

# DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE AMBIENTE

## INDUSTRIAL POR ASPERSÃO DE ÁGUA NO TELHADO

*DIMENSIONING OF AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT COOLING SYSTEM BY WATER*

*SPRINKLING ON THE ROOF*

Vagueme de Jesus Fernandes<sup>1</sup>

Marcio Takahashi Kawamura<sup>2</sup>

### RESUMO

A acirrada competição entre as empresas vem forçando-as a buscar fortemente aperfeiçoar seus recursos, seja reduzindo custos, seja otimizando os processos. Sendo o homem seu principal ativo e responsável direto seu resultado, criar condições propícias para que este produza é fundamental. Neste contexto o projeto de refrigeração do ambiente industrial vem de encontro a essa necessidade. O projeto visa a reduzir as temperaturas extremas do verão, utilizando o telhado de aço galvanizado como um trocador de calor, pela aspersão e evaporação de água, que impede a transferência de calor produzido pela radiação solar e calor produzido internamente em um Galpão de processo industrial superaqueça o ambiente interno, e crie um ambiente insalubre e desconfortável aos trabalhadores. O projeto aproveita a pluviometria da região, com a captação, tratamento e armazenamento de água da chuva, sistema de bombeamento otimizado, encanamentos e aspersores de irrigação para a distribuição homogênea da água na área de telhado para a realização da troca térmica.

**Palavras-Chave:** Conforto Térmico. Stress Térmico. Bombas Centrífugas. Dimensionamento de Tubulações.

---

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Mecânica, pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). E-mail: [vagueme@hotmail.com](mailto:vagueme@hotmail.com).

<sup>2</sup> Orientador. Possui mestrado em Desenvolvimento e Sociedade, pela Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). Docente do Curso de Engenharia Mecânica na Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP)

---

## ABSTRACT

The fierce competition between companies has forced them to strongly improve its resources, either by reducing costs, or optimizing processes. Since the man is the main asset and directly responsible for its outcome, create propitious conditions for him to produce is key. In this context, the industrial environment cooling project come to meet that need. The project aims to reduce extreme summer temperatures by using galvanized steel roof as a heat exchanger by spraying and evaporating water which prevents the transfer of heat produced by solar radiation and internal factory heat, preventing an unhealthy and uncomfortable environment for workers. The project takes advantage of the rainfall in the region, collecting, treating, storing rainwater, optimized pumping system, pipelines and irrigation sprinklers for the homogeneous distribution of water in the roof area for the realization of thermal exchange.

**Keywords:** Thermal Comfort; Thermal Stress; Centrifugal pumps; Pipes Sizing.

## INTRODUÇÃO

Um fator de relevante importância para o bom desempenho do trabalhador é a temperatura. De acordo com Frota (2001), o homem é um ser homeotérmico e suas necessidades de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento do organismo, que pode ser comparado a uma máquina térmica que aquece de acordo sua atividade e, precisa liberar esse calor, o suficiente para que sua temperatura interna se mantenha próximo de 37°C. Sua energia é conseguida através de fenômenos termoquímicos. A energia térmica produzida pelo organismo humano advém de reações químicas internas, sendo esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, denominado de metabolismo. O calor produzido e dissipado depende da atividade que o indivíduo desenvolve. Em repouso absoluto, o calor dissipado pelo corpo e cedido ao ambiente é aproximadamente 75 W e pode chegar, em plena atividade, a 1000W. Quando o calor produzido é maior que o calor dissipado, o corpo humano reage com mecanismos de termo regulação, ou seja, pelo suor, vasodilatação e termólise: que é a redução nos processos internos de combustão química no corpo.

Lamberts (2011), salienta que embora estudos não sejam conclusivos, a performance humana se mostra claramente reduzida sob a ação do calor e que as atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um

rendimento melhor quando realizadas em conforto térmico, ou seja, todo o calor produzido pelo organismo precisa ser trocado com o ambiente, não havendo nem acúmulo e nem perda excessiva do mesmo, evitando-se, assim, os perigos do *stress* térmico. Para pessoas com vestimentas normais de trabalho a temperatura de equilíbrio se situa entre 23 a 27°C. Nos ambientes, em questão, nos dias mais quentes do ano temperaturas de até 40°C e acima, são comuns e podem levar ao *stress* térmico, a figura 1 ilustra o aquecimento do telhado sem refrigeração.



Figura 1 - Cobertura sem Refrigeração

De acordo com Nascimento (2005), a climatização de ambientes industriais, onde há grande geração de calor e grandes espaços abertos inviabilizam o uso de ar condicionado, pelo custo de implementação e manutenção, assim, a alternativa mais viável é o resfriamento evaporativo, pela facilidade de instalação e baixo custo de manutenção, tendo como únicos pré-requisitos um suprimento de energia e uma fonte de água fria, suficientes para atender a demanda do sistema de troca térmica. O processo de refrigeração por aspersão de água em telhados, é conhecido e utilizado já a muito tempo, neste sistema, a água extrai calor do ambiente através da evaporação, neste processo ela absorve aproximadamente 2.400kJ/kg de calor para passar do estado líquido para gasoso a temperatura ambiente. Quando a água, aspergida, toca o telhado quente, evapora, isto é, muda de líquido para vapor, eliminando o calor que entraria no ambiente interno vindo da radiação solar e conduzindo o calor que é produzido internamente para o ar no ambiente externo, reduzindo assim a temperatura do ambiente interno.

O sistema de refrigeração de telhado utiliza micro nebulizadores que precisam ser distribuídos em um espaçamento dimensionado de tal forma a atender

---

toda a área a ser refrigerada, tornando esse telhado um trocador de calor, de tal forma que o telhado se mantenha úmido, sem que a água escorra, provocando o máximo de efeito evaporativo pelo volume d'água aplicado, reduzindo a temperatura do telhado, reduz a condução do calor, advindo da radiação solar, para o ambiente interno, assim como, auxilia na remoção do calor gerado internamente pelas pessoas, equipamentos e iluminação, resultando numa redução na sensação de abafamento na época mais quente do ano.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste contexto, buscando minimizar os efeitos negativos, decorrentes da temperatura e, tornar o ambiente de trabalho mais confortável e seguro aos trabalhadores e, preservar os equipamentos, este estudo pretende viabilizar a instalação de um sistema de refrigeração no telhado, a fim de retirar o excesso de calor deste ambiente. Foi realizada uma pesquisa técnica referente ao sistema de refrigeração evaporativa em funcionamento e evidenciou-se que esse sistema se encontra instalado e funcionando em diversas empresas, bem como, tem fornecedores confiáveis no mercado. O objetivo de da pesquisa é viabilizar a instalação do sistema de refrigeração por aspersão e evaporação de água no telhado para aumentar o nível de conforto térmico dos trabalhadores e evitar o stress térmico. O projeto do sistema de refrigeração por aspersão de água no telhado prevê o levantamento das cargas térmicas de aquecimento, área de troca térmica, volume de água para troca térmica, dimensionamento dos nebulizadores e tubulações e bombas.

## CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO

Frota (2001) destaca que as exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo, que de maneira simplista, pode ser comparado a uma máquina térmica que produz calor de acordo com a intensidade de sua atividade. O calor gerado pelos trabalhadores será a soma do calor latente e calor sensível que de modo geral, um trabalhador em atividade moderada, emite 520W carga térmica.

A carga térmica resultante da insolação em uma superfície depende das

---

características físicas dessa superfície. Por absorção, a energia de radiação solar pode ser introduzida no ambiente interno em maior quantidade quanto menos refletiva for a superfície. Sendo a superfície metálica até 72% da radiação solar é refletida e o restante absorvido. Para facilitar o cálculo dessa carga térmica utiliza-se a carga térmica das telhas fornecida pelo fabricante da mesma, sendo que a Metalfer é 108W/m<sup>2</sup> e Tuper 112 W/m<sup>2</sup> de fluxo médio de calor.

Outra carga térmica relevante é gerada pelos equipamentos que, conforme o guia de seleção de motores da WEG (2015), a potência útil fornecida pelo motor na ponta do eixo é menor que a potência que o motor absorve da linha de alimentação, isto é, o rendimento do motor e sempre inferior a 100%. A diferença entre as duas potências representa as perdas, que representam uma carga térmica de 30% até 40% da potência.

A iluminação é um dos grandes geradores de carga térmica nas indústrias com rendimentos da ordem de 25 a 30%, Conforme Rodrigues (2002), no manual de Iluminação eficiente, a lâmpada de Vapor de Sódio possui uma elevada eficiência luminosa, e ainda assim, 70% da energia consumida por essas lâmpadas é transformada em calor para o ar do recinto. A lâmpada fluorescente tem um elevado rendimento luminoso e vida útil e, no entanto, transforma 75% de toda a energia consumida em calor para o ar do recinto, contribuindo para o aquecimento dos ambientes.

De acordo com EVAFRIO (2016), o sistema de aspersão para refrigeração de telhados consiste basicamente de um reservatório para armazenar água que será utilizada para molhar as telhas. Uma moto bomba para pressurizar a água, encanamentos para conduzir a água até os aspersores que são instalados em cima do telhado e pulverizam a água que vai fazer a troca térmica nas telhas metálicas.

## SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ASPERSÃO E EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NOS

### TELHADOS DE AÇO GALVANIZADO

O sistema é basicamente um trocador de calor, em que, o telhado de telhas de aço galvanizado torna-se um painel frio que troca calor introduzido no ambiente pelas cargas térmicas, pela ação da evaporação de água aspergida sobre as telhas.

Essa área de troca térmica é basicamente a área de telhado e, sendo este

---

de metal, sem isolamento térmico, pode se tornar um aquecedor, situação interessante no período frio e muito prejudicial no período quente, e com a aspersão e evaporação de água um grande painel de refrigeração.

O volume de água necessário para troca térmica é função da potência da carga térmica de aquecimento, de acordo com a energia de evaporação da água a temperatura ambiente que é aproximadamente 2.400kJ/kg.

Os nebulizadores são selecionados com base na área de troca térmica e volume de água a ser evaporado para realizar a dissipação de todo o calor contido no galpão por ação das cargas térmicas, isso vai produzir uma lâmina de água que é o volume de água pela área do telhado do galpão.

A pressão de trabalho dos nebulizadores, a altitude do local da instalação, a altura do telhado, a instalação do reservatório e o volume de água necessário para troca térmica determinam o dimensionamento de tubulações e bombas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto de Refrigeração de telhados foi desenvolvido com a finalidade de proporcionar maior conforto térmico aos trabalhadores, utilizando uma tecnologia eficiente e não agressiva ao meio ambiente. O que pode vir a representar uma melhora no desempenho do trabalho, em termos de produtividade e qualidade, a ser comprovado através de uma medição futura, ou seja, depois que o sistema esteja definitivamente implementado, como foi realizado em outras empresas.

Foi concebido, a partir do levantamento em campo das fontes geradoras de calor, no ambiente interno de galpões de processo industrial. As fontes geradoras de calor elencadas foram: Iluminação, calor advindo dos trabalhadores, dos equipamentos e principalmente da radiação solar que aquece o telhado. Todos somados elevam a temperatura do ambiente interno gerando desconforto aos trabalhadores.

Sendo o telhado de telhas metálicas um excelente condutor de calor, e principal fonte geradora de calor para o ambiente interno, utilizou-se para que fosse um painel frio de modo a evitar a entrada de calor pelo telhado e também para auxiliar na dissipação do calor gerado internamente pelas outras fontes, o resultado é uma redução de temperatura no telhado de até 34°C, conforme é demonstrado

no gráfico da figura 2.

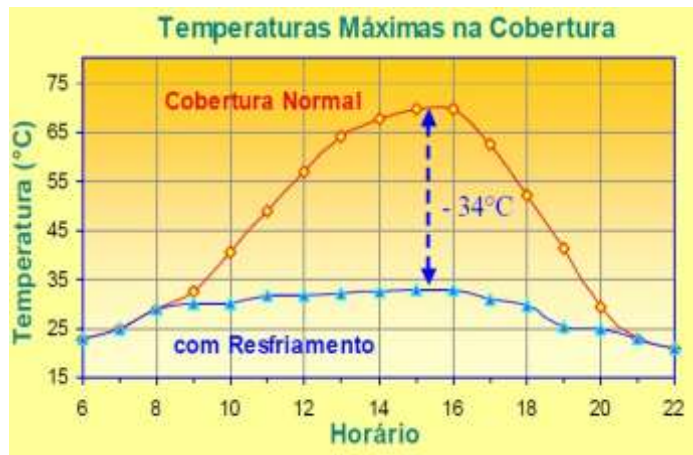


Figura 2 - Temperatura máxima na cobertura durante o dia

Para tal, distribuí-se nebulizadores uniformemente sobre o telhado de modo a atender toda a área necessária para dissipação de calor, tubulações de distribuição de água para os aspersores dimensionadas para conduzir o volume e a pressão de água necessários, um conjunto de duas bombas para movimentar a água do reservatório até o ponto onde os aspersores estão instalados e um reservatório, com capacidade suficiente, para armazenar água e atender o sistema por tempo a ser determinado.

Na Figura 3, uma de situação típica de verão local, para um galpão com refrigeração que apresenta um considerável aumento no conforto térmico para os trabalhadores.



Figura 23: Cobertura com Refrigeração

Fonte: EVAFRIO (2016).

## CONCLUSÕES

O estudo teve como objetivo geral projetar um sistema de refrigeração com aspersão de água no telhado, com a finalidade de produzir um ambiente termicamente mais confortável para os trabalhadores e evitar os problemas decorrentes da exposição do corpo humano ao calor.

A solução encontrada para um sistema de refrigeração de baixo custo de implementação e manutenção foi aproveitar as características térmicas de um telhado de aço galvanizado sem isolamento térmico, através da aspersão e evaporação de água.

Com o dimensionamento do sistema de aspersão de água no telhado, conclui-se que ele tem uma capacidade de refrigeração maior que as cargas térmicas, e de acordo com empresas especializadas no ramo, é possível conseguir redução de 7 a 10°C na temperatura interna dos Galpões em um dia com temperatura externa de 32°C, levando a constatação de que o projeto é viável. Contudo, Este estudo não pretende esgotar o assunto e, somente com a efetiva realização do projeto e com uma medição do ambiente refrigerado pode-se quantificar a redução da temperatura nos galpões. Assim, contribuirá para essa



---

pesquisa um estudo sobre o desempenho dos trabalhadores atuando em um ambiente termicamente mais confortável, seja no desempenho de suas atividades rotineiras e/ou em medicina e segurança do trabalho.

## REFERÊNCIAS

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. 2011. Disponível em: <<http://dec.ufms.br/lade/docs/cft/ap-labeee.pdf>>. Acesso em 07/ago/2016.

NASCIMENTO, Gustavo Rosas. **Refrigeração Evaporativa de Telhados por Meio de Gotejamento de Água. Experimentos em bancada de testes**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos.

WEG Motores Elétricos. **Guia de Especificação**. Jaraguá do Sul. 2015. rev. 18.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de Iluminação Eficiente: PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. 2002

EVAFRIO. **Climatização**. Disponível em: <<http://www.evafrio.com.br/desempenho-do-resfriamentoevaporativo-sobre-a-cobertura-em-climas-umidos/>>, acesso em 05/ago/2016.