pela performance da instalação*.

### **11. ARREFECIMENTO LOCALIZADO:**

Em ambientes de grandes dimensões, como uma instalação industrial, por exemplo, é comum que se pense no arrefecimento de todo o ambiente, quando isto não é obrigatoriamente necessário. Normalmente tais locais abrigam máquinas, stocks e outros sectores raramente ou nunca frequentados.

Em tais casos é interessante estudar quais os postos de trabalho, sectores de produção, áreas de trânsito e outros que realmente demandam melhores condições ambientais e procurar atendê-los de forma localizada, pontual ou sectorial. Um operador próximo de um equipamento que gere alta carga térmica pode ser atendido por um único equipamento de pequeno porte com fluxo de ar arrefecido direccionado sobre ele. Uma linha de montagem ou de embalagem pode ser atendida por um ou mais equipamentos de médio porte, com conduta(s) e com grelhas direccionais distribuindo o ar sobre os trabalhadores. Um sector de produção pode ser arrefecido por meio de um ou mais equipamentos de médio ou grande porte com um sistema simples de dutação que abranja a área delimitada.

Este tipo de solução, além de resolver o problema de conforto térmico para a população atendida, representa grande economia na instalação, pois o volume a ser considerado para efeito de cálculo é somente aquele contido até a altura das grelhas ao longo da área demarcada.

Além das vantagens acima, pelo fato de estarmos insuflando ar renovado sobre uma determinada área, a pressurização causada provocará movimentação do ar nas áreas adjacentes, melhorando também as condições destas.