

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
Curso de Engenharia de Civil

André Passos Gonçalves
Gabriel Almeida Mariano

Congelamento de tubulações hidráulicas

Bragança Paulista
2021

André Passos Gonçalves - 001201804108
Gabriel Almeida Mariano - 001201605532

Congelamento de tubulações hidráulicas

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: NOME DO ORIENTADOR

Bragança Paulista
2021

**André Passos Gonçalves
Gabriel Almeida Mariano**

Congelamento de tubulações hidráulicas

Tese aprovada pelo programa de Graduação
em xx/xx/xxx da Universidade São Francisco,
como requisito obrigatório para obtenção de
título de Engenheiro Civil

Data da Aprovação: __/__/__

Banca Examinadora:

RESUMO

Na busca pela economia de tempo e recursos em relação a manutenção de tubulação hidráulica, um novo processo foi criado e vem sendo cada vez mais utilizado. O processo de congelamento de tubulação hidráulica para manutenções de grandes redes tem como vantagem principal o fato de que a manutenção pode ser realizada sem a drenagem parcial ou total do sistema de água do estabelecimento.

O congelamento é realizado por meio de uma camisa acoplada na tubulação ligada a um fornecimento de nitrogênio líquido, que por meio de troca de calor, forma um tampão de gelo dentro do tubo com a própria água da tubulação, impedindo a passagem de água após o ponto congelado e permitindo que a manutenção ocorra sem a drenagem do sistema de água.

Neste trabalho, será realizado um estudo comparativo para verificar as vantagens e melhorias em relação camisa já utilizada para o congelamento e uma camisa nova, que possui isolamento térmico nos exteriores de suas chapas metálicas, como poliuretano, perlita e lâminas de alumínio térmicas.

Palavras chave: Congelamento hidráulico. nitrogênio. tubulação hidráulica. camisa. isolamento térmico.

ABSTRACT

In the quest to save time and resources in relation to the maintenance of hydraulic piping, a new process was created and is being used increasingly. The main advantage of the freezing process of hydraulic piping for maintenance of large networks is that the maintenance can be carried out without partial or total draining of the establishment's water system.

Freezing is carried out by means of a jacket coupled to the piping connected to a supply of liquid nitrogen, which by means of heat exchange, forms an ice plug inside the tube with the pipeline's own water, preventing the passage of water after the frozen point and allowing maintenance to take place without draining the water system.

In this work, a comparative study will be carried out to verify the advantages and improvements in relation to the jacket already used for freezing and a new jacket, which has thermal insulation outside its metal sheets, such as polyurethane, perlite and thermal aluminum sheets.

Key Words: Hydraulic freezing; nitrogen; hydraulic piping; jacket; thermal insulation.

SÚMARIO

INTRODUÇÃO	10
1 INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS.....	10
1.1 Projeto de instalação	10
1.2 Variações de linha hidráulica	10
1.3 Composição	10
2 NITROGÊNIO LÍQUIDO.....	10
2.1 Produto.....	10
2.2 Utilizações	10
3 TIPOS DE MANUTENÇÃO	10
3.1 Drenagem de linha	10
3.2 Congelamento de tubulação	10
4 METODOLOGIA	10
5 RESULTADOS	10
8 COMPARATIVOS DE RESULTADOS	10
CONCLUSÃO.....	10

INTRODUÇÃO

Em nossa sociedade atual, a busca pela economia e eficiência nos meios de processo é essencial para a maior rentabilidade do negócio. Com o avanço tecnológico, nos dias de hoje é possível obter novos processos, mesmo que com custos maiores, visando a economia no longo prazo.

De acordo com a ABRASCE (Associação Brasileira de Shoppings Centers) – o total de shoppings construídos no Brasil é de 577 (2019), obtendo um faturamento anual de R\$ 192,8 bilhões. Segundo a ANHP (Associação Nacional de Hospitais Privados) – o total de hospitais privados construídos no Brasil é de 6000 (2018), obtendo um faturamento anual de R\$ 83,7 bilhões. Também podemos considerar em nosso público alvo prédios comerciais em grandes centros urbanos, assim como aeroportos, onde em comum com os demais setores buscam constantemente inovação e novas possibilidades para obter um resultado melhor em gerenciamento de contas de suas unidades.

Partindo do princípio dos dados analisados acima, entendemos que nossas propostas para solucionar problemas desses grandes centros estão destinadas à eficiência no trabalho realizado e economia financeira no processo como um todo.

Nosso processo, mecanizado, destina-se a construções de alta complexidade focado especificamente no sistema de água do local. Instruímos em nossa sociedade a necessidade de economia energética e bens de consumo não duráveis, como água. Analisando o relatório de RI (relação com investidores) do fundo BRMALLS (2018) podemos notar que houve uma redução energética de 11% em relação ao ano anterior e que, 27 dos 28 shoppings presentes na rede BRMALLS possuem poço artesiano, e a implantação paulatina da rede de captação de água e sistema de reuso.

Com essas demandas do século XXI nosso trabalho passa a ser mais buscado onde por sua vez as mudanças na rede hidráulica de grandes empreendimentos como shoppings centers, impacta diretamente e positivamente no consumo final de energia.

Para realizar o processo de uma manutenção na rede hidráulica de uma grande rede é necessário fazer a parada do sistema de resfriamento do ar condicionado, para que a água não fique circulando durante a manutenção. Frisando a economia do uso de água, onde em grandes centros o sistema de resfriamento chega a 3.000 m³ utiliza-se o método de congelamento hidráulico ao invés da drenagem parcial ou total do sistema de água do estabelecimento. O método além de se tornar financeiramente e ecologicamente mais viável, proporciona uma forma de trabalho mais rápida e eficaz.

Nossa proposta como um todo para o método de congelamento hidráulico é a realização de uma melhora em seu sistema de resfriamento. Aplicando na camisa que envolve a tubulação por onde tem a entrega do N₂L (nitrogênio líquido) como também a melhora no sistema que transporta o líquido para a camisa, assim aumentando a eficiência, perdendo menos calor e tornando o processo mais eficaz e mais econômico.

O processo de especificação dos equipamentos são padronizados e dimensionados pela ASME (The American Society of Mechanical Engineers) seguindo cálculos específicos para a fabricação de cada camisa tendo sua variação a polegada a ser dimensionada.

1. INSTALAÇÃO HIDRAULICAS

1.1 Projeto de instalação

Um projeto de instalação hidráulica se torna necessário para uma boa estruturação e resultado final na obra. Mesmo com pouca utilização em obras menores como residenciais, sua atuação é de tamanha importância podendo impactar diretamente no consumo, ergonomia e projetos de ampliação futura de cada estabelecimento. Em obras de grande porte os impactos são ampliados pois deve haver uma boa estruturação do projeto para aproveitar ao máximo sua eficiência, tornando a obra não apenas mais sustentável, porém mais econômica.

O projeto do sistema hidrossanitário visa garantir níveis aceitáveis de higiene, segurança, funcionalidade, manutenção, economia e conforto dos usuários. (ASSUNÇÃO, 2013)

O projeto de instalação hidráulica fica responsável pela distribuição completa da rede, pressão adequada para os diversos pontos e variações de diâmetro, coleta e afastamento adequado das águas pluviais e das águas servidas, impedir o retorno de águas poluídas nas canalizações de alimentação dos aparelhos bem como na entrada de gases de esgotos, roedores ou insetos na edificação, criando, desta forma condições favoráveis ao conforto e segurança dos usuários. Para realizar as instalações hidráulicas de forma correta, é feito um projeto inicial que contém informações sobre a distribuição de água e outros, como as plantas de distribuição para água fria, água quente, esgoto, águas pluviais e drenagem, detalhes Isométricos para pontos de água fria, água quente, detalhes ampliados para arranjos de esgoto, detalhes gerais e legendas, memorial descritivo e memória de cálculo (dimensionamento da tubulação e reservatórios). Dessa forma, com esse projeto podemos dimensionar, definir os tipos de sistema para água fria, água quente, esgotos e águas pluviais, dimensionar, o caminhamento das tubulações e alimentação dos pontos e os reservatórios de água e sistemas de aquecimento.

A proposta do projeto de instalações hidrossanitárias é conceber a instalação de água fria com capacidade de atender aos usuários mediante fornecimento contínuo, com pressões e velocidades adequadas para o perfeito funcionamento das diversas peças de utilização. (ASSUNÇÃO, 2013)

1.2 Variações das linhas hidráulicas

Em projetos de grande porte é comum e necessário as variações de diâmetros nas linhas hidráulicas. Esse conceito está atrelado em alguns fatores físicos e econômicos. A princípio em uma tubulação de água gelada de grande porte, para resfriar toda a água do sistema é necessário uma tubulação de diâmetro maior, normalmente superiores as 10 polegadas e conforme a tubulação deriva para corredores e lojas, como por exemplo um shopping, pode ser encontrada em diâmetros de 1 polegada. Isso ocorre por questão de fatores econômicos, onde haveria um gasto muito maior tanto de água quanto energético para a movimentação e transposição dessa quantidade de água e também por questões físicas que influenciam no primeiro fator como a aplicação de diminuição de diâmetros para aumento da velocidade dentro do tubo. Esse principio garante um aproveitamento melhor da rede de água, gerando maior eficiência no sistema e trazendo um maior retorno econômico. A equação de Bernoulli é bastante eficaz na explicação dos fenômenos citados em dinâmica dos fluídos, bastando que seja mencionada a existência do gradiente de pressão. (GOMES, 2005)

1.3 Composição

Dentro da composição das instalações hidráulicas, há a unidade de resfriamento que é necessária para diminuir o consumo elétrico usado para resfriar a água durante o dia. No sistema de resfriamento de larga escala é instalada uma unidade de armazenamento da água resfriada no período noturno após o encerramento ou diminuição das atividades. Esta água, no dia seguinte, percorre o sistema hidráulico sem a necessidade de uma nova resfriação. Esse sistema concentrado de água permite deixar o processo mais prático econômico, pois a realização do resfriamento e o gasto de energia é feita apenas uma vez e em uma escala menor por causa da concentração do volume no tanque.

A tubulação presente no decorrer da construção contém um isolamento térmico com a função de manter o máximo do calor interno do tubo que fica em torno de 5° C. O sistema principal é composto pelo Chiller e HVAC.

Os sistemas HVAC possuem estruturas complexas que consistem em equipamentos de transferência de calor e massa, como chiller, caldeira, serpentinas de aquecimento/resfriamento e dutos de ar de suprimento. (AFRAM, JANABI-SHARIF, 2014).

Os sistemas HVAC também consistem em vários sensores e controladores para regular as variáveis controláveis, como temperatura da zona, temperatura do ar de suprimento, velocidade do ventilador de ar de suprimento, pressão estática do duto e temperatura da água resfriada em seus pontos de ajuste (AFRAM, JANABI-SHARIF, 2014).

A sigla HVAC se refere a Heating, Ventilating and Air Conditioning, que em português foi traduzida para: AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado. É uma sigla que refere-se à funções básicas e primordiais dos sistemas de climatização. Os sistemas HVAC possuem estruturas complexas que consistem em equipamentos de transferência de calor e massa, como chiller, caldeira, serpentinas de aquecimento/resfriamento e dutos de ar de suprimento. Essas três funções juntas compõem um sistema responsável por garantir a alta qualidade do ar, conforto térmico aos usuários.

A inclusão do “R”, como 4ª sigla: HVAC-R ou AVAC-R, diz respeito à função de Refrigeração, tornando o sistema mais amplo e completo. Os chillers são sistemas de aparelhos de ar condicionado com sistema baseado no resfriamento de água. Ele resfria grandes ambientes através de água gelada e não apenas fluido refrigerante. Esses equipamentos são indicados para refrigeração de grandes espaços. Sua potência é medida em toneladas de refrigeração, podendo chegar até 250 TR.

As principais vantagens de um sistema de água gelada que utiliza chillers são: carga de fluido frigorífico reduzida, eficiência energética e controle do processo.

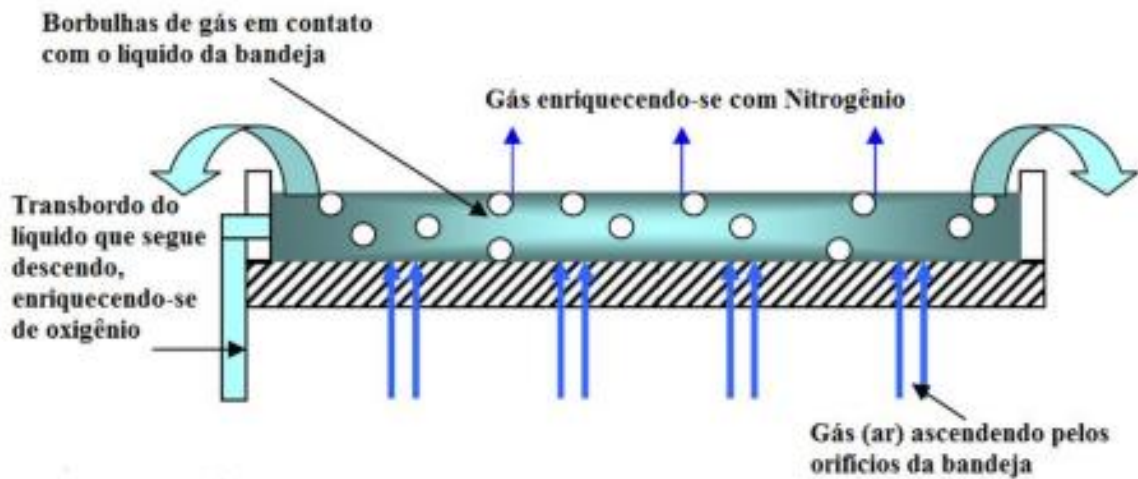
2. NITROGÊNIO LÍQUIDO

2.1 Produto

O Nitrogênio líquido, representado na tabela periódica pela letra N, é um produto incolor, pouco solúvel em água, inodoro e geralmente inerte. Seu meio inicial de obtenção é realizado por uma máquina industrial que faz a retirada do produto da sua maior reserva, a natureza. Após a introdução do ar na máquina é possível fazer a separação dos gases constituintes do ar, sendo os principais: Nitrogênio (78%), Oxigênio (21%) e CO₂ (1%) (MASTERS, 1997).

Após a separação na máquina, ocorre o processo de liquefação do produto, por meio da destilação do ar. Após a destilação do líquido, o produto é armazenado em tanques criogênicos, isolados termicamente com a função de prolongar o tempo de armazenamento. O produto é expansivo, então há uma necessidade de alívio de pressão em locais de armazenamento, fazendo com que o produto evapore ao longo do tempo quando armazenado. Na maioria dos casos, as plantas criogênicas, que são as responsáveis pela produção do líquido, estão acopladas em grandes centros industriais pois a maior parte de sua produção é destinada diretamente para a aplicação de algum processo da fábrica e as sobras dessa produção são destinadas ao armazenamento para outros fins de utilização (DALPIAZ, 2010).

O Nitrogênio líquido também é produzido industrialmente em larga quantidade pela destilação fracionada do ar líquido e é frequentemente designado pela abreviação, NL₂. O nitrogênio líquido entra em ebulição a -196,15°C e sua constante dielétrica é de 1,4. É um fluido criogênico que pode causar rápido congelamento ao contato com tecido vivo. (FERREIRA, 2014).



FONTE: DALPIAZ, L. M. Análise do fornecimento dos produtos da destilação criogênica do ar. Porto Alegre, 2010

Figura 1: Esquema da bandeja da coluna de destilação criogênica do ar.

Para o uso do nitrogênio industrialmente, como por exemplo, em congelamentos de tubulação hidráulica, o nitrogênio líquido pode ser armazenado em um caminhão tanque, onde é feita uma ligação do caminhão direto para a camisa, ou num cilindro denominado Liquid Cylinder, que tem um tamanho menor e é mais móvel.



Fonte: Gabriel Almeida, 2019

Figura 2: Caminhão tanque de nitrogênio ligado à camisa

2.2 Utilizações

O nitrogênio líquido oferece uma gama de utilizações extensa por sua principal característica: a temperatura negativa. Após a armazenagem em tanques criogênicos o produto pode ser utilizado na área da saúde em inseminação animal ou humana, remoção de verrugas e pintas da pele humana por meio da criocirurgia e marcação de gado. No setor industrial o nitrogênio pode ser utilizado para congelamento de alimentos que é realizado através de um tubo de congelamento horizontal (ROOS, 2013), laminação de aço e purga. Também é utilizado em outros setores como o resfriamento de computadores para atingir a capacidade máxima da máquina (overclocking). No setor da construção civil ele pode ser utilizado no resfriamento de cimento em grandes obras, como por exemplo na construção da usina de Itaipu, onde o nitrogênio faz o papel de controle do calor para que o concreto seja adicionado

mais rapidamente, trabalhando com um tempo menor no prazo de obra e proporcionando maior segurança na colocação da nova remessa de concreto (SOUSA, 2014). Também pode ser utilizado na hidráulica para congelamento de tubulações, onde é utilizado uma camisa que envolve o tubo com o objetivo de congelar a água, formando uma barreira de gelo impedindo a circulação de água com o objetivo de realizar reparos e trocas posterior ao ponto congelado.

3. TIPOS DE MANUTENÇÃO

3.1 Drenagem de linha

O processo de manutenção durante muito tempo foi desprezada pela maioria das organizações, pois era encarada como um conjunto de medidas desnecessárias, na qual apenas se gastava tempo e dinheiro. Porém nos últimos tempos, a sua importância foi percebida e as empresas destinam cada vez mais seus esforços, sejam eles financeiros ou de pessoal para a manutenção de seus dispositivos e instalações. A crescente competitividade entre fez com que a política da manutenção e os esforços aumentassem e observou-se na manutenção a oportunidade de grande economia, de forma acentuada na indústria, porém, também na manutenção predial. Com as construções com tamanho e complexidade cada vez maior e também a crescente preocupação com o meio ambiente, observa-se a necessidade de uma melhor administração no aspecto das manutenções. A não observância de ações de prevenção gera a não funcionalidade, queda acentuada de desempenho de equipamentos, diminuição da vida útil, menor confiabilidade e, também, maiores riscos aos usuários.

Observando a história a manutenção pode ser dividida em quatro fases: Primeira fase, durante o período da segunda guerra mundial, no qual se fazia apenas a limpeza e alguns reparos após falhas. Segunda fase, onde já no pós-guerra, anos 50, observou-se um aumento das demandas, devido as consequências da guerra e houve uma maior mecanização industrial (maior capital investido). Então passou-se a corrida por evitar falhas e quebras (manutenção preventiva). Terceira fase, anos 70, nesse momento a foco era na redução de estoques, surgia o conceito de “*just in time*” e paradas causam grandes prejuízos e também foram crescendo as preocupações com o meio ambiente (manutenção preditiva). A quarta fase é a atual, na qual se caracteriza pela busca incessante de minimizar falhas prematuras. A prática da manutenção preventiva perdeu espaço, pois se caracteriza por muitas paradas. E a corretiva, que ocorre somente após a falha, essa foi completamente descartadas. As técnicas de manutenção que apresentaremos são: a) Manutenção à Demanda ou Imprevista; b) Manutenção Preventiva; c) Manutenção Preditiva; d) Manutenção Detectiva; e) Otimização de Manutensibilidade.

A drenagem de rede hidráulica é um processo importante no custo e otimização da etapa da obra como os exemplos citados acima. A drenagem consiste em um processo simples de execução porém de complexidade de solução para a finalização dessa tarefa, uma vez que uma linha situada em um local de difícil ou então de extensão muito grande resultaria não apenas na dificuldade inicial de transposição da água mas também acarretaria a dificuldade de alocação do líquido.

A retirada do líquido drenado em linha após o corte da sessão do tubo pode ser feita por barris de água ou então um tubulação flexível que a ligue para uma saída próxima. Porém para levarmos em consideração a possibilidade de uma intervenção na rede por meio de drenagem de linha é preciso inicialmente saber a quantidade aproximada de água presente no tubo e isso vai ser uma variável da quantidade de válvulas presente no lugar. Se considerarmos por exemplo um corredor de shopping, hipoteticamente falando com uma extensão aproximada de 40 metros, uma tubulação de 3” comum em derivações de corredores. Baseado na fórmula (não sei uma referência com essa fórmula) $V = \pi \cdot \text{raio}^2 \cdot \text{altura}$. No nosso caso iremos utilizar o comprimento da tubulação como altura e 76,20 mm como diâmetro da tubulação aproximada de 3” (podendo variar de acordo com a parede desejada).

Sendo assim a equação se apresenta da seguinte forma: $V = \pi \cdot 38,1^2 \cdot 40$ e o resultado de aproximadamente 180 litros de água presente na tubulação. Porém esses valores podem ser muito maiores dependendo da tubulação presente no local e a extensão até ter 2 fechamentos de válvulas. Outro fator que pode influenciar em optar por uma intervenção de rede por meio de congelamento ou furação em carga é o acionamento de fluxo de água presente em bombas ou a não possibilidade de desligamento da CAG (central de água gelada) que faz parte do processo do Chiller citado acima. Sendo assim para a realização de drenagem de água é necessário se atentar em alguns fatores para que a execução do trabalho seja feita de forma correta.

3.2 Congelamento hidráulico

O processo de congelamento hidráulico é por si, um trabalho sustentável e econômico, trazendo benefícios diretos e indiretos para quem o utiliza, partindo do pressuposto da economia de água gerada ao fazer o bloqueio do sistema, assim como a eficiência tornando as trocas e reparos na linha hidráulica mais rápidas em relação a drenagem da rede. O processo pode realizado por meio da instalação da camisa metálica que envolve a tubulação onde possuem entradas e saídas para a circulação do produto a ser inserido, o nitrogênio líquido. Após a troca de calor gerada entre o produto com a tubulação, forma-se uma espécie de cilindro de gelo bloqueando a passagem da água antecessor ao bloqueio realizado.



Fonte: Gabriel Almeida, 2019.

Figura 3: Congelamento hidráulico em tubulação

Os materiais de construção das jaquetas de congelamento são de aço inoxidável, alumínio e fibra de vidro. (The American Society of Mechanical Engineers. 2015 – p. 84).

Com isso, é possível então realizar o trabalho de manutenção da rede hidráulica e após o término apenas é necessário que a própria rede de água faça o trabalho de derretimento de gelo formado. Sendo assim, o processo de congelamento, se aplicado em tubulações condizentes, passa a ser um meio mais econômico, rentável e ecológico do que a drenagem parcial ou total da rede.

A camisa do plugue de congelamento, mangueiras, tubulações e válvulas devem ser adequadas para temperaturas criogênicas. (The American Society of Mechanical Engineers. 2015 – p. 84).



Fontes: Gabriel Almeida, 2019.

Figura 4: Camisa utilizada em congelamentos hidráulicos

Um cuidado especial a ser tomado em um congelamento é a verificação do desligamento da “CAG”, pois o fluxo de água na tubulação impede a formação do gelo que irá interromper a passagem da água no corte da tubulação. Outro fator importante caso aja algum fluxo de água próximo é necessário fazer a verificação matemática da relação do gelo presente na tubulação e a proximidade do fluxo de água presente em uma linha próxima. Para esse cálculo podemos considerar o coeficiente de arrasto presente em aerodinâmica.

4. METODOLOGIA

Nosso projeto consiste em um teste para verificar se no processo de congelamento hidráulico com a camisa metálica é possível diminuir a troca de calor com o ambiente e como consequência diminuir o tempo de congelamento da tubulação ao usar uma camada de 7,5cm de revestimento de poliuretano expandido, um polímero de alta resistência usado como isolante térmico.

Para verificar se há alterações significativas no uso da camisa com isolante térmico foram feitos dois testes de congelamento, um sem o isolante e outro com o isolante, nas mesmas condições de ambiente e temperatura.

As simulações de congelamento da tubulação com a camisa metálica foram realizadas em uma tubulação montada para o teste apoiada numa base de sustentação. O avanço do congelamento foi definido por meio de duas marcações em cada lado da tubulação (lado A e lado B). As medidas das marcações foram de 3cm da camisa até a primeira marcação e de 2,5cm de distância entre cada marcação nos lados A e B.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 5: Montagem da camisa com indicação de marcação e lados.

Após as montagens e marcações, foi iniciado o teste de congelamento nas seguintes condições: temperatura externa de 31°C e temperatura da água de 24°C no momento que foi preenchida a tubulação. Para o preenchimento da linha nos dois testes foram colocados 12 litros de água.

Após o preenchimento da tubulação foi aferido à pressão interna do caminhão taque com capacidade de 9.800m³ concedido pela empresa Criomec para o teste e o equipamento se encontrava com uma pressão interna de 5 bars.

O congelamento foi realizado da seguinte maneira: foi aberto $\frac{3}{4}$ da válvula de 1 polegada do caminhão por 5 minutos e após isso deixamos a vazão em $\frac{1}{2}$ volta da válvula para que o congelamento se iniciasse de uma maneira mais forte para resfriamento da água e depois fosse apenas mantido para ver o avanço do gelo. A mangueira de entrada estava plugada no lado B, onde seu avanço consequentemente seria mais rápido por conta da maior entrada de produto.

Com as condições estabelecidas foi cronometrado o tempo de cada avanço, acompanhado pelo diretor da empresa e engenheiro mecânico Mauro Chierigati. Os registros foram feito via telefone e com o cronometro, acompanhados pelo engenheiro responsável.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos do congelamento sem isolamento térmico com as condições apresentadas acima estão apresentados na tabela abaixo:

	Avanço para a medida de 3cm	Avanço para a 1ª marcação
LADO A	13m	18min40s
LADO B	9min50s	14min20s

Tabela 1: Resultados em tempo do congelamento sem isolamento térmico.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 6: Avanço de 3cm no lado B.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 7: Avanço de 3cm no lado A.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 8: Avanço de 2,5cm no lado B.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 9: Avanço de 2,5cm no lado A.

Após a finalização do teste, foi feita a drenagem da rede, para verificar se o volume drenado era menor que o volume de entrada no início do congelamento. Foram drenados 5 litros de água, que era menor do que o volume adicionado de 12 litros no momento do teste. O congelamento inteiro foi realizado em 19 minutos.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 10: Drenagem de água após congelamento.



FONTE: Gabriel Almeida, 2021

Figura 11: Congelamento finalizado.

Os resultados do congelamento realizados com a camisa revestida com o isolamento térmico e com as condições apresentadas acima estão demonstrados na tabela abaixo:

	Avanço para a medida de 3cm	Avanço para a 1ª marcação
LADO A	8m20s	13min35s
LADO B	6min40s	10min56s

Tabela 2: Resultados em tempo de congelamento com isolamento térmico

Após os dois testes, foi realizada a drenagem da rede e em ambos os testes foram retirados 5 litros de água, que era menor do que o volume adicionado de 12 litros no momento do teste. O congelamento com isolamento térmico inteiro foi finalizado com 14 minutos e sem isolamento térmico foi finalizado em 19 minutos. Comparando os dois resultados, foi verificado uma redução do tempo de congelamento de 27%.

CONCLUSÃO

Após a realização dos testes, foi possível verificar que a camisa metálica com isolamento térmico tem capacidade de reduzir a troca de calor com o ambiente em um congelamento de tubulação e por consequência, diminuir o tempo de congelamento, que significa uma redução não só de tempo de trabalho, mas uma economia de recursos financeiros.

Se considerarmos que um caminhão, normalmente utilizado nesse tipo de congelamento, é capaz de fornecer 150m³/h, no teste sem isolamento foram utilizados 47m³ e no com isolamento 35m³. Usando a média de preço de R\$4,70 por m³, a utilização da camisa com isolamento térmico traria uma economia de R\$56,40.

A confecção de uma camisa metálica com isolamento utilizada nos testes, com 3 polegadas, teve um custo de aproximadamente R\$750,00, valor que seria pago no primeiro trabalho de um congelamento cobrado por uma empresa especializada.

Se calculássemos esses valores dentro de uma empresa de congelamento térmico, como a Opertec Engenharia, a visualização da economia é ainda mais palpável. A Opertec, utilizou de nitrogênio para uso exclusivo de congelamento, no último 1 ano e meio, 24.980m³, considerando o preço médio do nitrogênio por R\$4,70, chegando no valor total de R\$117.406,00. Se considerar uma economia de 25% usando a camisa, para já contar com as perdas do nitrogênio, são 6.245m³ a menos de nitrogênio, e R\$20.351,50, uma economia bem considerável para a empresa.

Por todos esses aspectos, é possível concluir que mesmo considerando os investimentos com a camisa metálica com revestimento, a economia de tempo e financeira ao utiliza-la viável e positiva.

REFERÊNCIAS

1. ASSUNÇÃO, L. V. et al. Apostila de instalações hidráulicas prediais. PUC Goiás, 2013.
2. GOMES, R. A. As aplicações da equação de Bernoulli na dinâmica dos fluídos. Uberlândia, 2005.
3. AFRAN, A. JANABI-SHARIFI, F. Review of modeling methods for HVAC systems. *Applied Thermal Engineering*, p. 507-519, 2014
4. MASTERS, G. M. Introduction to environmental engineering and science. 2nd. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1997
5. DALPIAZ, L. M. Análise do fornecimento dos produtos da destilação criogênica do ar. Porto Alegre, 2010.
6. FERREIRA, A. M. C. A Química dos Não-Metals: Oxigênio, Nitrogênio, Enxofre e Fósforo. São Paulo, 2014.
7. ROOS, R. Ventilação variável como estratégia para redução do consumo energético em túneis de congelamento. Alegrete, 2013.
8. SOUSA, A. L.; et al. Retração térmica e fissuração em concreto por calor de hidratação. Goiânia, 2014.
9. BORGES, J. CIUFFO, M. C. CRUZ, S. F. S. Furação em carga e plugueamento em gasodutos. Rio de Janeiro, 2003.
10. Emerson Process Management. Control Valve Handbook. U.S.A. Fisher Controls Internation Llc 2005.
11. MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. Soldagem I Introdução aos processos de soldagem. São Paulo, 2006.
12. WAINER, Emilio; BRANDI, Sergio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. Soldagem: Processos e metalurgia. São Paulo, 2012.
13. SETTON, Elie. Estudo comparativo entre tubos de aço inoxidável austenítico com e sem costura. São Paulo, 2015.