Automação de Aquecedor de Passagem a Gás

REVISTA ELETRÔNICA MULTIDISCIPLINAR
UNIFACEAR

Guilherme Fila; Marcos Aurelio Ruiz; Allan Christian Krainski Ferrari
Centro Universitário Unifacear

RESUMO
Este estudo trata do desenvolvimento de um controlador digital para um aquecedor de passagem a gás do tipo mecânico. A estratégia consiste em utilizar um controlador Proporcional-Integral (PI) programado por um microcontrolador, que irá efetuar o controle de um motor de passo, atuando diretamente na válvula de vazão de gás para a queima na câmara de combustão do aquecedor de passagem. Através deste tipo de controle busca-se uma estabilização da temperatura de saída da água e a otimização no uso do aquecedor de passagem a gás do tipo mecânico. A proposta deste trabalho teve como intuito o desenvolvimento e a implementação um equipamento de baixo custo e fácil utilização. Os resultados obtidos pela ação do controle Proporcional-Integral (PI) foram eficazes, fazendo com que o aquecedor, equipado com o protótipo desenvolvido se tornasse mais econômico, atingindo o nível de otimização desejada.

Palavras chave: Controle PI, Automatização, Controle digital, Aquecedor de passagem a gás.

ABSTRACT
This study addresses the development of a digital controller for a mechanical tankless water heather. The strategy consists of using a Proportional-Integral Controller (PI) programmed by a microcontroller, which will control a stepper motor, acting directly *on the gas flow valve for the burning in the combustion chamber of the gas-passage water heater. This type of control seeks to stabilize the water outlet temperature and optimize the use of the mechanical type passage water heater. The purpose of this work is to develop and implement a low cost and easy to use equipment. The results obtained by the Proportional-Integral (PI) control action were effective, making the heater equipped with the developed prototype more economical, reaching the desired optimization level.*

Key Words: PI Controller. Automation. Digital control, Tankless Gas Heather.

1. INTRODUÇÃO

Os aquecedores de passagem a gás têm a função de aumentar a temperatura da água para que seja utilizada em diversos fins, desde tomar banho, lavar as mãos, o rosto, lavar louça, lavar roupas etc. Conforme Komeco (2015), eles funcionam pela troca de calor da água com o gás de combustão, através da passagem da água por uma serpentina instalada ao redor de uma câmara onde é realizada a queima do gás.

Alguns modelos de aquecedores a gás possuem controle preciso de temperatura. Conforme Rinnai (2019), os aquecedores do tipo digitais ou eletrônicos, são aqueles que

possuem um controle automático da temperatura através da modulação da chama e os aquecedores do tipo mecânicos não possuem esse recurso, sendo menos precisos no controle da temperatura. São dotados apenas de um seletor onde é escolhido uma posição entre o valor mínimo e o valor máximo de vazão de gás, e a temperatura atingida varia conforme a vazão de água fria, e a temperatura ambiente.

Por não haver um controle diretamente relacionado à temperatura, os aquecedores a gás do tipo mecânico, muitas vezes acabam consumido um volume excessivo de gás. Conforme 3B Aquecedores (2019), a chama é fixa independentemente da quantidade de água que passa pelo equipamento. Desta forma pode ser maior ou menor que o necessário para aquecer a água à uma temperatura ideal para o uso, levando à um consumo desnecessário. Situação contrária também ocorre, quando a temperatura da água na saída do aquecedor não atinge o valor desejado.

Uma das soluções para evitar o desperdício de gás é a implementação de um controlador digital. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a implementação de um sistema de controle que realize a correção da abertura da válvula de fluxo de gás conforme a temperatura escolhida pelo usuário. O dispositivo de controle foi implementado em um aquecedor de passagem modelo EQUIBRAS EB-1800 PLUS, do tipo mecânico. Além do controle de temperatura de saída da água, também faz parte do trabalho a adição de um sensor de vazamento de gás, afim de monitorar possíveis vazamentos de gás.

Este artigo também tem como relevância a economia no consumo de combustíveis fósseis, pois conforme Fogaça (2019) não são recursos renováveis, e suas reservas podem esgotar-se. Sendo a fonte energética deste tipo de aquecedor alvo do estudo, qualquer ação que possa diminuir o consumo de água potável e combustível fóssil se torna de extrema relevância quando se pensa em desenvolvimento sustentável.

Outro fator a ser considerado, é que com a implementação do controle no aquecedor de passagem evita a substituição de equipamentos de modelo mecânico usados por equipamentos mais novos. Assim reduz a necessidade de investimento, pois estes podem apresentar alto custo de aquisição e manutenção. Desta forma, fazer um reaproveitamento de algo que já está instalado e apenas inserindo um módulo que fará o seu controle, assim proporcionando uma possível economia de água, gás e maior praticidade na utilização de aquecedores de passagem do tipo mecânico.

Na proposta deste trabalho, também foi adicionado um sensor de gás, com o intuito de detectar possíveis vazamentos, trazendo um incremento na segurança do equipamento, sendo este um dispositivo que trabalha com uma fonte de energia potencialmente perigosa, pois conforme Sindigás (2019), todo combustível é

potencialmente perigoso por ser inflamável, sendo GLP (Gás liquefeito de Petróleo) um produto de fácil inflamabilidade.

2. DESENVOLVIMENTO, MATERIAIS E MÉTODOS

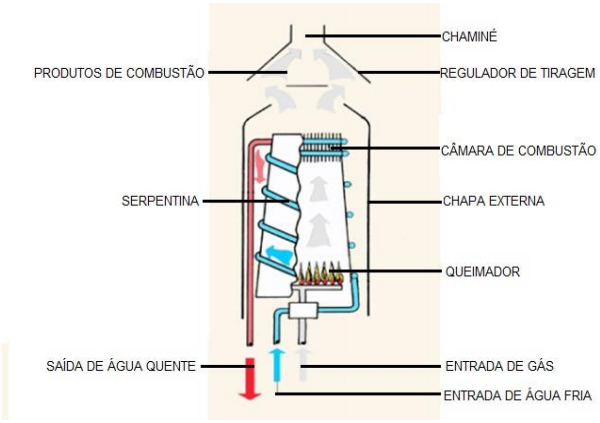
2.1 AQUECEDOR DE PASSAGEM

Os aquecedores de passagem são equipamentos com objetivo de fornecer calor para a água, conforme Guterres (2014, p.1) “A água que por ele circula passa por um trocador de calor submetido a uma fonte de calor, podendo ser de origem elétrica ou de combustão de gás”. No caso de um aquecedor a gás, este trocador de calor é constituído por uma serpentina que realiza a troca térmica entre os gases de combustão, sendo o gás natural (GN) ou gás liquefeito de petróleo (GLP) e a água que circula pelo aquecedor.

> Guterres (2014, p.1) descreve a operação do aquecedor de passagem a gás da seguinte maneira:
>
> Quando o usuário abre a válvula “quente” de uma torneira ou chuveiro, o aquecedor detecta a circulação de água e libera a saída de gás para a câmara de combustão, a qual contém um determinado número de bicos queimadores. O ar quente sobe, atravessando um trocador de calor, que transfere a energia térmica para a água que circula no aquecedor, elevando sua temperatura.

A FIGURA 1 representa o diagrama esquemático de um aquecedor de passagem a gás, onde após entrar no equipamento a água fria recebe o calor que está sendo gerado pela chama através da serpentina e sai com temperatura acima da qual entrou. Os gases oriundos da chama são expelidos pela chaminé.

FIGURA 1 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UM AQUECEDOR DE PASSAGEM

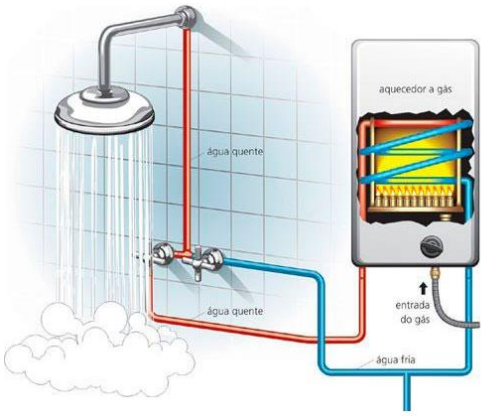


FONTE: (Chaguri, J.J 2001, apud Chaguri, J.J 2009, p.37)

Conforme Guterres (2014, p.2), “aquecedores a gás, geralmente aquecem a água a uma temperatura acima da desejada, esta água segue para um misturador, onde é resfriada através da combinação com água na temperatura ambiente”. Desta forma o controle do sobreaquecimento da água é realizado através da injeção de água em uma temperatura menor, ocasionando um maior consumo de água.

A FIGURA 2 ilustra um aquecedor de passagem conectado a um ponto de uso, onde há um misturador para o controle de sobreaquecimento da água. Na necessidade de diminuir a temperatura da água, é utilizado a válvula de água fria, entretanto nesta situação há um consumo desnecessário, pois caso a temperatura da água quente não estivesse acima da ideal para o uso, não seria preciso realizar a abertura da válvula de água fria, poupando gás de combustão e água fria.

FIGURA 2 – CONEXÃO AQUECEDOR – PONTO DE UTILIZAÇÃO



FONTE: Adaptado de AMARAL (2019)

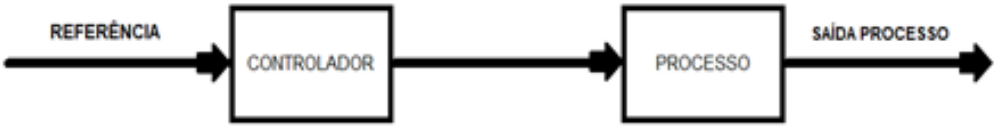
2.2 CONTROLE

Dentre os tipos de controle, destaca-se o controle PID (Proporcional-Integral-Derivativo), que para Neto (2019, p.50) desde 1922 já era aplicado para o controle de direção de embarcações. Conforme Pires (2014, p.2) “O controlador tipo Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é ainda hoje predominante no meio industrial. Mais de 90% de todas as malhas existentes são do tipo PI / PID atingindo uma larga faixa de aplicações. ”

Segundo Dorf e Bishop (2001, p.2) “um sistema de controle a malha aberta utiliza um dispositivo de atuação para controlar diretamente o processo sem usar retroação”, desta forma o controle de chama do aquecedor de passagem do tipo mecânico se comporta sem ter este sinal de retroação gerando um possível desperdício ou falta de aquecimento na água que passa pelo aquecedor.

A FIGURA 3 representa em forma de diagrama de blocos o funcionamento do controle em malha aberta, onde o controlador possui um sinal de referência para o seu funcionamento, este valor de referência no caso do aquecedor de passagem é a abertura da válvula de fluxo de gás, esta abertura produz uma chama, que representa o processo de aquecimento, e a saída do processo é o valor de temperatura de saída da água. Como não há leitura do valor de saída do processo, o controlador se comporta apenas levando em consideração a abertura da válvula de fluxo de gás fazendo com que o valor de saída seja somente em função do fluxo de gás.

FIGURA 3 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA



FONTE: adaptado de Dorf e Bishop (2001).

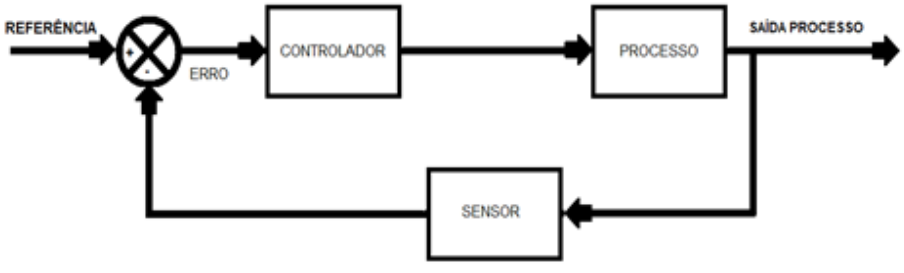
Ao adotar a sistemática do controle de malha fechada, busca-se a correção para que não haja nem o excesso nem a falta de aquecimento.

O controle em malha fechada é assim definido por Ogata (2010, p.7):

> Em um sistema de controle de malha fechada, o sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação (que pode ser o próprio sinal de saída ou uma função do sinal de saída e suas derivadas e/ou integrais), realimenta o controlador, de modo a minimizar o erro e acertar a saída do sistema ao valor desejado. O termo 'controle de malha fechada' sempre implica a utilização do controle com realimentação para reduzir o erro do sistema.

A FIGURA 4 representa em forma de diagrama de blocos o sistema de controle em malha fechada, onde ocorre a realimentação através do *feedback* do sensor ao controlador.

FIGURA 4 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM CONTROLADOR EM MALHA FECHADA



FONTE: adaptado de DORF e BISHOP (2001).

Conforme a FIGURA 4, O erro é calculado ao subtrair o sinal da leitura do sensor do valor da referência, quanto maior a diferença entre os valores, maior será o erro. O controlador realiza a correção para que o valor de saída do processo se torne o mesmo valor da referência ficando em um *loop* de repetição de comparação entre valor de referência e o valor de saída, executando uma eventual correção, tornando a malha fechada.

2.3 AÇÃO PROPORCIONAL + INTEGRAL (PI) NA FORMA DIGITAL

Conforme Presys (2019), para a utilização de um controlador em um computador digital, que no caso é um microcontrolador, não são usados sinais contínuos, apenas amostras para gerar uma sequência de valores de saída. Neste caso a ação PI deve ser aproximada por uma fórmula discretizada.

Ainda para Presys (2019), para a realização da conversão do tempo contínuo para o tempo discreto pode ser realizada uma aproximação do tipo retangular para trás ou *backward difference,* recebendo este nome pois supõe que a variável medida não sofra alterações durante o intervalo de amostragem. Assim sendo denominada de integração retangular.

Para o controlador PI:

$$u[k] = u[k_{_1}] + P(e[k] - e[k_{_1}]) + I * \Delta t * e[k_{_1}] \quad (1)$$

Onde $u[k]$ = valor de saída atual;
$u[k_{_1}]$ = valor de saída do instante passado
P = ganho proporcional
$e[k]$ = erro do instante atual
$e[k_{_1}]$ = erro do instante passado
I = ganho integral
Δt = intervalo de amostragem

2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA

Uma das formas de obtenção de um modelo matemático que representa o funcionamento do aquecedor de passagem é a utilização de dados experimentais na obtenção da função de transferência. Os modelos matemáticos utilizados para representação dos sistemas reais podem ser classificados em: caixa branca, caixa cinza e caixa preta. O modelo matemático do tipo caixa branca é empregado quando se conhece todas as informações de um sistema físico. O modelo caixa cinza é empregado quando se

conhece informações parciais do sistema em questão. Finalmente, o modelo caixa preta é aplicado quando se conhece somente os dados de entrada e de saída da planta (AGUIRRE, 2004). Neste trabalho foi utilizado o modelo do tipo caixa preta.

2.5 *GREY WOLF OPTIMIZER*

O algoritmo otimizador do lobo cinzento (em inglês *Grey Wolf Optimizer*), é conforme Medeiros (2017, p.57) uma técnica de otimização computacional baseada no comportamento de caça dos lobos cinzentos, sendo esta uma espécie que vive em alcateias de 5 a 12 indivíduos e adotando uma hierarquia definida e restrita.

Conforme Medeiros (2017, p.57), o comportamento de caça é dividido em duas etapas fundamentais, sendo a primeira caçar e formar um cerco na presa, e depois atacar a presa.

3. RESULTADOS

3.1 OBTENÇÃO DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Para a obtenção da função de transferência, é necessário a realização de testes e coletas de dados relacionando os valores de abertura da válvula de gás aplicados, e as temperaturas obtidas na saída do aquecedor de passagem a gás. Os testes foram realizados utilizando o sensor DS18B20 instalado em contato direto com a água, na saída do aquecedor.

Para a alteração dos valores de abertura da válvula de gás aplicados ao aquecedor, foi conectado um motor de passo através de um acoplamento flexível, ao eixo da válvula de controle de vazão de gás do aquecedor, de maneira que conforme o posicionamento do eixo do motor de passo se alterava, mudava-se o fluxo de gás para a câmara de combustão.

O acoplamento flexível foi utilizado neste sistema, pois o diâmetro do eixo da válvula de gás é de 8mm e o diâmetro do eixo do motor de passo é de 5mm, sendo assim o acoplador possui os furos nas medidas corretas, e, por ser flexível corrige eventuais desalinhamentos entre o motor e o eixo da válvula.

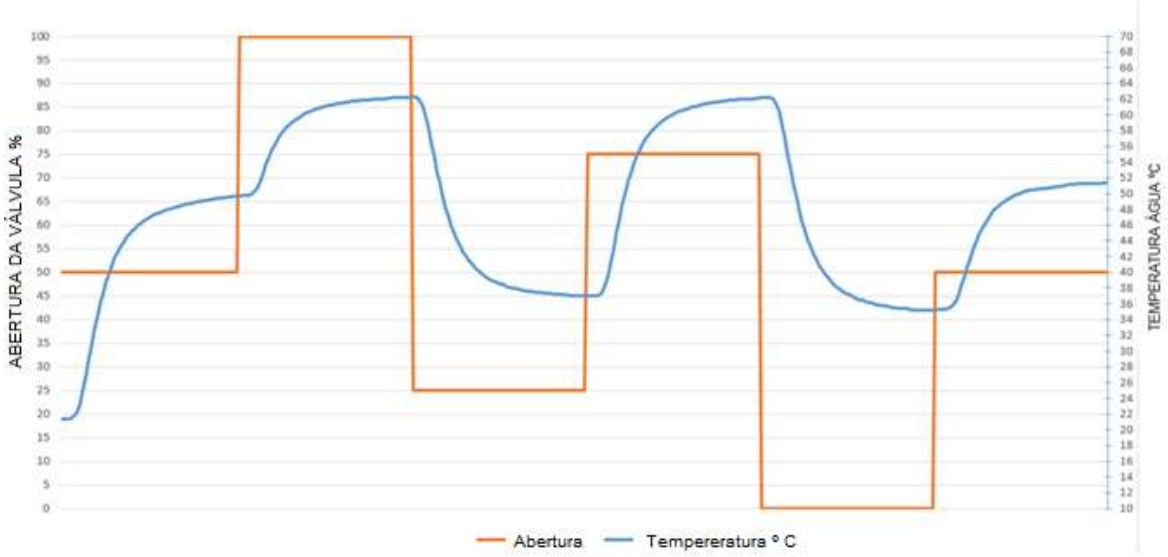
Para que o valor de movimentação do eixo do motor de passo obtivesse uma maior precisão, foi configurado o *driver* do motor de passo (DRV-8825) no modo 1/8 de micropassos, sendo assim para cada pulso em que o motor modelo 17HS44001 se movimentasse 1,8º, este valor foi subdivido em 8 posições, ficando para cada pulso uma

movimentação de 0,225º. Tomando-se como referência em 360º seriam necessários 1600 movimentos para uma volta completa do eixo do motor.

O ângulo de abertura da válvula foi divido em escala de 0 a 100%, sendo 0% o valor mínimo de abertura da válvula de vazão de gás para a câmara de combustão e 100% o valor máximo de abertura da válvula da mesma.

Foram coletadas amostras de temperatura atingidas nas posições, 50%, 100%, 25%, 75% 0% e 50% respectivamente, sendo obtidos os resultados conforme mostra a FIGURA 5.

FIGURA 5 – RESPOSTAS DE TEMPERATURA EM TODA FAIXA DA VÁLVULA DE VAZÃO DE GÁS

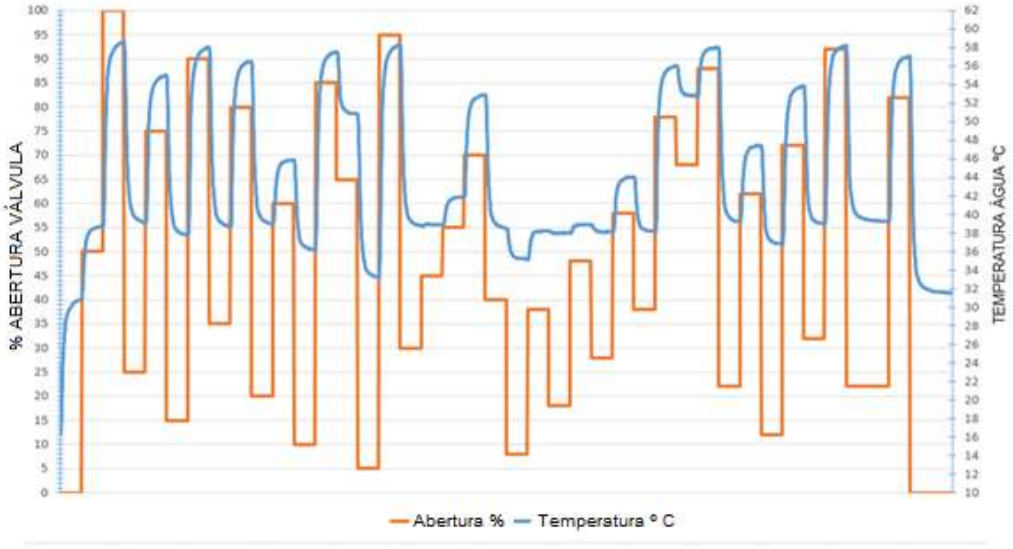


FONTE: AUTORES (2019)

Os resultados mostraram que, no intervalo de 0 a 20% e de 75% a 100% obteve-se uma zona sem alteração, ou seja, uma faixa na qual variações no posicionamento da válvula não incidiam na mudança de temperatura. Em virtude destas faixas sem alteração de temperatura, foram excluídas da faixa de atuação do motor as áreas de 0 a 20% e de 75% a 100%, sendo redistribuído uma nova faixa de 0 a 100% dentro da faixa restante e realizados novos testes com mais posições de potência atribuídos.

Os resultados de novos testes realizados dentro desta faixa útil são mostrados na FIGURA 6.

FIGURA 6 – RESPOSTAS DE TEMPERATURA NA FAIXA RESTRINGIDA



FONTE: AUTORES (2019)

A FIGURA 6 ilustra que após a restrição de operação do aquecedor nas faixas de 0 a 20% e de 75% a 100% da movimentação real da válvula, a faixa restante mostrou-se eficaz no controle da temperatura, onde todas as mudanças na potência foram convertidas em alteração da temperatura da água.

De posse dos valores dos testes, foram tabelados os resultados e exportados para o *software* Matlab, onde foi utilizado o algoritmo de otimização GWO (*Grey Wolf Optimizer*) para a identificação da função de transferência do aquecedor.

O algoritmo foi programado utilizando 1000 valores de amostras de valores de potência (saída), e temperatura (entrada), como dados de estimação e outros 1000 valores de entrada e saída como dados de validação. Foram realizadas 400 iterações obtendo como resposta um coeficiente de correlação de 0,9995 ou 99,95% e a função de transferência obtida está representada na equação 2.

$$G(z) = \frac{0{,}0016z^2+0{,}0046z-0{,}0044}{z^2-1{,}9099z+0{,}9122} \quad (2)$$

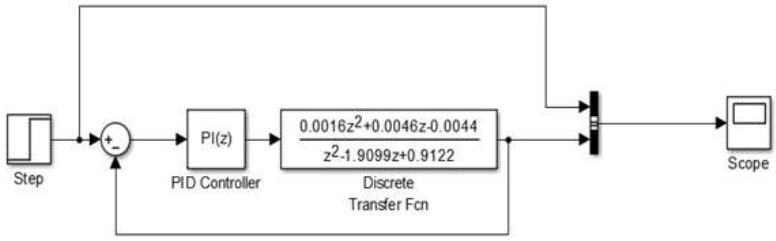
3.2 SIMULAÇÃO DO SISTEMA E OBTENÇÃO DOS GANHOS DO CONTROLADOR

Sendo a função de transferência uma representação matemática do funcionamento do equipamento, a mesma foi utilizada de forma a simular as respostas do controlador para obtenção dos ganhos do controlador.

Para simulação de resposta do sistema foi utilizada a extensão do software Matlab denominada *Simulink*, onde foi inserido a função de transferência obtida e sintonizado um controlador do tipo PI, para obtenção dos ganhos e ajuste deste controlador no protótipo realizado conforme ilustra a FIGURA 7.

A ação de controle derivativa, não foi utilizada neste controlador em virtude do sinal de *overshoot* causado por esta ação, o que no caso de um aquecedor pode ser indesejável ao usuário, pois a temperatura da água pode atingir valores muito acima do *setpoint*.

FIGURA 7 – DIAGRAMA DE BLOCOS DA PLANTA DO AQUECEDOR

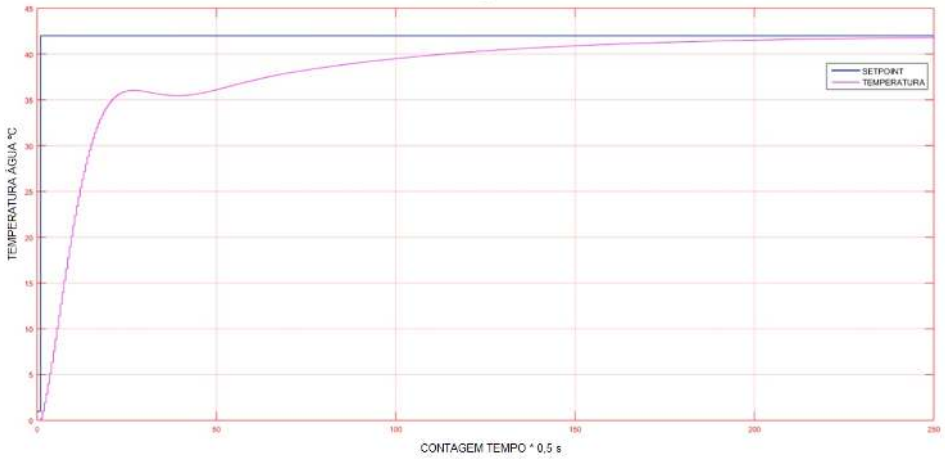


FONTE: AUTORES (2019)

Os ganhos do controlador PI obtidos via *software* foram, Ganho Proporcional (Kp): 2,48437010193052 e Ganho Integral (Ki): 0,0560621880637398 para um tempo de amostragem de 0,5 segundos.

A FIGURA 8 ilustra a resposta simulada via software com o controlador PI ajustado com os ganhos sintonizados.

FIGURA 8 – RESPOSTA SIMULADA DO CONTROLADOR PI



FONTE: AUTORES (2019)

Conforme a FIGURA 8, o tempo para a temperatura atingir o valor de *setpoint*, (42º) é por volta de 250 contagens, sendo cada contagem a cada 0,5 segundos o que equivale um tempo total de 125 segundos, ou aproximadamente 2 minutos e 3 segundos.

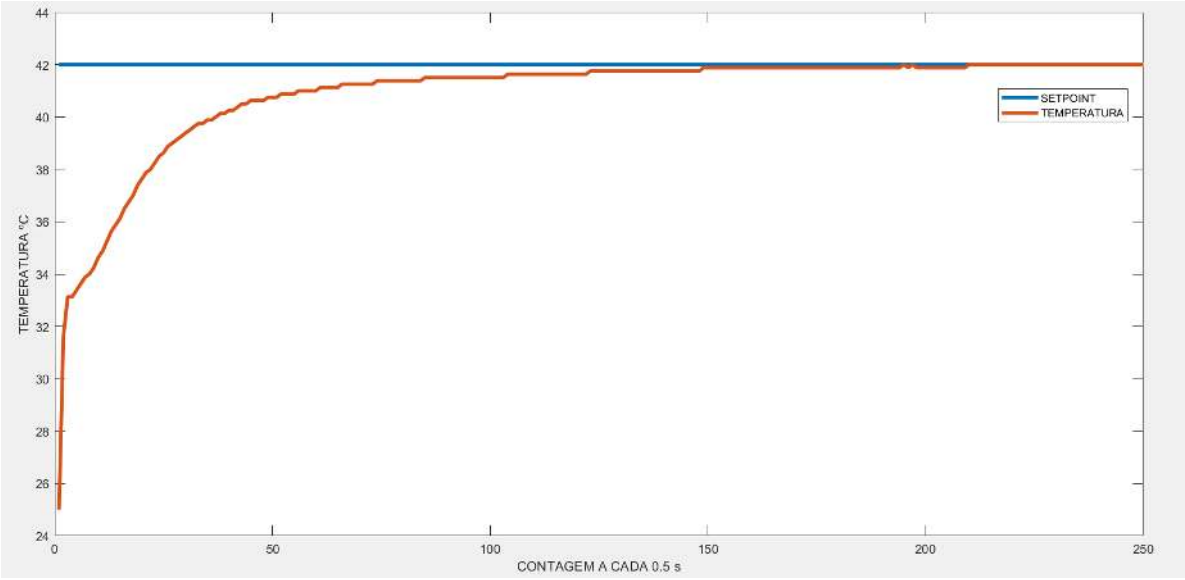
3.3 TESTES COM O CONTROLE PI IMPLEMENTADO NA PLANTA

Para a realização dos testes com o controle PI implementado no aquecedor, foi programado via microcontrolador a execução de um algoritmo que calcula o valor da potência a ser aplicada conforme a temperatura desejada. O erro é a diferença entre o *setpoint* e o valor lido pelo sensor. Para o teste foram aplicados os ganhos obtidos através da sintonização pelo S*imulink* e o mesmo *setpoint* da simulação, no caso 42ºC.

A função de posicionamento da válvula também faz o tratamento do sinal para que caso o valor calculado seja igual ou maior que 100% da faixa útil da válvula de gás, é atribuído o valor de 100% para o valor calculado, e caso o valor seja menor ou igual a 0%, fica atribuído o valor de 0%, desta forma o posicionamento da válvula fica restrito na faixa útil.

Os resultados reais obtidos pelo controle implementado no aquecedor são mostrados conforme a FIGURA 9:

FIGURA 9 – COMPORTAMENTO REAL DO CONTROLADOR



FONTE: AUTORES (2019)

Conforme a FIGURA 9, no teste real o aquecedor atingiu o valor do *setpoint* por volta de 210 contagens, aproximadamente 1 minuto e 45 segundos, entretanto o valor inicial da temperatura da água já estava próximo de 25º o que proporcionou este menor

tempo para atingir o valor do *setpoint*. Ambas situações, simulada e real se comportaram de maneira análoga, não apresentando *overshoot*, mostrando a eficácia do método de controle para obtenção do valor desejado.

3.4 DETECÇÃO DE VAZAMENTO DE GLP

O sensor MQ-5 foi integrado ao circuito de controle do protótipo, através da leitura da saída analógica, assim sendo o dispositivo é capaz de detectar vazamento de GLP no ambiente. Os testes foram realizados simulando um vazamento de gás através da exposição do sensor ao fluido de um isqueiro.

Foi também incorporado ao protótipo um *buzzer* para realizar o alarme sonoro com intuito de avisar o usuário da ocorrência do vazamento, e um relé, para que ocorra o desligamento do circuito de energia do aquecedor e consequentemente o impedimento da centelha, evitando uma possível explosão.

Para que ocorra o desligamento do centelhamento, os contatos normalmente fechado (NC) e comum (COM), do relé foram ligados em série com a caixa de pilhas do aquecedor de passagem, desta maneira a comutação do relé provoca a abertura do circuito elétrico do aquecedor de passagem.

3.5 COMPARATIVO DE CONSUMO COM E SEM O CONTROLADOR

Um comparativo foi realizado contabilizando o valor de consumo de gás com o aquecedor operando por 5 e 10 minutos com o controlador configurado para atingir em 42ºC e também nos mesmos tempos, com o controlador desligado e a abertura da válvula na posição em que normalmente ficava antes da implementação do controle, que é de aproximadamente 50% do posicionamento do eixo total, conforme ilustra a TABELA 1.

Para a realização da medição de vazão de gás foi utilizado um medidor de vazão de GLP modelo LAO 0,6 utilizado pela concessionária Supergasbras.

Na TABELA 1 é utilizado um fator de conversão de 2,32, o qual é adotado pela concessionaria de GLP Supergasbras para a conversão do consumo em m3 para o valor do consumo em massa de GLP, sendo assim para cada 1 m^3 de gás GLP, é considerada a massa 2,32 kg, e o valor cobrado pelo kg do GLP com referência ao mês de outubro de 2019 é de R$ 5,18066

TABELA 1 – CONSUMO DE GÁS COM CONTROLE LIGADO E DESLIGADO

TESTE	STATUS	TEMPO(Min)	CONSUMO(m^3)	CONSUMO(Kg)	CUSTO(R$)	ECONOMIA(%)
1-A	LIGADO	5	0,0375	0,087	0,45	40,78

1-B	DESLIG.	5	0,0633	0,1468	0,76	
2-A	LIGADO	5	0,0279	0,0647	0,34	46,87
2-B	DESLIG.	5	0,0532	0,1234	0,64	
3-A	LIGADO	5	0,2700	0,06264	0,32	50,76
3-B	DESLIG.	5	0,0538	0,1248	0,65	
4-A	LIGADO	5	0,2700	0,06264	0,32	50,76
4-B	DESLIG.	5	0,0541	0,12551	0,65	
5-A	LIGADO	10	0,0654	0,1517	0,79	41,04
5-B	DESLIG.	10	0,1114	0,25845	1,34	
6-A	LIGADO	10	0,0676	0,15683	0,81	38,63
6-B	DESLIG.	10	0,1100	0,2552	1,32	

FONTE: AUTORES (2019)

A TABELA 1 mostra que com o controlador operando a economia no consumo de gás variou, com valores de 38,63% até 50,76%. Esta variação ocorreu devido a diferentes temperaturas ambientes, tempo em funcionamento e vazões em que os testes foram aplicados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tratou da implementação de um sistema de controle no qual fosse possível a escolha de uma temperatura desejada e sua obtenção na saída do aquecedor através de um controle do tipo PI, proporcionando a variação do posicionamento de uma válvula de vazão de gás. Esta característica não é comum em aquecedores do tipo mecânico, pois estes não possuem visualização e monitoramento desta temperatura.

O sistema proposto mostrou-se eficaz, realizando esta correção para que o aquecedor funcionasse elevando a temperatura da água conforme o valor requerido.

Os tempos de estabilização tanto da simulação quanto do teste real foram próximos, mostrando a eficácia dos métodos de identificação da planta e de simulação comparados ao sistema real.

O dispositivo ficou dotado com detecção de vazamento de GLP e desligamento do circuito de centelhamento do aquecedor, também com alarme sonoro para aviso ao usuário.

Também foi observado a capacidade de economia no uso do equipamento, onde ocorreram em testes comparativos, diferenças variando entre 38,63% até 50,76% de diminuição no custo da utilização aquecedor comparadas com o consumo utilizando a abertura da válvula antes da confecção do controlador.

Como que podem ser implementadas no equipamento são a medição e o controle de vazão de água, para que seja realizado um controle mais preciso, assim seria aquecido somente o montante de água necessário reduzindo ainda mais o consumo do equipamento. A adição de um sensor de Monóxido de Carbono, como por exemplo o sensor modelo MQ-7 também melhoraria no critério de segurança, detectando problemas na combustão ou falha do aquecedor, sendo o modelo de sensor MQ-7 também um dispositivo de baixo custo e fácil utilização.

5. REFERÊNCIAS

3B-AQUECEDORES. Qual a Diferença entre o Aquecedor a Gás Digital e Mecânico. 2019. Disponível em: <https://www.3baquecedores.com.br/qual-e-a-diferenca-entre-o-aquecedor-a-gas-digital-e-o-mecanico/>. Acesso em 08 junho 2019.

AGUIRRE, Luis. Antônio. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 2a ed. Belo Horizonte. UFMG, 2004.

AMARAL, Guilherme. Qual aquecedor a gás comprar. Disponível em <https://rledesign.com.br/qual-aquecedor-a-gas-comprar/>. Acesso em 01 junho 2019.

CHAGURI, J. J. Manual de dimensionamento de água quente, vapor e aquecimento de piscina. 2001. 28p. **Apostila técnica.**

CHAGURI, J. J. Sistemas prediais de aquecimento de água e de gás: parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. 2009. 103p. Dissertação (mestrado) – Interunidades em energia. São Paulo, 2009.

DORF, Richard C; BISHOP, Robert H. Sistemas de Controle Modernos. 8º edição. Rio de Janeiro. LTC, 2001.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Combustíveis Fósseis"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/combustiveis-fosseis.htm>. Acesso em: 19 de outubro de 2019.

GUTERRES, Leonardo M. Controle de aquecedores de passagem a gás com chama modulante. 2014, 75p. **Dissertação** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Porto Alegre, 2014. Disponível em: < https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/98144>. Acesso em: 01 junho 2019.

KOMECO. Qual a diferença entre aquecedor de passagem ou por acumulação?. 2015. Disponível em: <http://www.komeco.com.br/blog/consumidor/diferenca-aquecedor-de-passagem-ou-por-acumulacao.html>. Acesso em: 08 junho 2019.

MEDEIROS, Antônio B. L. de. Aplicação do algoritmo do lobo cinzento (GWO) na sintonia de um controlador PID em um sistema de controle retroalimentado. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, 2017. Edition. 12.Vol: 03. Disponível em: <https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/71/39> Acesso em 22 outubro 2019.

NETO, Jose L A. Controle Automático PID em Planta Piloto. Curso de Automação e Controle Industrial. IFBA Salvador. Disponível em: <https://ead.ifba.edu.br/file.php/11/Apresentacao_PID-Planta_PP-NVP-Geral.pdf>. Acesso em 10 maio 2019.

OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 5º edição. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2010

PIRES, Vinicius P. Sintonia de um controlador pid em um sistema de controle de vazão. **Revista eletrônica da PUC-RS**, Porto Alegre, 2014, Faculdade de Engenharia, v7.,n.2. Disponível em: < http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/19526>. Acesso em 01 junho 2019.

PRESYS. Pid digital – Controlador e algoritmo Pid. 2019. Disponível em: < http://www.presys.com.br/blog/pid-digital/>. Acesso em 15 outubro 2019.

RINNAI. Almanaque - Aquecedor de Água de Passagem a Gás. 2019. Disponível em: <https://www.rinnai.com.br/almanaque/aquecedor-a-gas>. Acesso em: 08 junho 2019.

SINDIGÁS. Sobre o gás LP. 2019. Disponível em: < http://www.sindigas.org.br/novosite/?page_id=12>. Acesso em: 08 junho 2019.