

AUTOMAÇÃO DE UM PROCESSO ALTERNATIVO DA PASTEURIZAÇÃO DO LEITE UTILIZANDO AÇÃO DE CONTROLE ON-OFF

Célia Maria Dantas Barbosa E-mail: celinhadantas@hotmail.com
Caroline Venturoli Rodrigues. E-mail: carolventurolli@hotmail.com
Danieli Alini Pettenon. E-mail: dani_pettenon@hotmail.com
Tadeu Miranda de Queiroz. E-mail: tdmqueiroz@yahoo.com.br

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo a automação de um protótipo de pasteurização rápida do leite. O sistema foi constituído basicamente de: sensor de temperatura LM 35, microcontrolador Basic Step 1, display LCD 16x2 BKL, contator, placa StepLab, rele 5 pinos, transistor BC 548, resistor $\frac{1}{4}$ W de carvão com precisão de 5% (330 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω), fonte de alimentação, cabo serial DB9, ebulidor 110V, bomba injetora 12V e LED 3mm. O projeto proposto visou o controle automático da temperatura do leite, atuando no sistema de aquecimento do pasteurizador, acionando um aquecedor resistivo pela ação de controle On/Off. A programação foi realizada através do compilador Basic Step, o qual foi veiculado ao microcontrolador que tem como função a execução automática do processo. A pasteurização rápida do leite ocorreu de forma eficiente, conforme comprovado através do teste de peroxidase, constituindo uma possível aplicação para pequenos produtores rurais.

Palavras-chave: Controle automático, Basic Step, Tratamento térmico.

AUTOMATION OF AN ALTERNATIVE PROCESS OF MILK PASTEURIZATION USING ON-OFF CONTROL ACTION

Abstract: This study aimed to develop an alternative automated system for rapid milk pasteurization. The system was basically made up of: temperature sensor LM 35, microcontroller Basic Step 1, 16x2 LCD display BKL, minicontator auxiliary 110 V 10A, StepLab board, 5-pin relay 5 VDC NA, transistor BC 548 t, $\frac{1}{4}$ resistor Coal W with accuracy of 5% (330 Ω , 1 k, 10 K ohms), 12V power supply, DB9 serial cable, boiler 110V, injection pump and 12V LED 3mm. The proposed project aimed at the automatic control of the milk temperature, operating in the heating system, triggering the injection pump with on / off control action. The program was performed by the compiler Basic Step, in which it was conveyed to your microcontroller whose function autorun prototype. The rapid pasteurization of milk occurred efficiently, as evidenced by peroxidase test, also proposing a possible application for small producers.

Keywords: Automatic Control, Basic Step, Heat treatment.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Instrução Normativa nº 51 de 18 de Setembro de 2002, do Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado, compreende-se como leite, o produto originário da ordenha ininterrupta e completa, que esteja em condições de higiene, de vacas leiteiras, bem alimentadas e descansadas.

Desde os princípios da civilização, o leite vem sendo utilizado como mantimento básico na alimentação humana em todas as idades, em razão deste produto ser considerado completo do ponto de vista nutricional e de inquestionável valor biológico. Possui elevada digestibilidade, atribuindo ao ser humano uma abrangente fonte de nutrientes, sobretudo em analogia aos seus teores de proteínas, gorduras, vitaminas, carboidratos, aminoácidos essenciais, água e sais minerais (TAMANINI et al., 2007).

Em razão da sua composição, o leite caracteriza-se como um ótimo meio de cultura para a multiplicação de microrganismos, dos quais tem uma participação direta na veiculação

de doenças transmitidas por alimentos, quando consumido in natura sem nenhum tratamento térmico adequado. Devido a isso, a qualidade do leite tem gerado uma constante preocupação por autoridades ligadas a área da saúde (TAMANINI et al., 2007); (BOOR, 1997).

Visando ampliar a segurança do leite e seus derivados, foi introduzida no final do século XIX a pasteurização do leite cru. Esse processo tecnológico possui capacidade de destruir a maioria dos microrganismos presentes no leite in natura, isto é, todos os microrganismos patogênicos, fungos, bactérias Gram negativas, leveduras e muitas bactérias Gram positivas (MATA; TOLEDO; PAVIA, 2012). Os produtos pasteurizados, após o tratamento térmico podem conter, ainda, muitos organismos vivos capazes de crescer, fazendo com que minimize sua vida útil. Por isso, muitas vezes a pasteurização é combinada com outras técnicas de conservação como, por exemplo, a refrigeração (ARAUJO et al., 2012).

Na maioria das vezes são instituídos três tipos de tratamentos térmicos no leite, geralmente conhecidos pelas respectivas siglas em inglês, que são: Pasteurização lenta (LTLT - Low Temperature Long Time) baixa temperatura (62 a 63 °C) por um longo intervalo de tempo (30 e 35 minutos); Pasteurização rápida (HTST - High Temperature Short Time) alta temperatura (72 a 75 °C) por um curto intervalo de tempo (15 a 20 segundos); e (UHT - Ultra High Temperature) temperatura ultra elevada (130 a 150° C) por um intervalo de tempo muito curto (2 a 4 segundos). Os dois primeiros processos rotulam o leite como pasteurizados, já o último como longa vida. Para otimizar seu tempo de duração, faz-se necessário o resfriamento imediato do leite, em temperatura igual ou inferior a 5°C (BRASIL, 1997); (TAMANINI et al., 2007).

O processo de pasteurização do leite integral, envolve um fluxo líquido de contra corrente em um trocador de calor de placas, que opera em temperaturas elevadas durante um curto período de tempo. O mais utilizado é a pasteurização rápida, pois provoca poucas alterações nos componentes do leite e eleva a sua qualidade (BON, et al., 2009).

Para constatar a eficiência do binômio tempo/temperatura utilizados na pasteurização, são analisadas duas enzimas: peroxidase e fosfatase alcalina. A peroxidase não é inativada neste processo, porém, ela é eliminada em temperaturas acima de 80°C, sendo utilizada na identificação de superaquecimento durante a pasteurização. A fosfatase alcalina, por sua vez, é sensível a este tratamento térmico, e sua presença no produto final indica ineficiência ao processo térmico (TAMANINI et al., 2007); (SILVA et al., 2011).

Um dos grandes problemas relacionados à cadeia do leite e à venda de produtos ao consumidor é o leite informal, o qual é comercializado sem passar por qualquer tipo de inspeção sanitária. Este problema tem relação com aspectos econômicos e culturais (SCHUSTER et al., 2006). Com a expectativa de melhorar a comercialização, tem-se estimulado a abertura de mini e micro usinas de processamento de leite na própria fazenda. A pasteurização rápida ou a pasteurização lenta do leite é obrigatória em pequenas propriedades rurais, cujo volume de produção seja acima de 300 L/dia e possuam o destino direto ao consumo humano, padarias e lanchonetes (HOLANDA et al., 2002).

Diante do exposto observa-se que o processo de pasteurização de leite envolve duas variáveis físicas importantes: o tempo e a temperatura. Ambas podem ser medidas manualmente por meio de cronômetros e termômetros. Todavia, a modernidade agroindustrial requer métodos mais precisos, mais confiáveis e isentos de erros aleatórios, típicos da ação humana nas medições.

Assim, a busca pela automação constitui uma importante ferramenta de gestão e controle de processos. As ações de controle automático típicas são: On-off, Proporcional (P), Integral (I) e Derivativa (D), ou ainda, combinações entre as três últimas, quais sejam: PI, PD

e PID. A ação on-off é descrita na literatura especializada, como de baixo custo e de fácil implantação e apesar de um pequeno erro de off-set é largamente utilizada (Freitas et al. (2014) e Oliveira et al. (2014).

Para implementação de uma ação de controle faz-se necessário o trio fundamental da automação: o sensor, o controlador e atuador. Ações de controle mais simples podem ser obtidas com uso de um simples microcontrolador a exemplo do que fizeram Lima et al. (2015) no controle de um defumador de peixe e Zavolski et al. (2015) em um desidratador de plantas medicinais automático. Um tipo de microcontrolador de baixo custo e fácil utilização é o Basic Step, o qual tem sido utilizado nos mais diversos seguimentos para automação de processos, como Queiroz et al. (2008) em um sistema de controle automático de sistemas de irrigação, Armindo et al. (2011) na medição automática de vazão e Reis et al. (2015) na automação do controle de enchimento e esvaziamento de reservatórios.

Por isso, a fim de minimizar o consumo de energia e melhorar a qualidade do leite produzido por pequenos produtores rurais, foi proposta a automação para controle automático do tempo e da temperatura em um protótipo de pasteurizador alternativo de leite, utilizando o método de pasteurização rápida.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O protótipo de pasteurizador de leite, bem como os circuitos de automação e controle, foi desenvolvido no Laboratório de Automação e Controle (LAC), na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus de Universitário “Deputado Estadual René Barbour” em Barra do Bugres/MT, pertencente ao Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial (DEPA).

O sistema é constituído basicamente por: sensor de temperatura LM 35, microcontrolador Basic Step 1, display LCD 16x2 BKL, minicontator auxiliar 110 Vca-16 A, placa StepLab, rele 5 pinos 5 Vcc com um contato normalmente aberto (NA) e outro normalmente fechado (NF), transistor BC 548 ($\beta=100$), resistores de carvão de ¼ W com precisão de 5% (330 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω), fonte de alimentação 12 Vcc, cabo serial DB9, aquecedor resistivo 110 Vca x 1000 W, bomba injetora (bomba de água veicular do limpa para-brisas) e Diodo Emissor de Luz (LED) 3 mm, além de fios, solda, conectores, cola e recipientes diversos.

O Microcontrolador Basic Step foi o dispositivo utilizado para gravação do algoritmo de comando do sistema, o qual é um chip que possui uma unidade lógica aritmética, oscilador, memória flash que têm capacidade de preservar os dados armazenados por um enorme período de tempo sem precisar da presença de corrente elétrica e da memória de acesso aleatório, conhecida como RAM, onde preserva os dados conservados desde que sua alimentação elétrica seja mantida e que suporte a gravação de programa em formato hexadecimal e ainda é possível a comunicação externa com um micro computador ou dispositivos periféricos através de seus pinos (BOUFLEUR et al., 2014).

A placa StepLab foi utilizada para conexão de todos os componentes eletro/eletrônicos do protótipo, sendo ela a base do projeto, onde se realizou testes de montagem dos circuitos e funcionamento dos componentes.

O Display de Cristal Líquido (LCD) foi utilizado para permitir a interface entre o microcontrolador e o usuário, apresentando informações do processo conforme programação.

Também foi utilizado um mini contator auxiliar, que faz parte somente do circuito de comando, auxiliando outros componentes a realizar a sequência de acionamento.

Para o funcionamento do sistema foi necessária uma fonte de alimentação de 12 Vcc, a qual converte a corrente alternada (AC) em corrente contínua (CC), utilizada para alimentação dos componentes eletrônicos, entre eles o microcontrolador, o LCD e os reles.

A bomba injetora foi utilizada para bombeamento do leite para dentro dos tanques de aquecimento e resfriamento. Como aquecedor utilizou-se de um ebulidor resistivo comercial com potência 1000 W.

Um multímetro auxiliou na leitura de voltagem dos componentes elétrico/eletrônicos do projeto, especialmente na fase de testes, aferição de funcionamento, medição de grandezas elétricas e localização de defeitos. Resistores de carvão foram utilizados como limitadores de corrente elétrica em componentes como os LEDs e transistores.

Para medição automática da temperatura utilizou-se de um sensor LM35, o qual apresenta saída de tensão linear referente à temperatura que ele estiver no instante em que for alimentado por uma tensão de 4-20 Vcc, disponibilizando na saída um sinal de 10 mV para cada Grau Celsius de temperatura. A sua calibração linear e baixa impedância de saída linear, faz com que o sensor obtenha uma comunicação perfeita com os circuitos de leitura de temperatura com facilidade e sem precisar de ajustes, minimizando custos. Este tipo de sensor tem capacidade de operar em uma faixa de temperatura de -55°C a +150 °C (National Semicondutores, 1994), portanto é adequado ao projeto proposto.

Para amplificação de corrente elétrica necessária para acionamento dos reles foram utilizados transistores BC 548. Já os LEDs foram utilizados para testes anterior ao funcionamento final do protótipo, para ajustar qualquer erro cometido. O verde foi utilizado para comando de ligado e o vermelho desligado.

O cabo de gravação DB-9 foi utilizado como interface entre o computador e a placa Step Lab, na qual se conectou o Basic Step para transferência e gravação do algoritmo de controle desenvolvido.

O sensor de temperatura não foi calibrado, sendo utilizada a função de resposta recomendada pelo fabricante (Figura 1.A) com adaptações (Figura 1.B) para adequação ao sistema de leitura do conversor Analógico/Digital (A/D) do microcontrolador Basic Step.

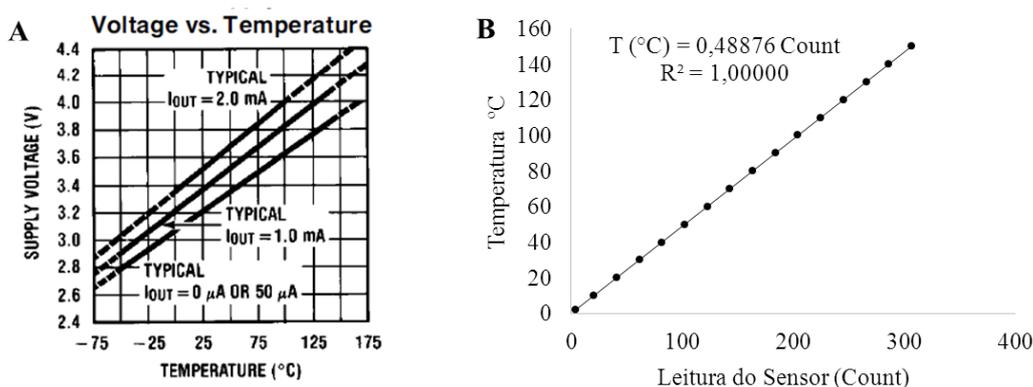


Figura 1: Função de Resposta do Sensor de Temperatura LM35 Conforme Fabricante (A) e Função de Resposta Adaptada (B).

Fonte: Adaptado de (National Semicondutores, 1994).

O A/D do Basic Step tem resolução de 10 bits para uma faixa de 0 a 5000 mV do sinal de entrada. No sistema binário 10 bits equivale a 1024 (2¹⁰) combinações, sendo o zero uma delas, portanto com 10 bits de resolução o A/D conseguiu 1023 intervalos de leitura, chamados

tecnicamente de Count. Dividindo o range de 5000 mV por 1023 Count encontra-se a relação de 4,88759 mV/Count. Como, segundo o fabricante, o sensor tem resolução de 10 mV/°C foram feitos os ajuste para uma função de resposta de $T(^{\circ}\text{C}) = f(\text{Count})$, conforme Figura 1.B.

Para possibilitar a imersão dos sensores em meio líquido (água) os mesmos foram montados em um tubo de acrílico (tubo de caneta esferográfica transparente), fazendo a junção dela ao tubo com cola tipo Epoxi (Figura 2), semelhante ao que fez CARVALHO (2004).



Figura 2: Acoplamento de Sensor de Temperatura em Tudo de Acrílico.

Foram utilizados dois sensores, um deles foi posto a verificar a temperatura do interior do tanque quente e o outro a temperatura do tanque de armazenamento final.

Para determinar o tempo necessário para o leite atingir a temperatura de pasteurização rápida (75°C), foi realizado testes prévios de vazão, comprimento da mangueira, temperatura da água e voltagem da bomba injetora, os quais foram cruciais para o ajuste do funcionamento adequado do processo. Para isso, foram feitos exaustivos testes de bombeamento e aquecimento aferindo a temperatura na saída da serpentina do tanque de aquecimento por meio de um ofício para inserção da sonda do termômetro digital (ponto 7 da Figura 3). Observou-se que no interior da serpentina a temperatura do leite era 10°C inferior à temperatura da água do tanque de aquecimento.

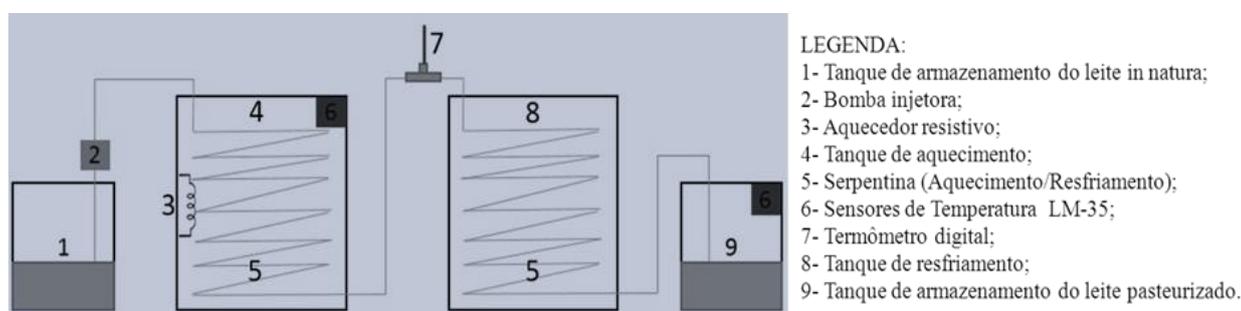


Figura 3: Esquema do pasteurizador alternativo de leite com seus componentes.

Uma vez verificado todos os parâmetros, foram construídos dois recipientes de metal, onde em seus interiores havia 10 e 15m de mangueira de PVC transparente com diâmetro de $\frac{1}{4}$ de polegada, nos recipientes quente e frio, respectivamente. A razão do comprimento diferente das serpentinas é que o leite, quando inserido no tanque, está na temperatura ambiente (25 a 30°C para as condições do laboratório) e para ser aquecido até 75°C leva menos tempo de contato do que para resfriar de 75°C para temperatura abaixo de 5°C .

A decisão pela utilização deste tipo de mangueira foi o seu baixo custo uma vez que a aquisição de serpentinas de aço inoxidável não era compatível com as condições orçamentárias do projeto, sabendo que em aplicações industriais a própria legislação e o sistema fiscalizatório exigem a utilização de utensílios de aço inox. Além do que os metais possuem coeficiente de condutividade térmica muito maior do que os plásticos.

No tanque quente a água era aquecida com o aquecedor resistivo e no tanque frio foi posta uma mistura de água e gelo (gelo fundente), cuja temperatura se aproxima de zero $^{\circ}\text{C}$ por definição, conforme condições de pressão atmosférica e pureza da água e do gelo.

O processo de pasteurização automática foi realizado em batelada. Ao iniciar o processo o leite in natura era bombeado automaticamente do tanque de repouso para o tanque de água quente (85-90 °C) até preencher completamente a serpentina, quando a bomba era desligada mantendo o leite em contato com a água quente por 135 segundos, sendo esse o tempo necessário para que o leite no interior da serpentina atingisse a temperatura de pasteurização (aferida com termômetro digital na saída da serpentina). Em seguida a bomba era novamente acionada conduzindo o leite aquecido para a serpentina do tanque de resfriamento lá permanecendo por 300 segundos. Logo em seguida a bomba era novamente acionada conduzindo o leite já pasteurizado para o reservatório final.

O sistema de controle da temperatura foi projetado para o set point de 87,5 °C com desvio aceitável de 2,5 °C para mais ou para menos, oscilando entre 85 e 90 °C.

Na Figura 4, é apresentado o diagrama esquemático do circuito elétrico/eletrônico que foi montado no protótipo, com os seus principais elementos.

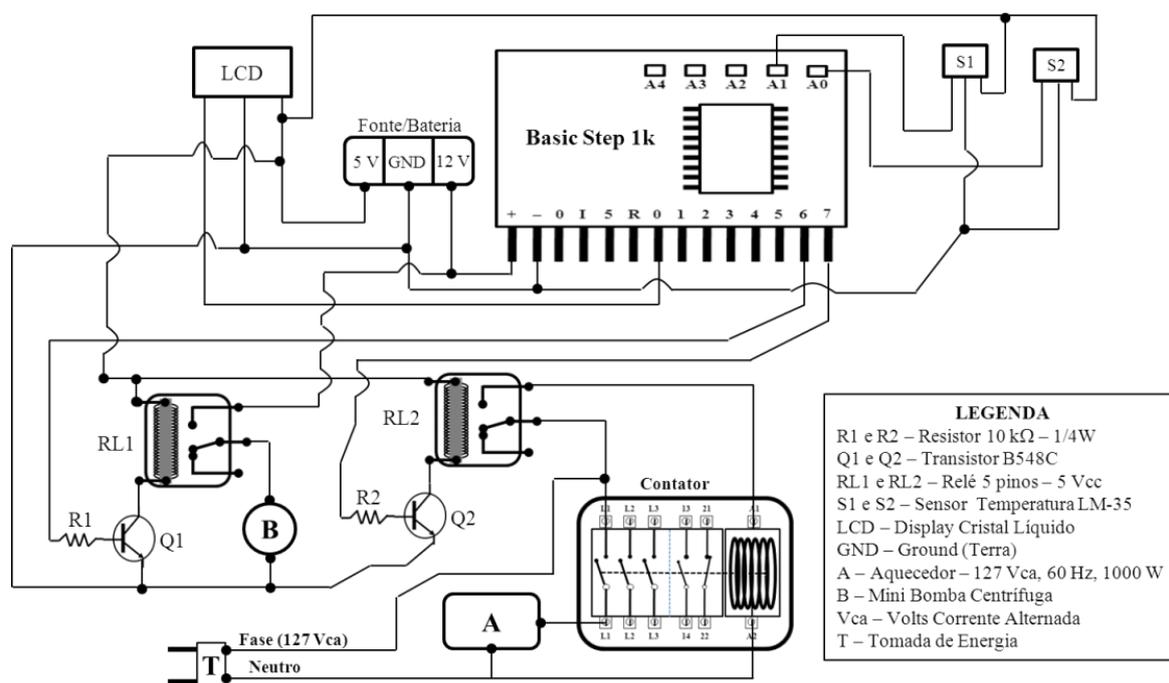


Figura 4: Diagrama Esquemático do Circuito Elétrico/Eletrônico do Protótipo.

Observam-se os sensores de temperatura S1 e S2 ligados aos canais A1 e A0 do A/D do microcontrolador, respectivamente. O LCD, alimentado com 5 Vcc foi conectado ao pino zero (P0) do microcontrolador permitindo a recepção de dados alfanuméricos numa taxa de 2400 bits por segundo, os quais são apresentados em duas linhas com 16 caracteres em cada uma delas. Para acionamento dos relés utilizou-se de um resistor de base e um transistor NPN como amplificador de corrente elétrica, uma vez do Basic Step drena no máximo 20 mA nos seus pinos de entrada/saída e o relé requer pelo menos 75 mA para seu perfeito acionamento.

Ligado ao pino 6 (P6) do microcontrolador o primeiro relé é dedicado ao acionamento da bomba injetora alimentada em 12 Vcc. Já o segundo relé, ligado do pino 7 (P7) é dedicado ao acionamento do contator que em sequencia aciona o aquecedor.

O circuito de corrente contínua foi alimentado por uma fonte em paralelo com uma bateria a fim de minimizar as oscilações elétricas e ruídos, uma vez que a rede elétrica da universidade é contaminada com interferência de múltiplos e diversos equipamentos ligados

ao mesmo tempo. O circuito de corrente contínua foi alimentado por uma tomada de 127 volts.

Na Figura 5 é apresentado o fluxograma, o qual possui uma representação esquemática do processo de pasteurização do leite, mostrando toda sequência operacional do protótipo.

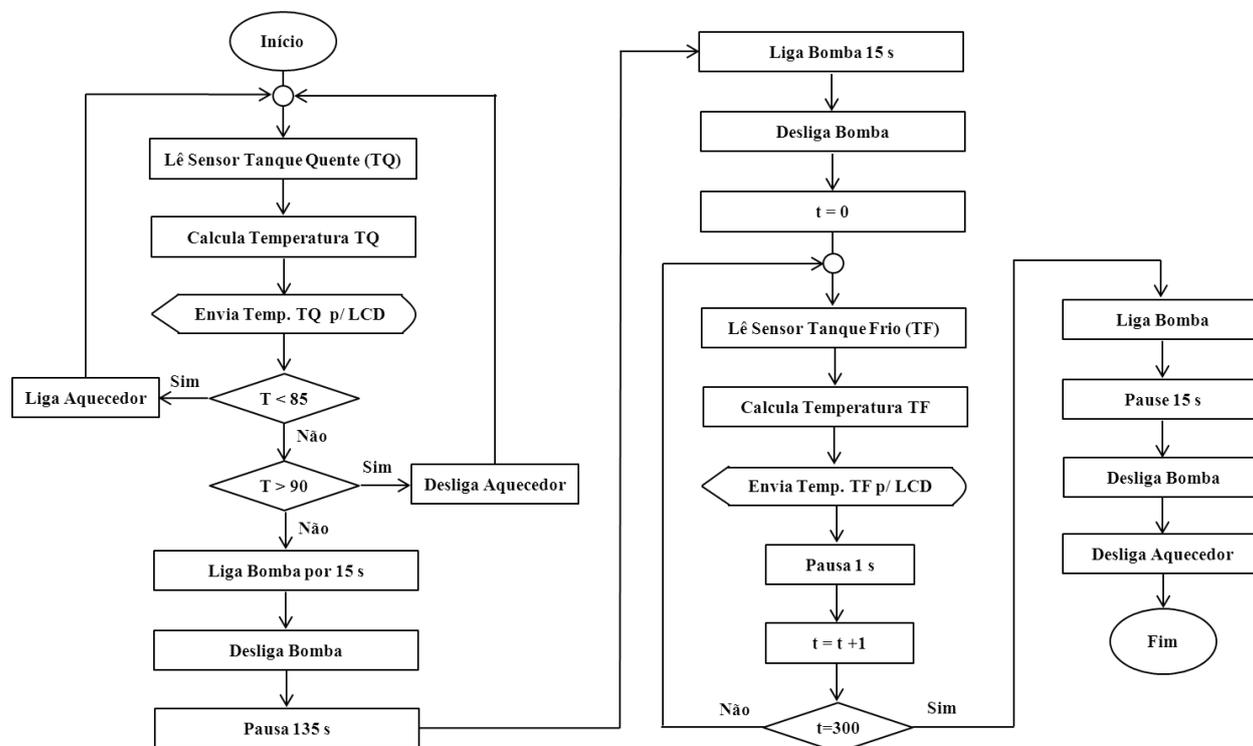


Figura 5: Fluxograma do processo do protótipo.

Durante os ensaios de pasteurização e ajustes foram colhidos simultaneamente dados de temperatura do sistema automático de um termômetro digital disponível no laboratório. De posse desses dados ajustou-se uma regressão linear entre eles, comparativamente à curva 1x1, e calculou-se o coeficiente de determinação – r^2 , o coeficiente de correlação – r , a Raiz do Erro Quadrático Médio – RMSE (LEGATES & MCCABE, 1999), Erro Absoluto Médio – MAE (WILLMOTT ET AL., 1985), Índice de Concordância – d (LEGATES & MCCABE, 1999) e o Índice de Desempenho de Camargo – C (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 6.A apresenta-se a temperatura do processo obtida com o sensor LM35, o “Set Point” e os desvios máximo e mínimo. Observa-se que o sistema de controle comandou adequadamente o aquecimento, partindo da temperatura ambiente até o limite máximo permitido estabilizando a temperatura dentro da faixa desejada.

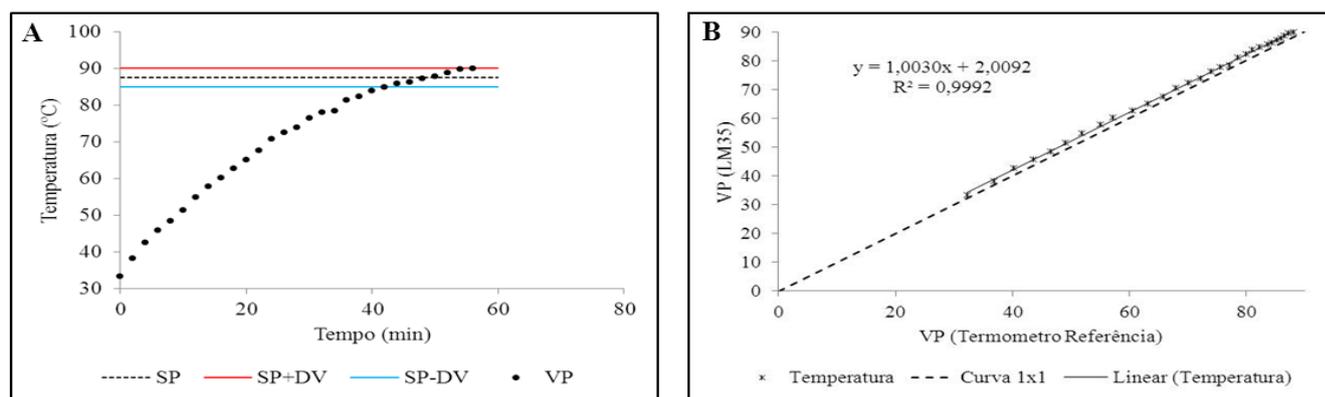


Figura 6: (A) Variação de temperatura conforme o tempo, aferido pelo termômetro digital de referência; e (B) comparação entre as temperaturas medidas pelo protótipo e pelo termômetro digital comercial.

Na Figura 6.B apresenta-se a curva 1 x 1 entre a temperatura medida pelo protótipo e a temperatura medida manualmente por termômetro digital, bem como a regressão linear, onde se observa coeficiente angular (a) e coeficiente de determinação (r²) próximos de 1 revelando que o sistema de medição e controle da temperatura funcionou adequadamente estimando com exatidão a temperatura do tanque de aquecimento.

Tabela 1: Resultado do Coeficiente de Determinação (r²), Coeficiente de Correlação (r), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Erro Absoluto Médio (MAE), Índice de Concordância (d) e Índice de Desempenho de Camargo (C) para temperaturas determinadas pelo protótipo comparadas com um termômetro digital comercial.

| Coeficiente | r ² | r | RMSE | MAE | d | C |
|-------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Valor | 0,99921 | 0,99960 | 2,26310 | 2,21276 | 0,99547 | 0,99026 |

O coeficiente de determinação (r²) próximo da unidade revela a semelhança entre os métodos de medida indicando que o sistema de medição de temperatura baseado no microcontrolador Basic Step e no sensor de temperatura LM-35 são semelhantes, ou ainda, que o sistema automatizado de medição da temperatura foi capaz de substituir as medições manuais realizadas com um termômetro digital.

O coeficiente de correlação (r) ou coeficiente de Pearson, também próximo da unidade, revela a excelente precisão ou acurácia do sistema automático desenvolvido e o índice de concordância (d) aponta para a ótima exatidão das medidas realizadas pelo sistema automático em relação do termômetro digital de referência.

O RMSE e o MAE são medidas de erros usadas para representar as diferenças médias entre duas metodologias de mediação, indicando a amplitude do erro e o grau de espalhamento dos dados, porém o MAE é menos sensível a valores extremos, como explicado por Santos et al. (2011). Os valores encontrados para RMSE e MAE foram de 2,26 e 2,21 °C, respectivamente, revelando que o medidor de temperatura automatizado mede a temperatura aproximadamente 2,2 °C, em média, acima do termômetro digital utilizado como referência. Não significa que se trata exatamente de um erro, pois nenhum dos medidores foi calibrado com um medidor de temperatura padrão. Apenas indica que há um desvio, ou distanciamento, entre os medidores, reforçando que se utilizou, para o LM-35, a equação de calibração sugerida pelo fabricante realizando apenas a adaptação da mesma para o sistema de leitura do microcontrolador.

O índice de desempenho de Camargo (C) também foi excelente, pois segundo Camargo e Sentelhas (1997), e Leitão et al. (2007), entre outros autores, valores de C maiores de 0,85 indicam ótimo desempenho.

Na Figura 7 apresenta-se o protótipo de pasteurizador alternativo e teste peroxidase do leite pasteurizado automaticamente.



Figura 7: Pasteurizador (A), Análise de peroxidase (B) e Resultado da análise (C).

Pela Figura 7.A observa-se os reservatórios de leite in natura e pasteurizado, bem como os tanques de aquecimento e resfriamento, a bomba injetora, o circuito eletrônico, o aquecedor e o ponto de aferição da temperatura na saída da serpentina de aquecimento.

Na Figura 7.B é ilustrada análise de peroxidase realizada com o leite pasteurizado e na Figura 7.C apresenta-se o resultado dessa análise, onde se observa a cor avermelhada a qual é indicativa de resultado positivo para a pasteurização.

A análise realizada obteve resultado positivo para a presença de peroxidase, pois esta enzima não é inativada no processo de pasteurização, sendo inativada apenas em temperaturas acima de 80°C, comprovando assim a eficácia deste método, que segundo Franco et al. (2011), permite averiguar se a pasteurização ocorreu de forma adequada por meio da temperatura utilizada no tratamento. O que equivale dizer que o sistema de controle automático da pasteurização do leite funcionou adequadamente alcançando seu objetivo.

Schuster et al. (2006), no estudo da avaliação de equipamento alternativo para pasteurização lenta de leite previamente envasado, constataram a eficiência da pasteurização lenta implantada para pequenos produtores de leite, a qual colaborou para formalização do leite distribuído para o comércio, além de melhor a qualidade do mesmo.

O algoritmo gerado para o funcionamento do sistema funcionou de maneira satisfatória, acionando a bomba injetora e o aquecedor resistivo, conforme leitura dos sensores de temperatura e sequencia programada no Basic Step indicando que a ação de controle on-off foi adequada para o controle automático do processo. Resultados positivos coma a utilização da ação de controle on-off também foram obtidos por Valero et al. (2014); Zavolski et al. (2015), Lima et al. (2015) em projetos de automação de processos da cadeia produtiva da agroindústria.

O tempo de pasteurização (135 s para aquecimento e 300 s para resfriamento) ficou acima do tempo recomendado para pasteurização rápida (15 a 20 s), porém muito inferior ao tempo de pasteurização lenta que é de 30 a 35 minutos. Neste quesito, o sistema necessita de melhorias. Porém justifica-se que o tempo mais elevando não foi devido ao sistema de automação e controle, mas às características térmicas do material utilizado na serpentina, o que pode ser resolvido com uma simples substituição da serpentina por um material de melhor condução térmica, ficando esse gargalo como sugestão para novos e futuros estudos.

O projeto alternativo para pasteurização rápida de leite, mostrou-se eficiente e de fácil aplicação para produtores rurais, pois o mesmo demanda pouco tempo de processo, utiliza

pouca energia e economiza mão de obra especializada para monitoramento do processo, além de oferecer segurança e agilidade.

Os materiais utilizados na indústria de alimentos são de custo elevado e em sua maioria de aço inox, pois o mesmo é inerte. Neste trabalho utilizou-se de material alternativo para construção do protótipo buscando uma solução de baixo custo e fácil execução, já que o mesmo é voltado para pequenos produtores. Como uma fonte alternativa de aquecimento, pode ser utilizado o gás natural produzido na própria propriedade a partir dos dejetos dos estábulos, e para o resfriamento pode ser empregado um refrigerador comum tipo freezer.

4. CONCLUSÕES

O sistema elétrico/eletrônico desenvolvido para controle automático com ação de controle On/Off atuou de maneira satisfatória e se mostrou eficaz na pasteurização rápida de leite;

O protótipo desenvolvido teve um bom funcionamento, o qual ocorreu de forma eficiente, propondo uma possível aplicação para pequenos produtores rurais, no beneficiamento do leite in natura em suas propriedades;

O resultado positivo da análise de peroxidase demonstrou que o tratamento térmico foi realizado eficientemente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C.G.F.; RANGEL, A.H.N.; MEDEIROS, H.R.; MENDES, C.G.; ABRANTES, M.R.; SOUSA, E.S.; SILVA, J.B.A. Avaliação Qualitativa do Leite Pasteurizado tipo A, B, e C comercializado em Natal, RN. Arquivos do Instituto Biológico. São Paulo - SP, v. 79, n. 2, p. 283-286, 2012.

ARMINDO, R.A.; QUEIROZ, T.M.; BOTREL, T.A.; GARZELLA, T.C. Desenvolvimento e avaliação de um sistema automatizado de aquisição de dados para medição de vazão, "Autoventuri". Bioscience Journal, v.27, n.5, p.764-774, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Departamento nacional de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – Riispoa. Decreto nº 2244 de 4 de Junho de 1997. Brasília-DF, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 51 de 18 de Setembro de 2002. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado, 2002.

BON, J. CLEMENTE, G. VAQUIRO, H. MULET, A. Simulation and optimization of milk pasteurization processes using a general process simulator (ProSimPlus). Computers and Chemical Engineering, v.34, p.414-420, 2009.

BOOR, K. J. Pathogenic microorganisms of concern to the dairy industry. Dairy, Food and Environmental Sanitation, Ames, v.17, n.11, p.714-717, 1997.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARVALHO, H.P. Desenvolvimento de um protótipo para monitoramento e controle da condutividade elétrica de soluções fertilizantes. Dissertação. Universidade Federal de Lavras, 2004.

HOLANDA, E.V. Jr.; HOLANDA, E.D.; MADALENA, F.E.; AMARAL, J.B.C.; MIRANDA, W.M. Viabilidade financeira da pasteurização lenta de leite na fazenda: estudo de caso. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. Belo Horizonte – MG, v. 54, n. 1, p. 68-74, 2002.

BOUFLEUR, A.C.; GIACOMINI, C.S.; RIBEIRO, E.; RIBEIRO, F.; FERNANDES, D.; QUEIROZ, T.M. Construção de um protótipo de um tanque para produção de chá com controle de temperatura e de nível. *Revista Engenharia e Tecnologia*. Barra do Bugres – MT, v. 6, n. 3, p. 196-206, 2014.

FRANCO, B.S.; MANFIO, S.R.; ANDRADE, C.J.; LEÃO, M.F. Análise das enzimas peroxidase e fosfatase em amostras de leite cru, pasteurizado e longa vida. *Revista Ciência, Tecnologia, Inovação e Oportunidade*. Barra do Bugres – MT, v. 1, n. 1, p. 52-56, 2011.

FREITAS, A.C.C.; PARIZOTTO, D.; TELLINE, E.M.A.; QUEIROZ, T.M.; SANTANA, U.S. Desenvolvimento de protótipo para controle de temperatura no processo de parboilização do arroz. *Revista de Tecnologia Aplicada*, v.3, n.1, 2014.

LEGATES, D.R. & McCABE Jr., G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resources Research*, v.35, p.233-241, 1999.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, T.F.V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.6, p.585–593, 2007.

LIMA, D.S.; MEJIAS, K.E.M.; NEZI, M.K.; SILVA, R.U.; QUEIROZ, T.M. Automação do controle da temperatura em um defumador de peixe. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.7, n.4, p.169-175, 2015.

National Semicondutores. LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors, 1994. Disponível em: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>. Acessado: 29/07/2016.

MATA, N.F.; TOLETO, P.S.; PAVIA, P.C. A Importância da Pasteurização: Comparação Microbiológica entre Leite Cru e Pasteurizado, do tipo B. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*. Juiz de Fora – MG, v. 67, n. 384, p. 66-70, 2012.

MOLLO, M.N.; GABRIEL, C.P.C.; SANTOS, V.J.; ZANETTI, W.A.L. Avaliação de sensores eletrônicos para usa em instrumentos agrometeorológicos alternativos em galpões avícolas. *Enciclopédia Biosfera*. Goiânia – GO, v. 11, n. 21, p. 2527, 2015.

OLIVEIRA, A.S.; ALMEIDA, K.M.; FREITAS, C.F.; DEPIERI, V.A.; QUEIROZ, T.M. Simulação de um processo de aeração em um silo de armazenamento de grãos, controlado via rádio frequência. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.6, n.1, p.1-10, 2014.

QUEIROZ, T.M.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.1, p.44-54, 2008.

REIS, D.R.; CAVALCANTE, A.O.; BEVILAQUA, N.C.O.; BERTO, R.F.; QUEIROZ, T.M.; TABOZA, T.M. Proposta de automação do controle de enchimento e esvaziamento de um reservatório. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.7, n.3, p.201-208, 2015.

SCHUSTER, C.; GONZALEZ, H.L.; BUCHLE, J.; TIMM, C.D. Avaliação de equipamento alternativo para pasteurização lenta de leite previamente envasado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas – SP, v. 26, n. 4, p. 828-831, 2006.

SILVA, J. N.; SOUZA, F. C.; PARENTE, G. D. L.; SILVA, L. M. M.; ALVES, T. T. L. Avaliação da eficiência da Pasteurização em Leite tipo C através de parâmetros enzimáticos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. Mossoró – RN, v. 6, n. 3, p. 06-09, 2011.

TAMANINI, R. SILVA, L.C.C. MONTEIRO, A.A. MAGNANI, D.F. BARROS, M.A.F. BELOTI, V. Avaliação da qualidade microbiológica e dos parâmetros enzimáticos da pasteurização de leite tipo “C” produzido na região norte do Paraná. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 3, p. 449-454, 2007.

VALERO, N.V.; SOLDÁ, C.E.; CARVALHO, P.F.; FOLADOR, T.; QUEIROZ, T.M. Protótipo de elevador de canecas com sistema de acionamento via controle remoto. *Revista Engenharia e Tecnologia*. Barra do Bugres – MT, v. 6, n. 1, p. 183 – 193, 2014.

WILLMOT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J.; FEDDEMA, K.M.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O’DONNELL, J. & ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v.90, p.8995-9005, 1985.

ZAVOLSKI, C.A.; MENDES, E.S.; SOUZA, R.L.; MENEHINI, T.; QUEIROZ, T.M. Desenvolvimento de um protótipo para secagem de ervas medicinais com controle de temperatura. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 7, n. 4, p. 156-168, 2015.