

## SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA NAS ETAPAS DE PRODUÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL

**Carlos Victor Cruz Araújo**  
vic.cruzaraujo@gmail.com

**Diego Lopes Coriolano**  
diegocoriolano@yahoo.com.br

**Paulo Henrique Buzinaro Lazari**  
paulo\_hrique@hotmail.com

**Elenilton Teodoro Domingues**  
elenilton.aracaju@gmail.com

**Marco Aurelio Pereira Buzinaro**  
marco\_buzinaro@hotmail.com

**Resumo** – A expansão na área de automação e controle de processos industriais vem crescendo de maneira exponencial nos últimos anos. Um outro ramo que apresenta um grande crescimento no mercado mundial de pequenos empreendedores é a produção de cervejas artesanais. Neste contexto, este projeto visa a implementação de um sistema de baixo custo que viabiliza o monitoramento e controle das variáveis físicas de tempo e temperatura nas diversas etapas de fabricação de cerveja artesanal, sobretudo na etapa de misturação, objetivando promover melhor qualidade ao produto final. Para isto são utilizadas tecnologias de controle e automação – a saber: a plataforma Arduino, sensores e ebulidores – nos quais operam de forma a promover a modulação da temperatura para que esta esteja sempre de acordo com a necessidade do processo em cada fase de produção. A partir dos resultados, podemos concluir que a implementação do sistema em questão é viável, uma vez que o mesmo, apesar de possuir custo bem inferior aos sistemas mais complexos utilizados atualmente nas indústrias, opera de maneira tão eficiente quanto estes e, por conta disso, torna possível a imersão de pequenas e médias empresas ao ramo de produção de cervejaria artesanal.

**Palavras-Chave:** Cerveja artesanal; controle e automação; microcontrolador, Arduino.

## INTRODUÇÃO

Existem diversas especulações a respeito do surgimento da cerveja, mas não se tem uma conclusão sobre como e onde a mesma foi produzida pela primeira vez. Os relatos mais antigos datam de, pelo menos, 6000 a.C., na região da antiga Mesopotâmia, região hoje conhecida como Iraque. Há indícios de que, nessa época, os antigos sumérios, egípcios, mesopotâmios e iberos já conheciam a cerveja (YOUNG, 2020). Nessa época já haviam leis que regulamentavam a produção, comercialização e consumo desta bebida presentes no antigo Código de Hamurabi, um código de leis amplamente conhecido da época, conforme relatado na “História da Cerveja – A Era Medieval”.

Há indícios de que os povos babilônicos produziam variedades de cerveja, a partir da combinação de plantas e aromas, além de diferentes quantidades de mel (HAYS, 2020). Já na Mesopotâmia, a mais antiga evidência do surgimento da cerveja está em uma tábua sumeriana, na qual se veem pessoas tomando uma bebida em uma tigela comunitária (MORADO, 2009).

Ao passar dos anos a cerveja teve diversas combinações de ingredientes e modos de preparo, porém a receita europeia foi a que prevaleceu, tendo como base o malte de cevada ou trigo, lúpulo (flor nativa da Europa, Ásia ocidental e América do Norte) e água. Nessa receita, o malte produz o sabor adocicado e o lúpulo é

responsável pelo amargor da cerveja. Além disso, há o processo de fermentação, conhecido como levedura, o qual só foi descoberto no século XX, modificando as características do produto final (WHITAKER et al., 2019).

Foi só em 1637 que a cerveja chegou ao Brasil, em Recife, através do holandês Maurício de Nassau, juntamente com o cervejeiro Dirck Dicx, que abriram a primeira fábrica de cerveja das Américas, denominada “La Fontaine” (MORADO, 2009).

Contudo, até o 2º Reinado os anúncios comerciais das cervejas referiam-se somente à venda da cerveja, sem menção dos responsáveis pela produção. Este cenário mudou a partir de 1836, quando os produtores passaram a evidenciar os responsáveis por essa produção, surgindo marcas como a Antartica, Brahma, Bohemia, entre outras. Isto fez com que as marcas promovessem a concorrência entre si, ocasionando a melhora do processo produtivo, bem como do produto final, conforme consta em “Uma breve história da cerveja”.

Como resultado dessa otimização, o processo produtivo evoluiu até o que conhecemos nos dias de hoje, no qual a matéria prima é processada, moendo o malte até que este fique descascado e com o amido exposto. Por conseguinte, o malte moído passa pela brasagem ou mosturação, onde este é embebido em água quente e aquecido, levando ao seu cozimento e fazendo com que enzimas presentes no malte sejam ativadas e convertam o amido dos grãos em açúcares fermentáveis e não fermentáveis que será alimento das leveduras (fermento) nos passos seguintes (PALMER, 2017).

O processo seguinte é a filtração, onde há separação entre o mosto (obtido a partir da mosturação) e o bagaço do grão. Então, posteriormente, há a fervura do mosto, juntamente com os resíduos gerados pela mosturação que, em geral, são amidos caramelizados que se tornam açúcares. É nessa etapa que há adição dos lúpulos, responsáveis pelo amargor da cerveja (PALMA, 2015).

Há então o resfriamento dessa mistura nomeada trub, para que as leveduras efetuem o processo de fermentação que dura cerca de dez dias. É nessa etapa que as cervejas se diferenciam (incluindo as cervejas artesanais), uma vez que podem ser utilizadas diferentes culturas de leveduras, dando à cerveja as características próprias de cada mestre-cervejeiro ou marca. É nela, ainda, que o açúcar vai ser transformado em álcool e afins. Por fim, é feita a maturação da cerveja, onde é armazenada em tanques de baixa temperatura, para que esta seja amadurecida e atinja o equilíbrio químico desejado (PALMA, 2015).

Para a realização destas etapas utilizam-se atualmente sistemas complexos de automação e controle, contudo, a implementação de sistemas deste porte tem um custo elevado, inviabilizando seu uso por pequenos produtores.

Uma alternativa a isto surge a partir dos microcontroladores, que são dispositivos capazes de promover a automatização do processo de forma tão eficaz quanto os sistemas citados acima, porém com custo de implementação bastante reduzido (MORENO et al., 2005).

Um dos exemplos desses dispositivos é o Arduino, objeto de uso na execução de processos de automação em geral e responsável por todo o gerenciamento do processo produtivo.

Por conta desses avanços tecnológicos e do reduzido custo de implementação desses sistemas de automatização alternativos, tem surgido diversas empresas de pequeno e médio porte que fazem uso destes na execução de seus processos. Um dos exemplos desses pequenos negócios é a o ramo de produção de cervejaria artesanal, que estão conquistando cada vez mais espaço no mercado de cervejarias. Diferente da cerveja tradicional, esta outra é produzida de acordo com as receitas exclusivas de cada produtor, denominado mestre-cervejeiro.

As diferenças entre a cerveja artesanal e tradicional não param por aí: na produção artesanal há um enfoque maior na fase de mosturação da cerveja, pois é nela que há a

transformação da matéria-prima em cerveja propriamente dita e o controle desse processo é crucial para a qualidade do produto final.

Sendo assim, diante da expectativa tecnológica para criação de um processo de baixo custo de um sistema de automação e controle, despertou-se a motivação para realização de um trabalho que consiste em um sistema semiautomatizado para um processo de fabricação de cerveja artesanal, uma vez que a automação será de custo relativamente baixo, visto que envolve a plataforma Arduino e um princípio de controle capaz de realizar o monitoramento das variáveis temperatura e tempo durante a fabricação de cerveja, juntamente com sensores e ebulidores.

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma plataforma, a baixo custo, que controle as variáveis temperatura e tempo nos processos físicos/químicos da produção de cerveja de pequenos produtores, tendo como finalidade a redução dos custos de fabricação e melhoraria na qualidade do produto final, além de fornecer uma alternativa de renda familiar ao público interessado em imergir-se neste ramo.

## **MATERIAS E MÉTODOS**

A produção da cerveja artesanal tipo Blonde Ale foi realizada a partir da mistura dos maltes Plisen (3,2 Kg) e malte Vienna Agrária (0,4 Kg). Todos estes grãos de maltes passaram por um processo minucioso de mistura e moagem, permitindo assim o aumento da superfície de contato durante o processo de produção da cerveja.

A mistura dos maltes foi então adicionada em 10 L de água desclorificada à uma temperatura de 66 °C, iniciando assim, o processo de mosturação. Após uma boa desaglomeração dos grumos do malte, o mosto permaneceu em descanso por 75 min. Decorrido este tempo, o mosto passou por um processo de recirculação, realizado pela bomba de recirculação, durante 15 min. Na sequência, o líquido foi então separado em outro recipiente e os grãos lavados através

da recirculação de 15 L de água desclorificada aquecida à 76 °C por 15 minutos.

Os dois líquidos foram então misturados e aquecidos. Quando entrou em fervura, recebeu a adição de 10 g de lúpulo de amargor Nugget, ficando sob fervura durante 55 min., para posterior adição de 10 g do lúpulo aromático, que permaneceu em fervura por mais 5 min.

Neste recipiente foi então realizado o resfriamento do mosto à 25°C, com o auxílio de um chiller que teve em seu interior a recirculação de água à temperatura ambiente. Durante este resfriamento foi realizado o “whirlpool” com a finalidade de deslocar as partículas sólidas para o fundo do recipiente. Na sequência o mosto foi transferido para o recipiente fermentador que recebeu a adição de 11,5 g de fermento, foi então fechado, permanecendo em fermentação por 7 dias à uma temperatura de aproximadamente 20°C. Após os 7 dias, iniciou-se o processo de maturação, onde o líquido passou por 10 dias à uma temperatura de 3 °C. Para posterior envase com adição de priming. Descansou por mais 10 dias, finalizando o processo de fabricação da cerveja artesanal.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

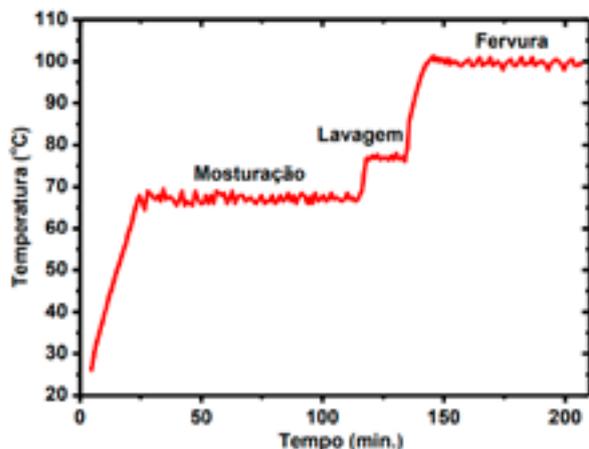
O processo completo de fabricação durou aproximadamente 28 dias. No primeiro dia foram feitos os processos de moagem dos grãos, mosturação (90 min.), lavagem dos grãos (15 min.), fervura (60 min.), resfriamento do mosto, seguido da fermentação com duração de sete dias. Decorridos sete dias do início da fermentação, foi iniciado o processo de maturação que durou dez dias e, posteriormente, o descanso (após o envase) que durou mais dez dias, finalizando assim, o processo de fabricação.

Todo o processo descrito acima foi realizado com o auxílio da plataforma Arduino, que efetuou o monitoramento da temperatura da matéria-prima e o tempo decorrido em cada processo. O mesmo também foi responsável pela modulação da temperatura de acordo com

o set point de cada etapa, a fim de otimizar os resultados obtidos em cada uma delas.

Neste sentido, foram utilizados sensores para a captação da variável temperatura nas diversas etapas do processo. Estes sensores se comunicavam com o Arduino, fornecendo as informações de entrada para o mesmo, que prontamente realizava o controle em função do set point e enviava os sinais para que o ebulidor efetuasse o aquecimento. Desta maneira, ocorria uma modulação da temperatura do sistema sempre de acordo com o set point pré-estabelecido durante a programação do sistema de automação.

Toda a variação de temperatura durante o processo de mosturação foi coletada por intermédio de sensores de temperatura DS18B20 e armazenados na plataforma Arduino através de um cartão SD. Os patamares, a variação de temperatura, bem como o tempo de duração de cada etapapode ser melhor visualizado através do gráfico da temperatura (°C) vs. tempo (min.), mostrado na Figura 2.



**Figura 2** - Curva do comportamento da temperatura em função do tempo durante o processo de mosturação.

A partir da curva de temperatura vs. tempo do processo de mosturação, nota-se que nos patamares, ocorreu uma variação de temperatura, de aproximadamente  $\pm 1,5$  °C (2,27%), fato este ocorrido, devido o volume relativamente grande dos recipientes utilizados

no processo de produção da cerveja. Faz-se importante ressaltar que, esta pequena variação está em boa conformidade com as variações de temperatura de quando a cerveja artesanal é produzida por meio de chamas de fogões.

Uma possível maneira de diminuir estas variações de temperatura nos patamares, seria com a diminuição do gradiente de temperatura ao longo do mosto aquecido. Para isso, se faz necessário uma melhor redistribuição dos pontos a serem aquecidos em uma maior quantidade de locais, sendo assim, redistribuídos por todo o volume da cerveja a ser produzida. Para isso é necessário a aquisição e instalação de uma quantidade maior de ebulidores.

Nota-se também que, com a utilização da plataforma Arduino foi possível obter uma boa eficiência, em relação ao controle de tempo de cada etapa durante o processo de mosturação, controle este que, pode ser verificado a partir da Figura 2.

Após o processo de fervura, ainda na mosturação, o mosto foi resfriado, sendo utilizado o “whirlpool” e submetido à fermentação, permanecendo por repouso durante 7 dias a uma temperatura de 20° C em um refrigerador. Na sequência, o líquido foi então submetido ao processo de maturação, sendo resfriado à 3 °C durante 10 dias, que também permaneceu em um refrigerador. Todo esse processo, após o resfriamento do mosto, foi realizado com o controle de temperatura e tempo utilizando a plataforma Arduino. Após os 10 dias de maturação, o líquido foi envasado permanecendo em descanso durante 10 dias e então o produto final foi obtido.

Salienta-se que, para todos os processos que ocorreram após a mosturação, as variáveis temperatura, variações das mesmas e períodos de resfriamentos não foram coletadas por sensores. No entanto, para uma melhor visualização, é mostrado na Figura 3 um gráfico da temperatura em função do tempo para os processos de fermentação, maturação e descanso após envase.

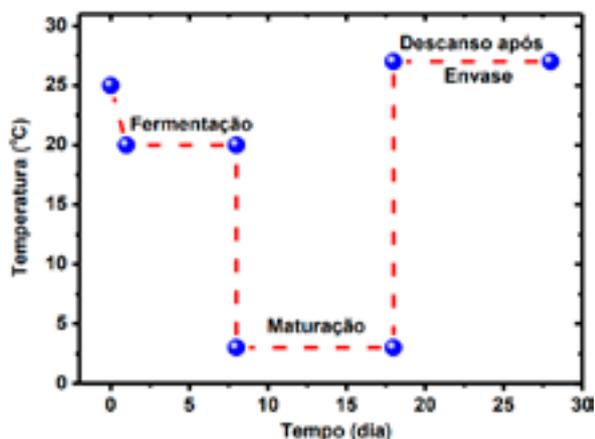


Figura 3 - Curva do comportamento da temperatura em função do tempo durante os processos de fermentação, maturação e descanso após envase.

É de importância ressaltar que a escolha da plataforma Arduino para a implementação deste sistema se deu pela facilidade de programação do mesmo, bem como seu custo relativamente baixo, se comparado aos equipamentos utilizados atualmente para esta mesma finalidade.

Em todo o processo, o cuidado com a higiene foi imprescindível, evitando assim a contaminação da matéria-prima por agentes externos ao processo, que poderiam modificar o resultado desejado para a cerveja artesanal, uma vez que a cerveja é fabricada a partir da fermentação de bactérias e se ocorrer a fermentação de bactérias não desejadas, a cerveja poderá sair totalmente diferente do esperado. Isto é válido também para as bactérias do corpo humano e, por conta disto, foram utilizadas máscaras e luvas em cada etapa do processo, evitando que partículas do nosso corpo entrassem em contato com o processo.

De forma geral, a cerveja artesanal resultante desse processo conseguiu atingir os resultados esperados, adquirindo sabor e consistência característicos das cervejas artesanais comercializadas. Isto foi resultado da automatização do processo que, diferente da mão-de-obra humana, conseguiu otimizar cada uma das etapas de fabricação de forma bem eficaz, uma vez que foi utilizado um *software* para a modulação de cada processo em tempo

real, sendo responsável por corrigir qualquer variação de temperatura que difere do set point de cada etapa.

## CONCLUSÃO

O projeto em questão permitiu verificar que o controle do processo foi, de fato, possível e ocorreu de maneira satisfatória. Neste sentido, o sistema executou sua função com uma eficiência elevada, tornando possível a implementação do mesmo para a produção em pequena e média escala. Isto tornou-se possível também devido ao seu baixo custo de implementação, tornando-se um sistema de ótimo custo-benefício.

A utilização da plataforma Arduino no controle de temperatura na fase de mosturação da cerveja provou-se bastante eficaz, uma vez que este foi capaz de receber as informações de alteração da temperatura captada pelos sensores e promover o controle da mesma, transmitindo sinais de comando para os resistores presentes nos ebulidores, promovendo o controle da temperatura em todo o processo. Assim, o Arduino mostrou ser uma importante ferramenta de modulação de temperatura em sistemas de baixo custo.

## CONCLUSÃO

HAYS, B. Mesopotamians were drinking beer from individual vessels 3,500 years ago. UPI. Disponível em: <[https://www.upi.com/Science\\_News/2018/06/27/Mesopotamians-were-drinking-beerfrom-individual-vessels-3500-yearsago/5551530110022/?utm\\_source=upi&utm\\_campaign=mp&utm\\_medium=3](https://www.upi.com/Science_News/2018/06/27/Mesopotamians-were-drinking-beerfrom-individual-vessels-3500-yearsago/5551530110022/?utm_source=upi&utm_campaign=mp&utm_medium=3)>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

História da Cerveja – A Era Medieval. Cervejas do Mundo. Disponível em: <<http://www.cervejasdomundo.com/EraMedieval.htm>>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

MCRBERTS, M. Arduino Básico. Novatec Editora. 2 ed. São Paulo, 2018.

MORADO, R. Larousse da Cerveja. Larousse do Brasil. 1 ed. São Paulo, 2009.

MORENO, E. D. O.; GIACOMINI, C. P.; RODRIGUES, A. C. S. Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação. Novatec Editora. 1 ed. São Paulo, 2005.

PALMA, J. O passo a passo da cerveja. Gaúcha ZH. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/destemperados/bebidas/noticia/2015/02/o-passo-a-passo-dacerveja-ckbr4ah8r001yi9slwtw1wd02.html>>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

PALMER, J. J. How to Brew: Everything you need to know to brew great beer every time. Brewers Publications. 4 ed. 2017.

Uma breve história da cerveja. Saint Bier. Disponível em: <<http://www.saintbier.com/historiacerveja#:~:text=H%C3%A1%20evid%C3%Aancias%20de%20que%20a,foi%2C%20provavelmente%2C%20um%20acidente>>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

WHITAKER, L.; MARTINS, E. A.; NARDI, G. J. Cervejaria artesanal, uma alternativa para o agronegócio. Jornacitec Botucatu, São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIIIJTC/VIIIJTC/paper/viewFile/1877/2361>>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

YOUNG, T. W. Beer. Britannica. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/beer/Yeast>>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.