

**ADAPTAÇÃO DE UMA VÁLVULA TERMOSTÁTICA DE SEGURANÇA  
PARA CHUVEIRO**

**ENGENHARIAS - USF**

*ADAPTATION OF A SAFETY THERMOSTATIC VALVE FOR SHOWER*

Anselmo Bueno de Oliveira Júnior  
Thomas Nielson Hayashi Nascimento  
Professor Eugênio de Souza Morita

Universidade São Francisco

[aboliveira.jr@gmail.com](mailto:aboliveira.jr@gmail.com) | [thomasnielsonhn@gmail.com](mailto:thomasnielsonhn@gmail.com)

Alunos do Curso de ENGENHARIA MECÂNICA, Universidade São Francisco;

Campus ITATIBA

Professor Orientador Eugênio de Souza Morita.

**RESUMO.** Com a busca cada vez maior pela sustentabilidade, a adesão de sistemas que utilizam energia solar para aquecimento de água tem aumentado significativamente. Apesar de ser mais eficiente e apresentar menor consumo de energia elétrica, um ponto questionado na utilização deste equipamento foi em relação à segurança, pois foi constatado que o sistema carece de um dispositivo que elimine o risco do usuário sofrer queimaduras em caso de falha no sistema ou simplesmente falta de informação em relação ao ajuste de temperatura do banho. Neste projeto, foi desenvolvido um dispositivo de segurança que interrompe o fluxo de água para o chuveiro quando a temperatura estiver maior que a recomendada ou não for adequada composto por uma válvula termostática com acionamento baseado na troca de calor da água com o tubete da válvula, utilizando o fenômeno da dilatação térmica dos materiais para realizar o bloqueio do fluxo. O foco principal no projeto do dispositivo foi a de realizar a definição e o ajuste correto da temperatura de funcionamento da válvula de simples funcionamento e baixo custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Válvula termostática, sistemas de segurança, aquecedor solar, chuveiro.

**ABSTRACT.** With the increasing demand for sustainability, the accession for systems that use solar energy has grown significantly. Although the system shows to be more efficient and have a lower consumption, a questioned point in the use of this method was related to safety, since it was found that the system needs a device that eliminates the risk of the user suffer several burn in case of system failure or simply lack of information about the bath temperature adjustment. This project seeks to develop a safety device that interrupts the flow to the shower when the water temperature is over the recommended or not properly. This device is a thermostatic valve with a drive totally based on heat exchange of the water with the barrel of the valve, using the material thermal expansion phenomenon to perform the opening and closing of the flow. The goal of the device development is set and adjust a properly valve operation temperature, developing a simple operation and low cost product.

**KEYWORDS** Thermostatic valve, safety systems, solar energy heating systems, shower.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento frequente dos custos de energia elétrica, a sociedade vem buscando soluções mais eficientes e sustentáveis para a realização das tarefas do dia a dia. Uma solução bastante conhecida e sustentável é o sistema de aquecimento solar para água de banho. O conceito já existe há mais de 120 anos, sendo difundido no Brasil somente nos anos 70. Após os anos 90, a adesão a esta tecnologia tem aumentado consideravelmente e com isso os custos para aquisição do sistema estão cada vez mais acessíveis através dos incentivos fiscais e aumento de escala de produção.

O crescimento na utilização deste sistema trouxe consigo também acidentes ocasionados por queimaduras na pele causados pela água quente, devido ao ajuste inadequado do chuveiro ou a parada repentina da mistura de água fria, ou seja, ausência de um sistema e ou dispositivo de segurança.

A pele é o maior órgão do corpo humano, sendo responsável por funções fundamentais como o ajuste térmico corporal e controle da perda de líquidos, além de ter grande função sensorial devido suas terminações nervosas (LUPI, 2013).

As queimaduras são lesões nestes tecidos ocasionadas pela ação direta ou indireta de agentes em alta ou baixa temperatura e são divididas em diferentes níveis: primeiro, segundo e terceiro grau. O grau com que a pele é danificada depende de diversos fatores, incluindo a vascularização do local, idade e a duração e intensidade da troca energética entre a pele e a matéria.

Segundo um fabricante de aquecedores solares SOLAREM (2017) a temperatura da água pode chegar a 90° C em dias quentes, aumentando os riscos de queimadura devido à temperatura elevada da água de banho.

Dependendo da gravidade da lesão, além da dor intensa pode haver o surgimento de bolhas e cicatrizes no tecido humano que exijam tratamento diferenciado, e em alguns casos a cicatrização pode demorar dias e até mesmo ser irreparável sem um procedimento cirúrgico, ocasionando também um problema estético.

Diante desta situação foi desenvolvido um sistema de proteção baseado em um ajuste da temperatura segura para banho, com o intuito de reduzir estes riscos com princípio de funcionamento baseado na dilatação térmica de materiais.

Este estudo teve por objetivo desenvolver um sistema de proteção baseado em um mecanismo simples e de custo acessível que, após ser ajustado em uma temperatura específica, seja capaz de interromper o fluxo de água de um chuveiro em casos onde a temperatura da água exceda níveis seguros.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Para o completo entendimento sobre o funcionamento de uma válvula termostática, faz-se necessário levar em consideração os conceitos de propriedades térmicas, termodinâmica, transferência de calor e mecânica dos fluidos para que todo o trabalho desenvolvido nestes sistemas obtenha resultados satisfatórios.

### *Propriedades Térmicas*

Para o entendimento das propriedades térmicas deve-se estudar a resposta ou reação de determinados materiais quando submetidos à um gradiente de temperatura. Quando um sólido absorve calor, sua temperatura aumenta e sua energia interna também. Os dois tipos principais de energia térmica em um sólido são a energia vibracional dos átomos ao redor de suas posições de equilíbrio e a energia cinética dos elétrons livres (PADILHA, 1997).

### *Capacidade Térmica*

Considerando massas idênticas de dois materiais diferentes à mesma temperatura inicial e fornecer uma mesma quantidade de calor a cada um deles, os dois atingirão temperaturas finais de equilíbrio diferentes. A capacidade térmica é a propriedade que indica a aptidão do material em absorver calor do meio externo. Ela representa a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de uma unidade (PADILHA, 1997). A definição matemática da capacidade térmica  $C$  [kJ/°C] é dada pela equação 1:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Onde

$dQ$  é a energia [kJ] necessária para produzir uma mudança  $dT$  [°C] de temperatura.

As unidades mais comuns de capacidade térmica são J/mol\*K ou cal/mol\*K. Frequentemente, utiliza-se o termo calor específico para representar a capacidade térmica por unidade de massa [J/kg\*K]. O calor específico pode ser determinado mantendo-se o volume do material constante ( $c_v$ ) ou à pressão externa constante ( $c_p$ ). As definições termodinâmicas de  $c_v$  e  $c_p$  são citadas na equação 2 (PADILHA, 1997, p. 290):

$$c_v = \left(\frac{dE}{dT}\right)_v \text{ e } c_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p \quad (2)$$

Onde

$E$  é a energia interna e  $H$  é a entalpia, ambas em [kJ/kg]

A energia interna e a entalpia estão relacionadas na equação 3:

$$H = E + PV \quad (3)$$

O calor específico à pressão constante ( $c_p$ ) é sempre ligeiramente maior que o calor específico a volume constante ( $c_v$ ). Em outras palavras, para os sólidos a entalpia e a energia interna são muito similares.

Para a maioria dos sólidos, a principal maneira de acumulação de energia é pelo aumento da energia vibracional dos seus átomos. Os átomos nos sólidos, acima de 0 K, estão sempre vibrando com frequências muito altas e com pequenas amplitudes. As vibrações dos átomos não ocorrem isoladamente, pois eles estão acoplados aos seus vizinhos pelas ligações atômicas. Estas vibrações são coordenadas e se comportam como ondas atravessando o material. Estas ondas podem ser imaginadas como ondas elásticas ou ondas sonoras que se propagam no cristal com altas frequências (comprimentos de onda curtos) e com a velocidade do som (PADILHA, 1997).

### *Expansão Térmica*

Na ausência de transformações de fase, a maioria dos sólidos aumenta suas dimensões durante o aquecimento e apresenta contração durante o resfriamento (PADILHA, 1997).

O coeficiente de dilatação térmica linear ( $\alpha_L$ ) é definido na equação 4:

$$\alpha_L = \frac{l_f - l_i}{l_i (T_f - T_i)} \quad (4)$$

Onde

$l_i$  é o comprimento inicial [m];

$l_f$  é o comprimento final [m];

$T_i$  é a temperatura inicial [°C] e

$T_f$  é a temperatura final [°C].

Em termos de variação de volume pode-se escrever na equação 5 que:

$$\alpha_v = \frac{V_f - V_i}{V_i (T_f - T_i)} \quad (5)$$

Onde

$\alpha_v$  é o coeficiente volumétrico de dilatação [°C<sup>-1</sup>];

$V_i$  é o volume inicial [m<sup>3</sup>];

$V_f$  é o volume final [m<sup>3</sup>];

$T_i$  é a temperatura inicial [m<sup>3</sup>];

$T_f$  é a temperatura final [m<sup>3</sup>].

A dilatação térmica nos sólidos tem origem na variação assimétrica da energia (ou força) de ligação com a distância entre os átomos, em outras palavras, durante o aquecimento os átomos aumentam sua frequência e amplitude de vibração e, como as forças de repulsão são sempre maiores que as de atração, a distância média entre os átomos aumenta.

Para muitas aplicações a expansão térmica tem importância crucial. Gradientes de temperatura em um mesmo material ou diferença de coeficiente de dilatação entre materiais diferentes podem acarretar tensões e distorções em componentes e peças (PADILHA, 1997).

### ***Condutividade Térmica***

A condução térmica é o fenômeno pelo qual calor é transportado das regiões de alta temperatura para as regiões de baixa temperatura de um material. A propriedade que caracteriza a habilidade de um material para transferir calor é a condutividade térmica. Em um fluxo estacionário de calor a equação 6 representa (PADILHA, 1997):

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (6)$$

Onde:

$q$ : representa o fluxo de calor, isto é, a quantidade de calor transportada por unidade de área e por unidade de tempo (em  $\frac{J}{m^2} * s$  ou  $\frac{W}{m^2}$ );

$k$ : é a condutividade térmica (em  $\frac{W}{m} * K$ ) e

$\frac{dT}{dx}$ : é a gradiente de temperatura no meio condutor (K/m ou °C/m).

### ***Perda de carga***

Entende-se por perda carga toda perda de energia através do sistema, seja ele pelas tensões causadas dentro do próprio fluido (viscosidade), geometria dos dispositivos que compõe um sistema de bombeamento (cotovelos, curvas, conexões, válvulas, etc) e perdas pela relação entre a inércia-viscosidade do fluido.

Podem ser consideradas que estas perdas são geradas pela extensão da tubulação, tendo como maior responsável o fator de atrito e a gravidade, ou por perdas localizadas, dependendo do formato de seus componentes como citado anteriormente (curvas, cotovelos, etc.) e pela quantidade de abertura de uma válvula. Um fator muito importante e difícil de ser calculado é a perda de carga em relação à quantidade de abertura de uma válvula de controle, pois estas válvulas podem variar sua abertura continuamente no processo (MACINTYRE, 1997).

Alguns fabricantes disponibilizam tabelas com os valores de perda da válvula totalmente aberta, porém em outros casos devem ser realizados ensaios experimentais para a definição destas perdas.

### ***Viscosidade dinâmica e cinemática***

Influencia diretamente no deslocamento, no tipo de turbulência e nas perdas de energia durante o transporte de fluidos em tubulações, dutos e canais.

A viscosidade é uma espécie de atrito interno originado pelas forças de atração entre as moléculas, sendo assim uma espécie de aderência interna. Tem relação direta com a temperatura do fluido, quanto maior a temperatura maior a agitação das moléculas, tornando

as forças intermoleculares com intensidade menor, o que acaba deixando o material menos viscoso. Considerando-se o óleo lubrificante sua viscosidade diminui com o aumento da temperatura.

Os fluídos viscosos são classificados em newtonianos e não newtonianos. Os fluidos são considerados newtonianos quando a variação da velocidade é diretamente proporcional à tensão de cisalhamento. Os fluídos mais comuns como o ar, água e alguns óleos finos são considerados newtonianos.

A viscosidade dinâmica se refere à quantidade de força necessária para mover uma unidade de área até uma unidade de distância (ROTAVA, 2011).

Viscosidade aparente é dada pela equação 7:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\text{taxa de deformação}} \quad (7)$$

Onde:

$\mu_a$  = Viscosidade aparente (N.s/m<sup>2</sup>)

$\tau$  = Tensão cisalhante (N/m<sup>2</sup>)

A viscosidade cinemática está diretamente relacionada à massa específica, sendo assim definida pela equação 8:

$$\vartheta = \frac{\mu_a}{\rho} \quad (8)$$

Onde:

$\vartheta$  = Viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s)

$\mu_a$  = Viscosidade aparente (N.s/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>)

### ***Regimes de escoamento laminar, transitório e turbulento***

O escoamento de fluídos em uma tubulação pode apresentar três tipos de regime, sendo definidos como: Laminar, Transitório e Turbulento. A definição desses escoamentos segundo Rotava (2011), é obtida da seguinte forma:

No escoamento laminar a velocidade de escoamento do fluído é menor, sendo assim, as moléculas do fluído não se misturam, formando um filete uniforme na tubulação somente na direção do escoamento. A resistência ao escoamento tem uma influência significativa apenas na viscosidade do fluído.

No regime transitório ou indeterminado a velocidade de escoamento é um pouco mais alta, formando pequenos turbilhões na tubulação, sendo esses turbilhões instáveis e localizados. Neste regime, a resistência ao escoamento começa a ser maior, pois algumas características como a rugosidade da tubulação se tornam mais relevantes devido aos pequenos choques das moléculas com a parede do duto. Nesta ocasião, a definição da resistência de escoamento não é possível devido à instabilidade do fluxo.

Quando o fluído atinge certa velocidade, os turbilhões deixam de ser localizados e se desenvolvem por toda a seção da tubulação, atingindo assim o regime turbulento. Neste regime, o choque das moléculas com a parede da tubulação se torna tão frequente e intenso que o valor da viscosidade e massa específica do fluído diminuindo sua importância na avaliação da resistência de escoamento que a rugosidade do tubo.

O comportamento dessas características foi estudado por Osborne Reynolds que definiu um parâmetro numérico para representar esses regimes. Este parâmetro adimensional  $Re$  é calculado através da seguinte expressão apresentada na equação 9:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu_a} = \frac{v \cdot D}{\vartheta} \quad (9)$$

Onde:

- $v$  = Velocidade média do fluido no duto (m/s);
- $\rho$  = Massa específica do fluido;
- $\vartheta$  = Viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s);
- $\mu_a$  = Viscosidade dinâmica ou aparente (N.s/m<sup>2</sup>);
- $D$  = Diâmetro interno da tubulação (m);

Conforme Rotava (2011) foi constatado por Reynolds que os regimes de escoamento respeitam as seguintes condições:

*Tabela 1 - Tipo de regime de acordo com o número de Reynolds (ROTAVA, 2011).*

<b>Regime segundo o número de Reynolds</b>	
Escoamento em Regime Laminar	$Re < 2100$
Escoamento em Regime Transitório	$2100 \leq Re \leq 4000$
Escoamento em Regime Turbulento	$Re > 4000$

### ***Perdas de carga localizadas e fator de atrito utilizando diagrama de Moody***

Em um sistema existem diversos fatores que podem dificultar o escoamento além do atrito entre a tubulação e o fluido, sendo eles: cotovelos, curvas, válvulas, e etc.

Para determinar essas perdas de carga é necessário estimar a energia perdida no escoamento do fluido no interior de uma tubulação. Essa energia/força é denominada fator de atrito, e tem como principais fatores atuantes a rugosidade do duto, viscosidade do fluido e geometria da área de escoamento.

O fator de atrito para um escoamento laminar sofre pouca influência da rugosidade é definido pela equação 10 (WHITE, 2011):

$$f_l = \frac{64}{Re} \quad (10)$$

Onde:

- $f_l$  = Fator de atrito laminar (-);
- $Re$  = Número de Reynolds (-).

Para o escoamento turbulento, White (2011) menciona a equação de Colebrook-White para o escoamento rugoso:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2. \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (11)$$

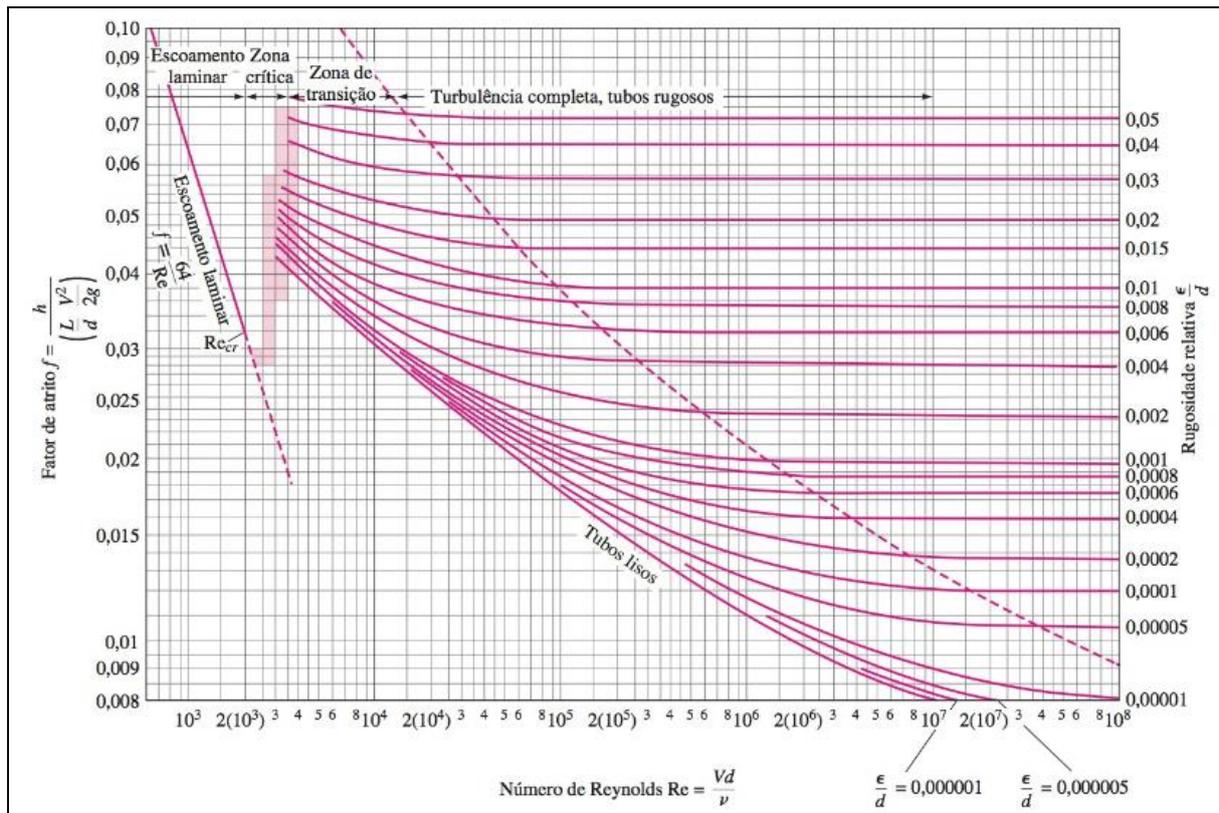
Onde:

- $f$  = Fator de atrito (-);
- $\varepsilon$  = Rugosidade do duto (-);
- $D$  = Diâmetro da seção (m);
- $Re$  = Número de Reynolds (-);

Segundo White (2011), em 1944 Moody utilizou a equação de Colebrook-White e desenvolveu o hoje chamado de Diagrama de Moody. Este diagrama pode ser utilizado para identificar o fator de atrito em escoamentos para tubos circulares ou não circulares e também para escoamentos em canais abertos.

Na faixa de transição do escoamento laminar para o turbulento não existem fatores de atrito confiáveis que podem ser utilizados. Estas faixas estão representadas no diagrama de Moody por uma área sombreada, como se pode observar na sequência (WHITE, 2011):

Figura 1 - Diagrama de Moody para o atrito em tubos com paredes lisas e rugosas (WHITE, 2011).



Rotava (2011) menciona três métodos matemáticos, sendo eles: cálculo do coeficiente de resistência, cálculo do comprimento equivalente e método dos dois coeficientes.

Todos estes métodos são um complemento da equação de Darcy-Weisbach que, segundo Potter e Wiggert (2004), expressa a perda de carga na equação 12:

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (12)$$

Onde:

- $H_L$  = Perda de carga (mca)
- $f$  = Fator de atrito (-);
- $L$  = Comprimento do duto (m);
- $D$  = Diâmetro da seção (m);
- $v$  = Velocidade média do fluido no duto (m/s);
- $g$  = Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>);

Consequentemente, ao encontrar a perda de carga podemos encontrar a queda de pressão utilizando a expressão 13 (POTTER; WIGGERT, 2004):

$$H_L = \frac{\Delta (p + \gamma \cdot h)}{\gamma} \quad (13)$$

Onde:

$H_L$  = Perda de carga (mca)

$p$  = Pressão (Pa);

$\gamma$  = Peso específico do material (N/m<sup>3</sup>);

$h$  = altura hidrostática (m);

Ao analisar os métodos apontados por Rotava (2011) tem-se:

Para o cálculo do coeficiente de resistência a expressão 14:

$$K = \frac{L}{D} \cdot f_T \quad (14)$$

Onde,

$K$  = Coeficiente de Resistência adimensional (-);

$L$  = Comprimento (m);

$D$  = Diâmetro da seção (m);

$f_T$  = Fator de atrito (-).

22: Para calcular utilizando o método do comprimento equivalente utiliza-se a expressão

$$L_e = D \cdot \frac{K}{f} \quad (15)$$

Onde:

$L_e$  = Comprimento equivalente (m);

$K$  = Coeficiente de Resistência adimensional (-);

$f$  = Fator de Atrito (-);

$D$  = Diâmetro da seção (m).

No método dos dois coeficientes  $K_1$  e  $K_\infty$  os fatores mais influentes no cálculo são o número de Reynolds e a geometria da conexão, enquanto os dois métodos anteriores ignoraram o escoamento laminar ao apresentar valores para  $K$  e  $L/D$ . A expressão empregada para o cálculo é definida na equação 16:

$$K = \frac{K_1}{Re} + K_\infty \left( 1 + \frac{1}{0,0393 \cdot D} \right) \quad (16)$$

Onde:

$K_\infty$  =  $K$  de uma conexão quando  $Re \rightarrow \infty$ ;

$K_1$  =  $K$  de uma conexão quando  $Re = 1$ ;

$D$  = Diâmetro da seção (-);

$Re$  = Número de Reynolds (-).

No caso de válvulas tipo globo, são apresentados os respectivos valores:

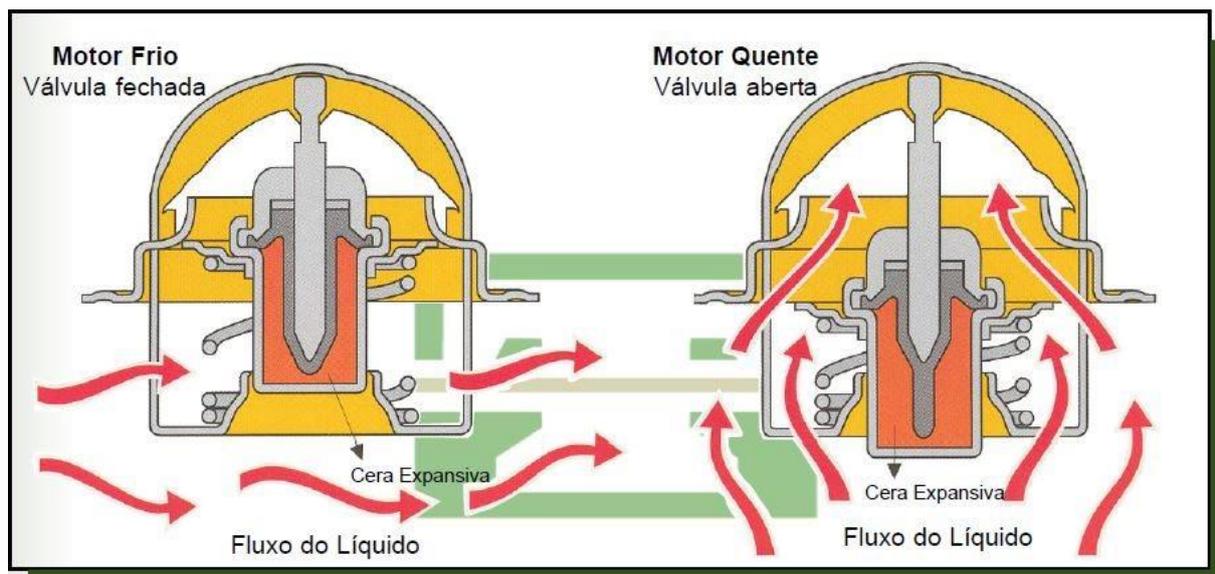
Tabela 2 - Valores do coeficiente de resistência para válvulas tipo globo (ROTAVA, 2011).

Modelo	$K_1$	$K_\infty$
Standart	1500,0	4,0
Tipo Y	1000,0	2,0

**Válvula Termostática Automotiva**

Segundo o fabricante de peças automotivas Mte-Thomson (2017), a válvula termostática é um componente instalado geralmente entre o motor e o radiador dos automóveis. Sua função é proporcionar um aquecimento mais rápido do motor e depois manter a temperatura dentro de uma faixa ideal de trabalho, controlando o fluxo de líquido de arrefecimento, do motor para o radiador. Na imagem a seguir é possível compreender melhor o funcionamento de uma válvula termostática no motor.

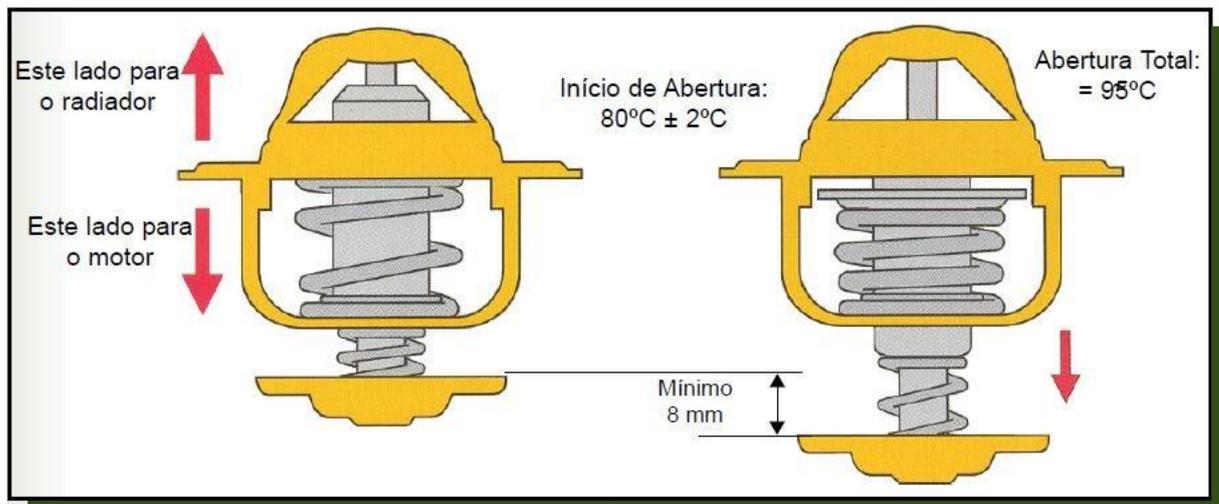
Figura 2 - Funcionamento de uma válvula termostática automotiva (MTE-THOMSON, 2017).



Enquanto o motor está frio, o líquido circula somente em suas galerias internas, para aquecer-se rapidamente. Ao atingir a temperatura especificada, a válvula abre-se através da ação da cera expansiva (aumenta seu volume em função da temperatura) permitindo que o líquido passe para o radiador, abaixando a temperatura e mantendo a pressão no sistema. Quando o motor esfria, a válvula fecha-se novamente.

Considerando que cada motor funciona a uma temperatura específica, as válvulas termostáticas também são específicas. Cada válvula possui uma temperatura calibrada, indicada por um código, onde a abertura e o fechamento já estão pré-determinados. Na figura 3 pode-se observar a instalação da válvula (MTE-THOMSON, 2017).

Figura 3 - Posição de montagem da válvula termostática (MTE-THOMSON, 2017).



### Válvula de retenção

A válvula de retenção, válvula sem retorno ou de sentido único tem a função de permitir que o líquido ou o ar flua em apenas uma direção. Uma válvula de retenção permite o fluxo em uma direção e automaticamente evita o fluxo de retorno (fluxo reverso) em uma linha hidráulica ou pneumática. É uma das poucas válvulas automáticas existentes no mercado e que não requerem resistência para abrir e fechar.

As duas principais características da válvula de retenção é que nenhuma intervenção humana é necessária para que ela opere e sua alimentação é somente por fluxo e pressão diferencial.

Uma válvula de retenção pode ser normalmente aberta ou normalmente fechada. Se for normalmente aberta, o fluxo ocorrerá normalmente a não ser que uma pressão de refluxo feche a válvula. Se por outro lado for uma válvula normalmente fechada, ela irá abrir quando houver pressão suficiente na direção do fluxo para atingir ou exceder a pressão de fissuração da válvula. Para este projeto a válvula atuará em condição normalmente aberta.

### METODOLOGIA

Embora o projeto tenha como foco desenvolver um novo dispositivo de segurança, a intenção foi unir tecnologias já existentes no mercado, com isso os custos com a manufatura de componentes tendem a ser consideravelmente reduzidos. A ideia foi utilizar a tecnologia dos atuadores térmicos aplicados nas válvulas termostáticas automotivas e introduzir este mecanismo em um sistema de válvula de retenção de água (dispositivo já utilizado em sistemas hidráulicos residenciais e industriais).

Para o desenvolvimento do projeto é necessário conhecer o funcionamento do atuador da válvula termostática que comumente é chamado de “Tubete” responsável por empurrar a haste do atuador e gerar a ação mecânica em função da variação de temperatura. Esta ação mecânica é resultante da expansão da parafina contida dentro da cápsula. Abaixo é possível observar o desenho do tubete utilizado no projeto.

Figura 4 – Desenho do Tubete de acionamento da válvula (Fonte: Próprio Autor / Programa Solidworks).



O tubete utilizado foi removido de uma válvula termostática automotiva da marca MTE THOMSON modelo VT288.80 que originalmente tem atuação entre 80 e 86°C, a haste que acompanha a válvula e fica inserida no tubete foi removida e deu lugar a haste do tampão da válvula de retenção (que foi usinado nas mesmas dimensões da haste que trabalha no tubete), a seguir é possível observar o conjunto com o tampão da válvula de retenção já usinado e a mola de retorno.

Figura 5 – Tubete de acionamento, tampão e mola de retorno (Fonte: Próprio Autor).



Para alojar o conjunto foi utilizado uma válvula de retenção de diâmetro 1” em latão da marca Double-Lin. Este modelo de válvula é originalmente normal fechada e seu controle é realizado por mola. Foi realizada uma alteração na qual a válvula passou a atuar em condição normal aberta e o sentido de fluxo foi invertido.

O tubete foi acoplado ao corpo da válvula de retenção de modo que o fluxo de água quente percorrer a peça e permitir o acionamento do atuador. A haste móvel do atuador foi acoplada ao tampão da válvula de retenção no qual o avanço da haste foi responsável pelo bloqueio do fluxo de água. Para acoplar o tubete foi necessário usinar os suportes internos que antes sustentavam a haste do tampão, realizando-se o fresamento e retífica de modo a centralizar o tubete na válvula (conforme figura 6).

*Figura 6 – Acoplamento tubete e válvula (Fonte: Próprio Autor).*



A pressão de água da rede auxilia o atuador para o fechamento da válvula, porém o desacoplamento do tampão só é possível com o auxílio de uma mola de retorno que foi instalada do lado oposto do tampão (conforme figura 5). Quando o sistema estiver bloqueado, a pressão de água da rede vai travar o tampão da válvula (mesmo após o desligamento da rede de água), para permitir o resfriamento do tubete e o conseqüente desacoplamento da válvula. O tampão possui um orifício de 2 mm de diâmetro que permite a passagem de uma pequena quantidade de água pela válvula (conforme figura 7), possibilitando a equalização das pressões antes e depois da válvula. Enquanto o tubete permanece expandido (devido ao calor) uma quantidade mínima de fluxo de água passa através do conjunto retirando a água quente da válvula, liberando a entrada de água fria de modo a resfriar o atuador, ocasionando no encolhimento da válvula para dentro do tubete através da atuação da mola. Após este processo o sistema retorna ao funcionamento normal e a válvula permanece aberta. As figuras abaixo apresentam a sequencia final dos componentes da válvula e a estrutura montada.

Figura 7 – Sequência de montagem da válvula (Fonte: Próprio Autor | Programa Solidworks).

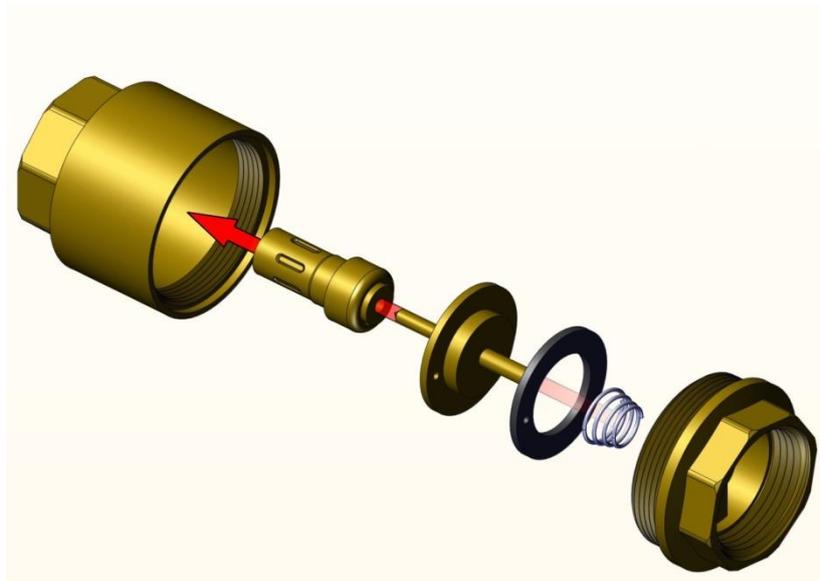
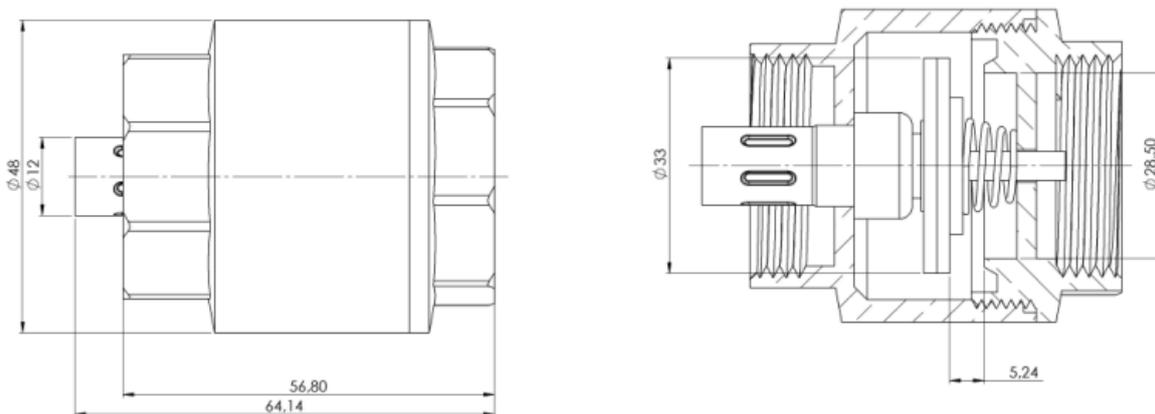


Figura 8 – Válvula montada (Fonte: Próprio Autor | Programa Solidworks).



Para garantir que não ocorra interferência do funcionamento da válvula na vazão do chuveiro foi considerado que a linha de água poderá chegar até 3,5 mca (metros de coluna de água) de pressão, na qual, a partir desta informação, foi calculado a força de retorno da mola. Para efeito de cálculo considerou-se que o tampão da válvula não permitisse a passagem de água e que a mola deveria oferecer uma força de reação compatível com a área do tampão que pudesse suportar a pressão de 3,5 mca.

A calibração da temperatura de atuação da válvula foi realizada com a diminuição do volume da cápsula do tubete. Esta tarefa foi realizada com a ajuda de uma prensa e a medição foi realizada com o uso de termômetros imersos em água com temperatura controlada. Após a calibração, o tubete deverá atingir abertura máxima dentro da temperatura limite para a água em um sistema de banho. Para obter este parâmetro foram realizados testes em condição real de banho e a temperatura foi elevada até que não se pudesse suportar o calor da ducha, o chuveiro estava instalado a uma altura de 2,1 metros do chão e a temperatura ambiente era de 20°C, após atingir a temperatura limite foi coletada uma amostra de água na saída do chuveiro e foi considerado 60°C como referência.

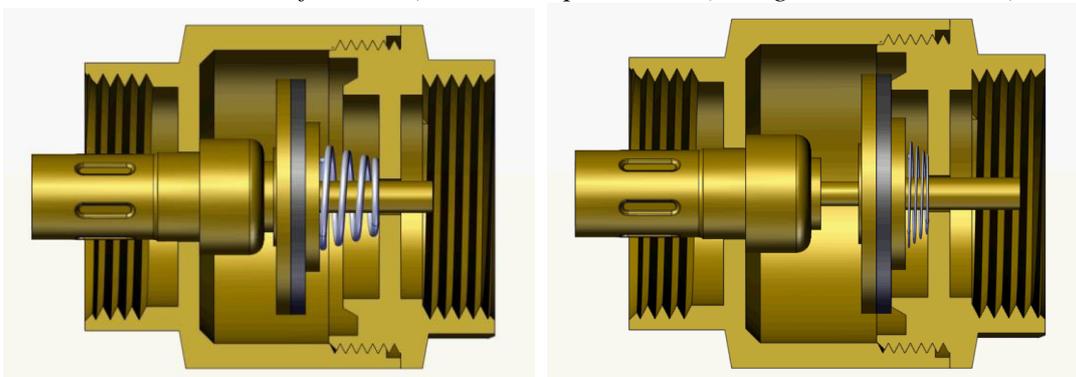
Para verificar qual o tempo de resposta da válvula termostática o sistema foi submerso em água quente e o curso da posição zero até o fechamento máximo foi cronometrado. A intenção era entender se a reação do equipamento é compatível com a condição de fluxo inesperado de água quente no caso de um banho fora das condições seguras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Funcionamento da válvula*

Após a montagem, a válvula foi testada em fluxo de água fria em uma vazão de 15 litros/hora em pressão de 2 mca, apresentando funcionamento normal. Em função de limitações de recursos para teste não foi possível obter água quente à vazão e temperatura adequada para o teste, portanto os ensaios de funcionamento foram realizados através de imersão em água quente com temperatura controlada. Abaixo é possível observar a válvula em condição aberta (esquerda) e fechada (direita)

Figura 9 – Válvula aberta e fechada (Fonte: Próprio Autor / Programa Solidworks).



### *Cálculo da mola*

Para identificar o modelo da mola foi calculada a força de reação da mola em função da pressão (3,5 mca) e da área do tampão (diâmetro = 33mm).

Cálculo da área do tampão:

$$\begin{aligned}
 A &= \pi r^2 \\
 A &= \pi \cdot 1,65^2 \\
 A &= 8,553 \text{ cm}^2 \\
 A &= 8,553 \times 10^{-4} \text{ m}^2
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Onde:

$$\begin{aligned}
 D &= 33 \text{ mm} \\
 r &= 16,5 \text{ mm} = 1,65 \text{ cm} \\
 A &= \text{Área}
 \end{aligned}$$

Cálculo da força de reação:

$$P = \frac{F}{A}
 \tag{18}$$

$$F = P \times A$$

$$F = 35157 \times 8,553 \times 10^{-4}$$

$$F = 30,07N$$

$$F = 30,07 \div 9,82$$

$$F = 3,06kg$$

Onde:

$$P = 3,5 \text{ mca} = 0,35157 \text{ bar} = 35157 \text{ Pa}$$

Portanto a força de reação da mola quando na posição aberta deverá ter uma força de reação de 30,07 N. Com isso foi possível obter a mola compatível com as características do sistema que possui constante de deformação  $K$  de  $3290 \text{ N/m}$ . Através do coeficiente de elasticidade  $K$  da mola foi calculado a força de reação sobre o tampão no momento em que o tubete aciona a válvula:

$$F = K \times x$$

$$F = 3290 \times 13 \times 10^{-3}$$

$$F = 42,77N$$
(19)

Onde:

$$F = \text{Força de reação da mola (N)}$$

$$K = \text{Cte de deformação da mola} \left( \frac{N}{m} \right)$$

$$x = \text{Deformação da mola (m)}$$

### ***Temperatura de atuação da válvula***

O tubete possui parafina em seu interior que se expande e expulsa a haste. Segundo o fabricante de peças automotivas Mte-Thomson (2017) a calibração da cápsula é realizada alterando-se o volume da câmara através da compressão da superfície externa. Com a auxílio de uma prensa foi realizada a prensagem e em seguida foi realizado o ensaio da válvula em um reservatório de água com temperatura conhecida, porém foi observado que o ajuste só foi possível até o momento em que a válvula atingia  $78 \text{ }^\circ\text{C}$ . Uma vez atingida esta temperatura, a compressão não interferia mais na temperatura de trabalho.

Ao abrir a cápsula foi possível notar que a parafina só mudava seu estado físico de sólido para líquido a partir de  $74 \text{ }^\circ\text{C}$  constatando, portanto, que o atuador não poderia responder ao sinal de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  que foi definido para o sistema.

### ***Tempo de resposta da válvula***

O tempo de resposta do atuador depende da taxa que a temperatura ultrapassa o valor calibrado para o tubete (o tempo desejado para este sistema é uma faixa entre 3 e 5 segundos). Quanto maior este valor, mais rápido o sistema atuaria, porém os testes foram realizados com o tubete original ( $80^\circ - 86^\circ\text{C}$ ) e correspondeu ao tempo de 36 segundos com a temperatura da água a  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . Após o ajuste do sistema para  $78 \text{ }^\circ\text{C}$ , o tempo de avanço aumentou muito (1 minuto e 19 segundos) tornando a solução inviável para as condições exigidas para o sistema.

De acordo com os resultados acima é possível expressar na tabela 3 a consolidação do projeto.

Tabela 3 – Resultados do projeto (Fonte: Próprio Autor).

Etapa	Resultado	Solução alternativa
Identificar tecnologias complementares	✓	-
Desenvolver o acoplamento entre válvula e atuador	✓	-
Desenvolver o mecanismo de atuação da Válvula (Acoplamento, mola, alívio)	✓	-
Ajustar o atuador da válvula (tubete) para atender a faixa de trabalho de 60°C	✘	Utilizar um atuador com maior sensibilidade à faixas de temperatura entre 45° e 70°C (ex. Mercúrio)
Ajustar o tempo de resposta da válvula entre 3 e 5 segundos	✘	Utilizar um outro mecanismo para atuar a válvula com maior velocidade (um sistema de disparo rápido)

## CONCLUSÕES

O protótipo da válvula de segurança foi concretizado e testado.

O aprofundamento no conteúdo teórico foi importante para consolidar um embasamento consistente e capaz de transformar uma necessidade aparentemente inexistente em uma solução essencial e necessária em instalações residenciais e comerciais.

Mesmo com o correto funcionamento da válvula, ainda são necessárias as seguintes melhorias:

- Ajuste da temperatura de atuação da válvula – Com o método de compressão da superfície externa da cápsula e a utilização da parafina como material expansivo foi possível ajustar a temperatura de trabalho da válvula somente até 78°C, pois ao atingir esta temperatura a compressão da cápsula não interferia mais na diminuição da temperatura de trabalho. Para diminuir a temperatura de atuação à 60° (definida como temperatura ideal), será necessário estudo de um material expansivo mais sensível e adequado à faixa de trabalho entre 45° e 70°C.
- Melhoria do tempo de resposta do dispositivo - O tempo de atuação do dispositivo ainda não é o ideal para esta aplicação, pois o material expansivo presente na cápsula do tubete atua sobre a haste em um tempo maior que o necessário para bloquear a água quente, permitindo ainda assim que um grande fluxo de água quente chegue até o usuário. Para isso, é necessário a implementação de um sistema de disparo rápido que interrompa o fluxo de água em um tempo entre 3 e 5 segundos quando o fluído estiver na faixa de temperatura estabelecida.

Embora as melhorias do projeto ainda não tenham sido implementadas, há uma grande oportunidade de avançar com as pesquisas e objetivo centralizados no desenvolvimento de um atuador que atenda as necessidades de temperatura e tempo de resposta necessária.

O fato do modelo desenvolvido nessas condições ainda não permitir o uso nos sistemas de chuveiro, não impede que o sistema seja implementado em processos industriais em que esta faixa de temperatura e tempo de atuação da válvula sejam aceitáveis.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

LUPI, OMAR. **Doutor eu tenho Câncer de pele**. [Rio de Janeiro]: AC Farmacêutica, 2013. 112 p.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento** (2ª ed.). [Rio de Janeiro]: LTC, 1997. 860 p.

MTE-THOMSON. **Aula 2 – Válvula Termostática**. Fonte: <<http://cursosonline.mte-thomson.com.br/licao/aula-2-valvula-termostatica>>, acesso em: 6 de outubro de 2017.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia**. [São Paulo]: HEMUS, 1997.

POTTER, M., WIGGERT, D. **Mecânica dos Fluidos** (4ª ed.). [São Paulo]: Cengage Learning, 2014. 700 p.

POTTER, Merle C.; WIGGERT, David C. **Mecânica dos Fluidos**. [São Paulo]: Cengage, 2004. 690 p.

ROTAVA, O. **Aplicações Práticas em escoamento de Fluidos**. [Rio de Janeiro]: LTC, 2011.

SOLAREM AQUECIMENTO SOLAR. **Você sabe como funciona o sistema de aquecimento solar?** Fonte: <<http://www.aquecedorsolaragua.com.br/blog/voce-sabe-como-funciona-o-sistema-de-aquecimento-solar>>, acesso em: 13 de Setembro de 2017.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. [Porto Alegre]: Bookman, 2011. 880 p.