

# Aplicação da água em vez do leite para o levantamento de dados da pasteurização do leite com o intuito de projetar e implementar um controle automático

*Application of water instead of milk to collect milk pasteurization data in order to design and implement and automatic control*

## Engenharia de Controle e Automação

**Rogério Issamu Yamamoto** ([rogerio.yama@gmail.com](mailto:rogerio.yama@gmail.com))

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

**Victor Inácio Oliveira** ([pro14724@cefsa.edu.br](mailto:pro14724@cefsa.edu.br))

Doutor em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade de São Paulo e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

**Ilana Racowski** ([pro6389@cefsa.edu.br](mailto:pro6389@cefsa.edu.br))

Doutora em Biotecnologia pela Universidade de São Paulo e professora da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

**Lilian Bozzi** ([pro21001713@cefsa.edu.br](mailto:pro21001713@cefsa.edu.br))

Doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas e professora da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

**Flávia Mendes Santos** ([051180010@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:051180010@faculdade.cefsa.edu.br))

Graduanda em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

**Alexsander Vilaça Rodrigues** ([081200032@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:081200032@faculdade.cefsa.edu.br))

Graduando em Engenharia de Computação na Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP DEZ. 2022

• ISSN 2525-8729

Submissão: 28 ago. 2022 Aceitação: 16 dez. 2022

Sistema de avaliação: às cegas duplas (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 69-85

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



FACULDADE  
ENGENHEIRO  
SALVADOR ARENA

## *Resumo*

O Brasil é um dos maiores consumidores de queijo do mundo, e estudos mostram que o uso de leite cru ou tratado de forma inadequada pode trazer contaminação ao produto final. Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo levantar os dados de temperatura de um equipamento de pasteurização e fabricação de queijo, buscando gerar dados para projetar e implementar um controle automático do processo de pasteurização. Primeiramente, foi necessário um mapeamento do processo, no que diz respeito à resposta do aquecimento do fluido durante a abertura de uma válvula de vapor, em função do tempo. Os dados serviram para mostrar o desempenho das válvulas de água fria e de vapor para o controle de temperatura da planta. Porém, buscando evitar o desperdício de leite, no processo de aquisição e calibração do sistema de controle, analisou-se a possibilidade de utilização de água ao invés do leite. As medidas iniciais mostram que o comportamento da água é similar ao do leite e pode ser um substituto viável para evitar o desperdício de leite na aquisição e calibração dos sensores.

**Palavras-chave:** Automação. Leite. Queijo.

## *Abstract*

Brazil is one of the top cheese consumers in the world, and researches show that untreated or inadequately treated milk can contaminate the final product. In this scenario, the present paper aims to collect temperature data of a pasteurization and cheese making equipment, in order to improve its quality, through the implementation of an automatic process control. First of all, it was necessary a study of the process, searching for the relation between the plant's output and the actuator; in this case the plant is the thermal behavior of the fluid (milk) and the actuators are represented by a steam valve and a cold-water valve. The collected data would be used to show the performance of those valves and it would help to develop the automatic control system, although, in order to avoid milk waste, in the collect data process and in the control system calibration, this research analyzed the possibility of using water instead milk. The initial measures show that the behavior of water is similar to the behavior of milk, and that water can be used as a viable substitute of milk in order to avoid milk waste in the collect data and sensors calibration.

**Keywords:** Automation. Automation. Milk. Cheese.

## Introdução

No ano de 2020, o Brasil exportou mais de 4 toneladas de queijo, chegando a faturar mais de R\$ 18 milhões nesse mercado, conforme divulgado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE (2021).

Os brasileiros consomem em média 5,3 kg de queijo por ano; com isso, o Brasil chega a ocupar a 6ª posição no consumo mundial de queijos, perdendo apenas para Estados Unidos da América, Rússia, China, Alemanha e Itália, respectivamente (SEBRAE, 2021). De acordo com Veríssimo *et al.* (2019), os queijos mais apreciados pela população brasileira são: queijo minas frescal, mussarela, ricota, queijo prato e parmesão, sendo o queijo minas frescal o mais consumido nas regiões Nordeste e Sudeste (SIQUEIRA; SCHETTINO, 2021).

A Portaria nº 352, de 1997, define o queijo minas frescal como um produto obtido a partir da coagulação enzimática do leite, classificado como semigordo de alta umidade e fresco. Assim como descrito por essa mesma portaria, o leite a ser usado para sua produção deve ser pasteurizado ou passar por outro tratamento térmico equivalente à pasteurização (BRASIL, 1997).

Mesmo sendo a pasteurização um processo regulado por lei para a produção do queijo minas, o insumo utilizado majoritariamente é o leite cru ou o leite com tratamento térmico ineficaz. Uma pesquisa realizada por Loguercio e Aleixo (2001) demonstrou que 93,33% dos queijos minas frescal produzidos em Cuiabá estavam contaminados por coliformes totais, e cerca de 43,33% desses produtos poderiam causar alguma intoxicação alimentar aos seus consumidores.

A automatização das fábricas de queijo minas é vista como solução para as irregularidades apresentadas, principalmente quando são utilizados controladores de temperatura, no caso, os controladores ON - OFF (SANTOS, MENEZES e QUEIROZ, 2020). Pensando em tornar a produção desse tipo de queijo mais padronizada e segura para os consumidores, foi proposto o uso de automatização durante o processamento térmico pela utilização de controladores *ON - OFF*, para o controle ideal do binômio tempo e temperatura de pasteurização.

## Revisão bibliográfica

Conforme Santos, Menezes e Queiroz (2020), as fábricas de queijo minas frescal artesanal são as menos padronizadas se comparadas com as fábricas que produzem outros tipos de queijo. A partir de uma avaliação desse fato, constatou-se que cerca de 55,6% do queijo minas frescal não atendiam a legislação em relação à quantidade nele contida de coliformes totais, além de outros problemas que prejudicam a qualidade do produto final. Isso se dá pela falta de boas práticas de fabricação e, principalmente, pelo controle inadequado da temperatura durante o seu processamento.

De acordo com Vinha et al. (2016), é comum a utilização de leite cru para a produção de queijo minas frescal artesanal, o que acarreta sua contaminação. Produtos com alto índice de manuseio, no caso os queijos, têm maior risco de propagação de microrganismos como a *Salmonella sp.* e coliformes totais, gerando em sua composição competição por nutrientes e fermentações indesejadas, proporcionando assim a falta de padronização, além de ser um alimento não seguro (BATISTELLA; PEDROSA, 2021).

Visando tornar mais segura a produção de queijo minas, foi adicionado um processo térmico brando ao leite com o intuito de diminuir a carga microbiana nele existente sem que com isso mudassem suas características, ou seja, usando-se a pasteurização. Esse processo é um tratamento térmico desenvolvido por Louis Pasteur no século XIX, tendo como objetivo a conservação dos alimentos, e é responsável por eliminar os microrganismos patogênicos e grande parte dos deteriorantes (MAIA, 2012).

A pasteurização fundamenta-se em um binômio de tempo e temperatura levemente baixos, desse modo, permitindo um aumento na vida de prateleira do produto sem que provoque alterações nas suas características sensoriais e físico-químicas. No caso do leite, a pasteurização permite a eliminação dos microrganismos patogênicos, alterando minimamente suas características, deixando-o similar ao leite cru. Outro ponto importante da pasteurização, além de ser o único tratamento térmico de todo o processamento do queijo minas frescal, é a permanência da estabilidade da caseína, proteína importante para a coagulação (BUSNELLO, 2008).

De acordo com o Decreto nº 9.013, de 2017, são permitidos dois tipos de pasteurização do leite: a lenta e a rápida. A lenta baseia-se no aquecimento do leite entre as temperaturas 63 °C e 65 °C por 30 minutos enquanto ele é mantido sob agitação. Já a do tipo rápida consiste no aquecimento do leite entre as temperaturas 72 °C e 75 °C por 15 segundos. No final dos dois processos, o leite deve ser resfriado e mantido em refrigeração até o seu uso final (BRASIL, 2017).

O processo de pasteurização para a produção de queijo minas frescal baseia-se no tipo lento e em sua maioria é realizado em um tacho aberto encamisado, devido ao baixo volume de leite trabalhado. O aquecimento ocorre pela circulação de água quente ou vapor e o resfriamento por água fria (LOPES, 2019). Também pode ser utilizada a pasteurização do tipo rápido com o uso de um trocador de calor de placas, capaz de operar em temperaturas mais elevadas, o qual é baseado no sistema de contracorrente do fluido quente-frio do leite (BARBOSA et al., 2018).

A eficácia da pasteurização do leite pode garantir a eliminação de microrganismos patogênicos e deteriorantes (CASAROTTI, 1993). O controle da temperatura durante essa etapa é essencial, por isso é que os usos de controladores podem garantir a padronização, a continuidade da temperatura e possíveis correções relacionadas a ela (SILVEIRA, 2016). Como apresentado por Santos, Menezes e Queiroz (2020), a automação nas fábricas de queijos traz diversas vantagens como a redução da contaminação microbiológica, diminuição nos custos de fabricação e controle ideal da temperatura durante o processo, tornando o produto final mais seguro e padronizado.

De acordo com Seborg *et al.* (2016), tendo em vista a necessidade de maior segurança e eficiência nas plantas industriais, foi consequência natural os sistemas de controle se tornarem indispensáveis para o avanço da indústria. Da mesma forma, não seria possível operar as plantas modernas com segurança sem os sistemas computacionais.

O uso de controladores tipo *ON - OFF* visa desenvolver a capacidade de automatização do processo e de controlar a temperatura de maneira contínua e monitorá-la de modo remoto (SANTOS, MENEZES e QUEIROZ, 2020). O controlador *ON - OFF* é o modelo mais básico e de baixo custo dentre os existentes, sendo denominado de controle clássico. Seu funcionamento é baseado no sistema de liga ou desliga dependendo da interpretação do sensor. A tomada de

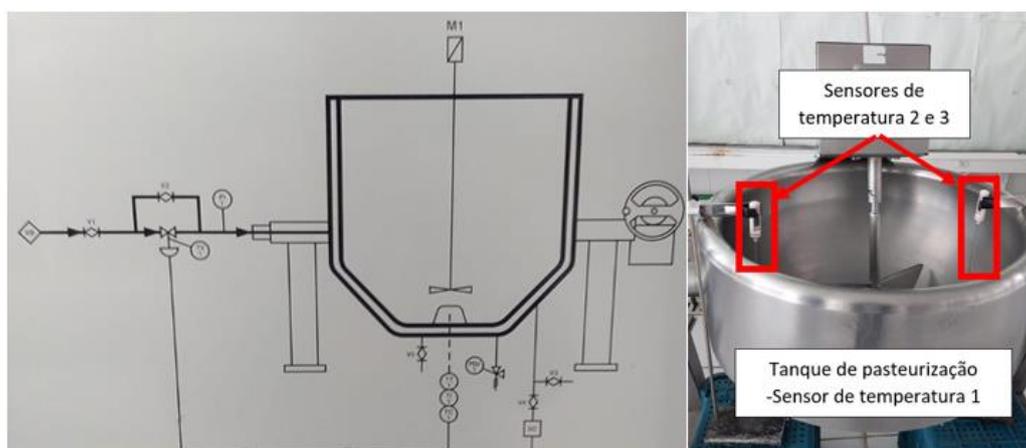
decisão para utilizá-lo é fundamentada em uma determinação contida no programa, ou seja, se a temperatura ajustada é ou não a desejada, permitindo assim, remotamente, o controle de válvulas para o aumento ou redução da temperatura (CARDOSO, 2020).

## Material e método

Na planta-piloto do Centro Educacional da Fundação Salvador Arena (CEFSA), é produzido queijo minas frescal pelos funcionários da referida instituição. Nesse local, foi proposta a implementação do protótipo de automatização do processo de pasteurização do leite para a produção desse tipo de queijo.

Atualmente o procedimento realizado pelos funcionários do CEFSA consiste no acionamento das válvulas, para aquecimento e resfriamento, manualmente no tanque de produção do queijo minas frescal (Figura 1 (a)). Foi notado, durante as visitas à planta-piloto, a necessidade da realização de um procedimento operacional padrão (POP) para os acionamentos e/ou desligamentos das válvulas, já que essas ações não eram registradas anteriormente.

**Figura 1** – (a) Diagrama do tanque e (b) Instalação inicial dos sensores de temperatura.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Para a instalação desses protótipos, foram realizados três testes iniciais para as análises das temperaturas utilizadas durante o processo. Para tanto, utilizou-se o sensor de temperatura (1) presente no tanque da planta-piloto para a produção de queijos, além de dois sensores de temperatura tipo espeto da marca Kasvi (2 e 3) e dois suportes de buretas, que foram colocados próximo ao tanque, como visualizado na Figura 1 (b). Esse protótipo tem como objetivo

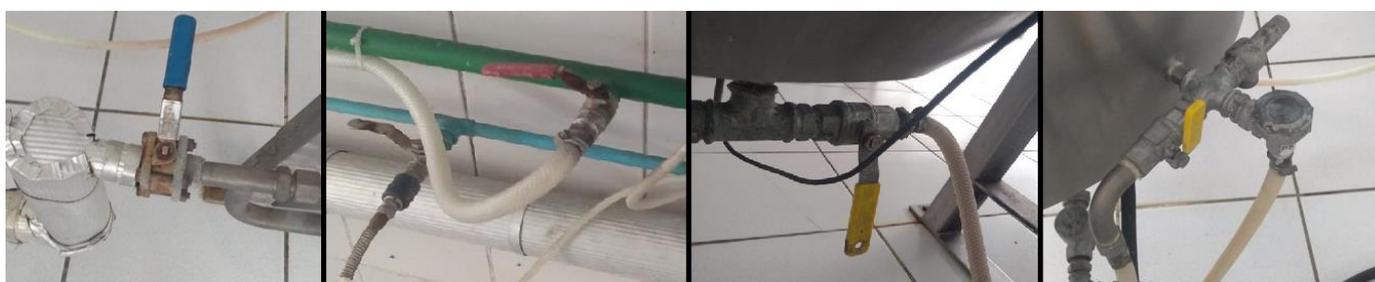
automatizar a pasteurização do leite, sendo que não é necessário o controle manual da temperatura.

O primeiro teste foi realizado com a adição de 33 litros de leite no tanque, volume este que corresponde ao leite disponível no CEFSA; nesse processo foram analisados o tempo e a variação de temperatura entre os sensores de temperatura instalados e o que já existe no interior do tanque. As análises ocorreram durante a fase de aquecimento e de resfriamento, variando as temperaturas de 63, 64, 65, 66, 67, 71, 72, 73, 74 e 75 °C. O segundo teste foi realizado com o mesmo direcionamento que o primeiro, utilizando 33 litros de água. O volume de água utilizado no segundo teste foi equivalente à quantidade de leite utilizada no primeiro teste. O objetivo desse experimento foi avaliar a capacidade que a água apresenta de substituir o leite em futuros testes, já que não se pode correr o risco de desperdiçar leite caso um dos testes dê errado.

## ***Resultados e discussão***

O POP elaborado para o tanque de pasteurização do queijo minas frescal fundamenta-se no acionamento da válvula V1, responsável pela liberação do vapor através da camisa do tanque, onde se inicia o processo de aquecimento. Após atingir a temperatura desejada, a V1 é fechada e logo em seguida são abertas as válvulas: Vermelha, V5 e PSV1. A válvula vermelha é responsável por ligar a água, que está em temperatura ambiente, enquanto a válvula V5 permite a entrada de água na camisa do tanque, e a PSV1 pela saída da água; essa etapa é encarregada de resfriar o leite. As válvulas estão representadas na Figura 2.

**Figura 2** - Válvulas: V1, Vermelha, V5 e PSV1, respectivamente.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Conforme o primeiro teste realizado na planta-piloto do CEFSa, o Quadro 1 apresenta os binômios de tempo e temperatura dos processos de aquecimento registrados pelos três sensores de temperatura, estando o tanque com 33 L de leite.

**Quadro 1** – Teste 1: leite – 33 L

Temp.	Sensor de temperatura 1		Sensor de temperatura 2		Sensor de temperatura 3	
	Aquec.	Resf.	Aquec.	Resf.	Aquec.	Resf.
63 °C	10:55:00	10:58:56	10:55:00	10:59:00	10:55:00	10:58:58
64 °C	10:55:07	10:58:41	10:55:08	10:58:43	10:55:07	10:58:42
65 °C	10:55:13	10:58:26	10:55:13	10:58:27	10:55:15	10:58:27
66 °C	10:55:25	10:58:11	10:55:26	10:58:13	10:55:22	10:58:12
67 °C	10:55:36	10:57:56	10:55:36	10:57:57	10:55:37	10:57:57
71 °C	10:56:06	10:57:41	10:56:07	10:57:43	10:56:07	10:57:42
72 °C	10:56:14	10:57:26	10:56:13	10:57:27	10:56:15	10:57:27
73 °C	10:56:24	10:57:11	10:56:25	10:57:13	10:56:25	10:57:12
74 °C	10:56:33	10:56:56	10:56:32	10:56:5	10:56:36	10:56:57
75 °C	10:56:41	10:56:41	10:56:43	10:56:43	10:56:42	10:56:42

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O primeiro teste foi realizado no dia 28 de abril de 2022, durante o período da manhã. Foram despejados no tanque 33 litros de leite; o aquecimento foi iniciado às 10 horas e 44 minutos. Logo em seguida, foram registrados os tempos correspondentes às temperaturas descritas nos materiais e métodos, como pode ser observado na tabela 1. Esse registro ocorreu através de fotos, pois dessa forma é possível registrar a hora e os minutos em que uma foto foi tirada; além disso, devido a um termostato presente no painel, é possível registrar o tempo juntamente com a temperatura num determinado instante. Durante o processo, o sensor de temperatura 3 parou de funcionar, mas logo foi substituído; por essa razão, apenas os sensores de temperatura 1 e 2 foram utilizados nesse primeiro teste.

O aquecimento terminou após atingir a temperatura de 75 °C, o que durou uma média de 1 minuto e 42 segundos, enquanto o resfriamento, de 75 °C até 63 °C, levou em média 2 minutos e 16 segundos. Nesse primeiro teste, foi possível observar e montar a estrutura instalada para os sensores de temperatura. Durante a realização desse teste, os sensores de temperatura demonstraram pequenas variações, tanto para o resfriamento quanto para o aquecimento. A partir do segundo teste realizado com água, foi possível a obtenção do Quadro 2, no qual é

demonstrado o tempo e a temperatura registrados pelos sensores de temperatura, no Teste 2, usando água, no volume de 33 L.

**Quadro 2 – Teste 2 com água – 33 L**

Temp.	Sensor de temperatura 1		Sensor de temperatura 2		Sensor de temperatura 3	
	Aquec.	Resf.	Aquec.	Resf.	Aquec.	Resf.
63 °C	00:00:00	00:02:07	00:00:00	00:02:03	00:00:00	00:02:04
64 °C	00:00:07	00:01:55	00:00:07	00:01:52	00:00:07	00:01:51
65 °C	00:00:12	00:01:43	00:00:13	00:01:39	00:00:15	00:01:39
66 °C	00:00:22	00:01:32	00:00:22	00:01:28	00:00:22	00:01:30
67 °C	00:00:31	00:01:17	00:00:30	00:01:18	00:00:30	00:01:16
71 °C	00:01:01	00:00:37	00:01:01	00:00:36	00:01:00	00:00:35
72 °C	00:01:07	00:00:29	00:01:10	00:00:27	00:01:07	00:00:26
73 °C	00:01:16	00:00:19	00:01:19	00:00:18	00:01:16	00:00:17
74 °C	00:01:25	00:00:11	00:01:27	00:00:09	00:01:25	00:00:08
75 °C	00:01:33	00:00:00	00:01:36	00:00:00	00:01:34	00:00:00

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Para obter mais precisão no segundo teste, foi utilizado um cronômetro para registrar a variação de tempo durante os processos de aquecimento e de resfriamento. Tem-se em mente que o início do resfriamento e do aquecimento ocorre no zero e, a partir disso, são registrados os tempos relacionados às temperaturas. No segundo teste, percebe-se que os tempos da mudança de temperatura estiveram próximos; logo, os sensores de temperatura adicionais não interferiram no processo.

Seguindo o mesmo esquema do primeiro teste, o aquecimento foi encerrado ao atingir 75 °C e durou entre 1 minuto e 33 segundos a 1 minuto e 36 segundos, enquanto o resfriamento que é cessado em 63 °C durou entre 2 minutos e 3 segundos a 2 minutos e 7 segundos. Em relação ao material utilizado, como nos dois casos, o tempo total de aquecimento e de resfriamento foi similar, é compreensível que a água seja uma boa substituta para o leite durante as futuras etapas de instalação dos protótipos de controles; entretanto, existe a necessidade da realização de mais medidas para confirmar a similaridade do tempo de aquecimento entre a água e o leite.

# Proposta do sistema de controle

Conforme visto na revisão bibliográfica, um controlador do tipo ON - OFF seria o ideal para este tipo de experimento, devido ao seu funcionamento simples e à natureza lenta do aquecimento do processo de pasteurização. Visando a implementação desse sistema, foi projetado o núcleo de um controlador ON-OFF. Para estas operações, deve se seguir um *roadmap* do desenvolvimento do instrumento de controle, como descrito na Figura 3.

Figura 3 - Roadmap



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

## Escolha do microcontrolador

O controlador escolhido tem em seu núcleo o microcontrolador ATmega328P de 8 bits, da família AVR, que possui a arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), fazendo com que grande parte de suas instruções possam ser executadas em um único ciclo de *clock*.

Sua escolha levou em conta duas áreas, as de suporte ao projeto e as técnicas inerentes do microcontrolador, apresentando como principais características diversidade de fabricantes, montadores, compiladores, *linkers* e *toolchain* gratuitos, fácil acesso a documentação, além de memórias, *timers* e interface I<sup>2</sup>C e SPI.

## Projeto do hardware

O projeto do hardware do presente sistema buscou desenvolver um método de acesso e controle dos periféricos mantendo a simplicidade, visando a facilidade de expansão física e implementação pelo firmware.

O microcontrolador ATmega328P possui 4 portas, cada uma com 8 pinos, tendo no total 32 pinos, porém nem todos eles são utilizáveis como GPIO (*General Purpose Input - Output*), tendo apenas 23 pinos para este propósito; os demais são pinos de alimentação, controle e referência de sinais. Devido a essa limitação de pinos disponíveis, foi utilizado um método para a

multiplexação das entradas, e assim expandir o número de I - O disponíveis. Este método possui uma limitação, qual seja, de que quanto mais dispositivos se queira endereçar, mais lento será o processo de acesso a eles; porém, como será apresentado adiante, a nossa aplicação não exige muitos periféricos; logo, essa limitação não é crítica para o projeto.

O método utilizado é o *Memory Mapped I-O*, em tradução livre, E-S Mapeadas como Memória. Este método é bem conhecido e popularizado pelo microcontrolador Intel MCS-51, mais conhecido como Intel 8051. Suas versões iniciais, lançadas no início da década de 1980, não continham memória de programa (ROM) e nem memória de dados (RAM), e o acesso a estes periféricos eram feitos através do PORT2 e PORT0 em conjunto com os pinos de controle e *latches*, de modo que estes componentes trabalham juntos, para que uma mesma porta seja usada como barramento de endereços e dados ora da memória de programa, ora da memória de dados.

No caso específico deste projeto, foi reservado o PORTD como barramento de dados e endereços e foram designados dois pinos do PORTB como pinos de controle para os *latches*. Para ilustrar o funcionamento deste método, será apresentada uma descrição do procedimento de escrita da letra “a” no display de 7 segmentos.

1. Envia-se ao U2, através dos pinos PORTD.0 ao PORTD.2, o endereço do *latch* que se deseja habilitar; no exemplo, para se escrever um valor no display, primeiro seleciona-se o *latch* que guarda o seu valor, portanto escreve-se no PORTD o endereço 0x00, e “chavea-se” o pino ALE para o *latch* U2 guardar este valor, pois assim o 74HC237 ficará com a saída Y0 em nível lógico alto, fazendo com que a lógica AND do U9A fique dependente apenas do pino WRITE para habilitar o *latch* U4.;

2. Escreve-se no *PORTD* o conteúdo que se deseja mostrar no display; como será apresentado a letra “a”, coloca-se no *PORTD* o valor 0x77, que corresponde aos segmentos acesos do display que formarão a letra “a” maiúscula;

3. Em seguida, “chavea-se” o pino de controle *WRITE*, para que a lógica AND no U9A seja verdadeira, e aciona-se o pino LE (*Latch Enable*) do U4, de modo que os valores disponíveis no PORTD sejam mantidos neste *latch*.

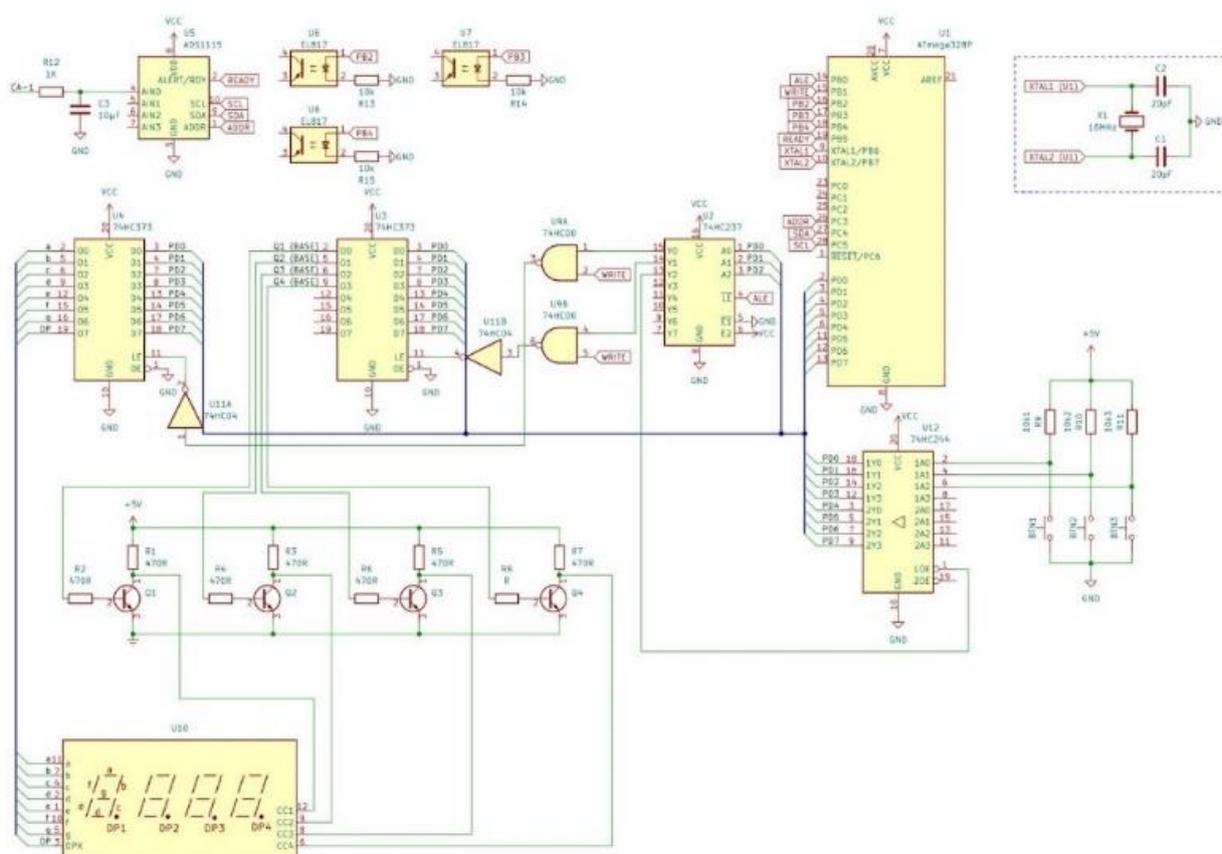
4. Neste ponto, tem-se o conteúdo que mostra o a letra “a” no primeiro display, mas ainda é necessário selecionar o display que irá receber este valor. Para isso, faz-se o mesmo procedimento descrito no item 1, porém envia-se ao *latch* o endereço do *latch* que seleciona os displays; no caso, é o endereço 0x01, que vai habilitar a porta Y1 do U2 e iniciar a lógica *AND* no U9B, para selecionar o *latch* U3;

5. Assim como no passo 2, escreve-se o valor de qual display se deseja acender; como será acionado o terceiro display, envia-se através do *PORTD* o valor 0x04;

6. E “chavea-se” o pino *WRITE* para que a lógica *AND* no U9B seja verdadeira; então, deve-se acionar o pino de *LE* do U3, para disponibilizar os bits na saída do *latch*.

Esse funcionamento, apesar de parecer complexo à primeira vista, é relativamente simples de ser implementado, e atende muito bem às necessidades do projeto, além de que, em caso de necessidade, poderiam ser adicionados mais quatro displays de 7 segmentos, totalizando 8 displays, sem grandes mudanças de hardware ou de software, e se formos além, ainda pode-se endereçar mais 5 *latches*, fazendo uma interface com mais 40 pinos de *I-O*, os quais poderiam ser conectados a outros displays, relés, LEDs indicadores, *buzzers*, entre outros dispositivos de acionamento, como visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Circuito eletrônico.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

### Funcionamento do instrumento

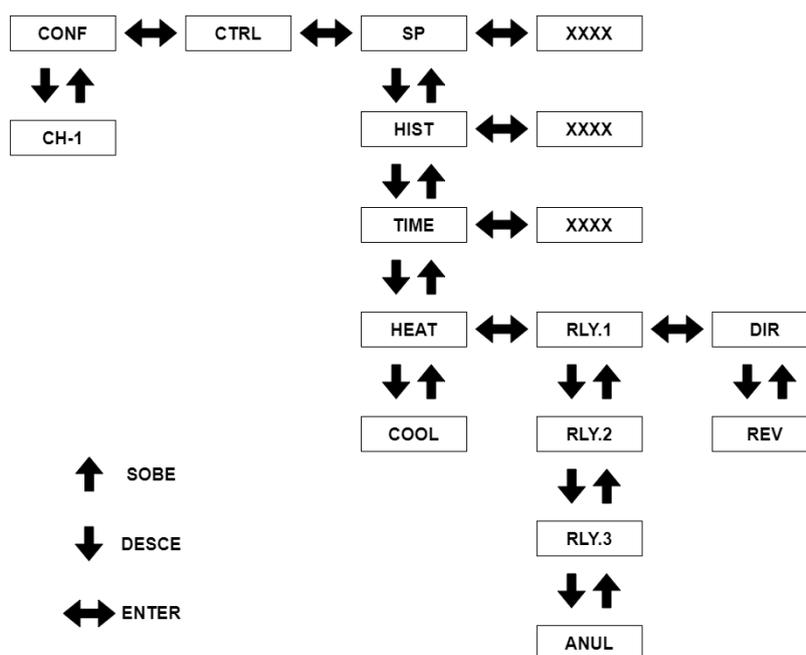
O firmware do controlador foi feito usando a IDE Microchip Studio com a *toolchain* disponibilizada pela AVR-GCC, usando a linguagem C. A árvore dos menus do instrumento é mostrada na Figura 5 e, depois disso, será explicada a função de cada mnemônico presente, no Quadro 3. A navegação entre os diversos níveis de opções é feita usando as teclas SOBE, DESCE e ENTER, conforme é indicado na Figura 5.

**Quadro 3** - Descrição dos mnemônicos

Mnemônico	Descrição	Unidade
CONF	Entrada do modo de configuração	-
CTRL	Configuração dos parâmetros de controle	-
SP	<i>Setpoint</i> , temperatura desejada para a pasteurização	0-255 °C
HIST	Histerese do <i>setpoint</i> para a tolerância do controle	0-255 °C
TIME	Tempo de <i>hold</i> do <i>setpoint</i>	0-255 segundos
HEAT	Escolha dos relés que serão responsáveis pelo aquecimento	-
COOL	Escolha dos relés que serão responsáveis pelo resfriamento	-
RLY.X	Configuração do Relé X	-
DIR	Ação direta (NA)	-
REV	Ação reversa (NF)	-

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

**Figura 5** - Árvore de menus



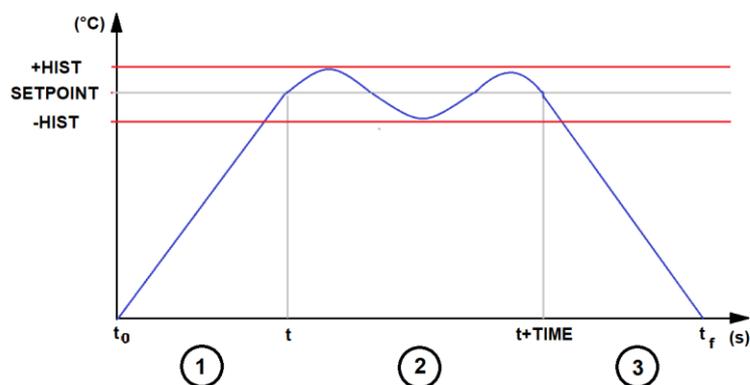
Fonte: elaborado pelos autores (2022).

### Estratégia de controle

De acordo com os parâmetros configurados para controle, apresentados na Figura 6, representam o comportamento desejado da temperatura em função do tempo. Nessa figura temos os três estados do sistema de controle: o estado 1 é a etapa de aquecimento até o *setpoint*; após chegar a este ponto, o sistema deve cuidar de manter essa temperatura durante o tempo preestabelecido, levando em conta o parâmetro da histerese como uma tolerância, e

também, por se tratar de um sistema ON - OFF, para evitar os acionamentos e desacionamentos muito rápidos levando ao desgaste precoce dos contatos; e após isso(essa etapa,) no estado 3, dá-se início ao processo de resfriamento do sistema.

Figura 6 – Temperatura x tempo



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

## Considerações finais

Como principais objetivos alcançados, através de testes experimentais *in-loco*, foi provado que a água pode ser usada no lugar do leite para a experimentação e execução posterior dos testes com o sistema real. Também foi proposta a arquitetura eletrônica básica do sistema, visando a modularidade e facilidade de expansão, tanto do ponto de vista do hardware quanto do software.

Por fim, para trabalhos futuros, poder-se-ia conceber o aperfeiçoamento do sistema de controle, adicionando as funções e métodos que são empregados em sistemas finais, como o uso de um conversor analógico digital para a interface com os sensores de temperatura, o projeto de um circuito de alimentação baseado em fontes chaveadas, a montagem física dos circuitos e a confecção de um encapsulamento para acomodar o circuito eletrônico, além da possibilidade de realização de mais testes a fim de garantir que variações na taxa de gordura, taxa de proteína ou outros elementos não poderiam interferir no comportamento do leite em relação à água.

## Referências

- BARBOSA, Célia Maria Dantas *et al.* Automação de um processo alternativo da pasteurização do leite utilizando ação de controle on-off. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ggg, v. 10, n. 1, p. 41-52, abr. 2018. Disponível em: <https://www.revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11971/209209209893>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- BATISTELLA, V. M. C.; PEDROSA, A. Qualidade microbiológica de queijos Minas Frescal artesanais. **Scientific Electronic Archives**, [S.L.], v. 14, n. 5, p. 99-103, 30 abr. 2021. <http://dx.doi.org/10.36560/14520211302>. Disponível em: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1302/1405>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- BRASIL. Decreto nº9.013, de 29 de março de 2017. **Inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal**. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/aquicultura-e-pesca/legislacao/legislacao-geral-da-pesca/decreto-no-9-013-de-29-03-2017.pdf/view#:~:text=Regulamenta%20a%20Lei%20n%C2%BA%201.283,de%20produtos%20de%20Origem%20animal>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- BRASIL. Portaria nº352, de 04 de setembro de 1997. **Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo minas frescal**. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-ma-352-de-04-09-1997,644.html#:~:text=O%20Queijo%20Minas%20Frescal%20dever%C3%A1,temperatura%20n%C3%A3o%20superior%20a%208%C2%BAC.&text=5.1.,para%20queijos%20de%20alta%20umidade>. Acesso em: 03 mar. 2022
- BUSNELLO, Sabrina Rotger. **Aspectos da qualidade do leite e produção do queijo minas Frescal**. 2008. 39 f. Tese (Doutorado) - Curso de Medicina Veterinária, Centro das Faculdades Metropolitanas Unidas - Fmu, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://arquivo.fmu.br/prodisc/medvet/srb.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- CARDOSO, Matheus. **Como Funciona o Controlador ON/OFF?** 2020. Disponível em: <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/como-funciona-o-controlador-on-off/>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- CASAROTTI, Vânia Travaglini. **Ocorrência de Listeria monocygenes em leite cru, leite pasteurizado tipo C e queijo minas frescal comercializados em Piracicaba**. 1993. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-20191218-162117/publico/CasarottiVaniaTravaglini.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- LOGUERCIO, Andrea Pinto; ALEIXO, José Antônio Guimarães. Microbiologia de queijo tipo minas frescal produzido artesanalmente. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1063-1067. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PK3m3pNcvkYYSk94YBzXpQsC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- LOPES, Iara Alves. **Construção de sistemas Automatizados para pasteurização de Leite e produção de logurte Natural**. 2019. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2019. Disponível em: [https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1831/1/tcc\\_iaraalveslopes.pdf](https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/1831/1/tcc_iaraalveslopes.pdf). Acesso em: 22 fev. 2022.
- MAIA, Ana Sofia Pico. **Pasteurização: estudo do efeito de Parâmetro físico-químicos na cinética e dimensionamento**. 2012. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestre em Tecnologia Química, Escola

Superior de Tecnologia de Tomar, Portugal, 2012. Disponível em: [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/5844/1/2012-11-12%20Ana\\_TFM\\_final..pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/5844/1/2012-11-12%20Ana_TFM_final..pdf). Acesso em: 18 fev. 2022.

SANTOS, Ananza di Renzo dos; MENEZES, Ivana Bevilacqua de; QUEIROZ, Tadeu Miranda de. Proposta de automação da produção de massa de queijo com controle de nível e de temperatura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 458-468, 22 dez. 2020. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.003.0037>.

SEBRAE. **Agronegócio**. Santa Catarina, maio de 2021. Disponível em: [https://www.sebrae-sc.com.br/storage/imagem-principal/60b0d9eb5a6ae119905118\\_2021-10-25-025838\\_fftn.pdf](https://www.sebrae-sc.com.br/storage/imagem-principal/60b0d9eb5a6ae119905118_2021-10-25-025838_fftn.pdf). Acesso em: 03 mar. 2022.

SEBORG, Dale E., EDGAR, Thomas F., MELLICHAMP, Duncan A., DOYLE III, Francis J., **Process Dynamics and Control**. Fourth edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2016.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **O Controle de Temperatura nos processos Industriais**. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/controle-de-temperatura/>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SIQUEIRA, Kenya; SCHETTINO, João Pedro Junqueira. **O consumo de queijos pelos brasileiros**. 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/kennya-siqueira/o-consumo-de-queijos-pelos-brasileiros-225212/>. Acesso em: 03 mar. 2022.

VINHA, Mariana Barboza *et al.* QUALIDADE DE QUEIJOS MINAS FRESCAL PRODUZIDOS E COMERCIALIZADOS INFORMALMENTE EM AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 1-11, 31 dez. 2016. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v6i4.377>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322577617\\_QUALIDADE\\_DE\\_QUEIJOS\\_MINAS\\_FRESCAL\\_PRODUCIDOS\\_E\\_COMERCIALIZADOS\\_INFORMALMENTE\\_EM\\_AGROINDUSTRIAS\\_FAMILIARES\\_QUALITY\\_OF\\_MINES\\_FRESCAL\\_CHEESE\\_PRODUCED\\_AND\\_MARKETED\\_INFORMALLY\\_IN\\_FAMILY\\_AGR\\_OINDUSTRIES](https://www.researchgate.net/publication/322577617_QUALIDADE_DE_QUEIJOS_MINAS_FRESCAL_PRODUCIDOS_E_COMERCIALIZADOS_INFORMALMENTE_EM_AGROINDUSTRIAS_FAMILIARES_QUALITY_OF_MINES_FRESCAL_CHEESE_PRODUCED_AND_MARKETED_INFORMALLY_IN_FAMILY_AGR_OINDUSTRIES). Acesso em: 18 fev. 2022.