

## PROJETO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA DE BAIXO CUSTO PARA SER UTILIZADO NA ETAPA DE MOSTURAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS

*Simone Ferigolo Venturini*

[sfventurini@yahoo.com.br](mailto:sfventurini@yahoo.com.br)

*Alice Emiliano*

*Gabriela Griesbach Lopes*

*Roberta Salatino da Silva Hoff*

*Charles Rech*

*Universidade La Salle*

*Diego Santos Quadros*

*ULBRA*

**Resumo:** O controle de variáveis em determinados processos é um fator determinante para a obtenção de um produto final de alta qualidade e seu sucesso depende do desenvolvimento de métodos apropriados de automação. Neste trabalho, um sistema de baixo custo foi desenvolvido para controlar a temperatura do processo de mosturação. Utilizando a plataforma Arduino e um conjunto de sensores, foi montado um programa para controlar a entrega de calor gerado pela resistência elétrica utilizada para aquecimento do fluido, garantindo o controle da faixa de temperatura necessária ao processo de aquecimento. Os resultados mostraram a viabilidade de utilização do método, uma vez que o controle de temperatura foi adequado para o uso da cerveja artesanal, com baixo custo e facilidade de implementação.

**Palavras-chave:** Cerveja Artesanal; Controle de temperatura; Instrumentação; Arduino.

### INTRODUÇÃO

A maioria dos fenômenos físicos podem ser medidos e assim fornecer informações que de outra forma só poderiam ser estimadas. Assim, o fenômeno físico pode ser compreendido através de sua medição. O processo de medição consiste na comparação do valor do mensurando com um valor padrão determinado, obtendo-se o resultado quantitativo do fenômeno físico observado (BECKWITH, MARANGONI, LEINHARD, 1995).

Na produção de cervejas artesanais, o controle da temperatura nas diversas etapas da fabricação é determinante no resultado esperado. Um cuidado especial deve ser tomado no processo de mosturação ou brassagem. A mosturação é o processo em que o malte é embebido em água aquecida, provocando a ativação das enzimas presentes no malte e convertendo o amido dos grãos em açúcares fermentáveis e não-fermentáveis (PALMER, 2017). Cada enzima atua em diferentes faixas

de temperaturas, que favorecem sua função e deste modo assegura a qualidade e características esperadas na cerveja artesanal. Assim, a manutenção das faixas de temperatura garante priorizar a atividade de cada enzima, fazendo com que atuem na faixa ideal, realizando adequadamente suas funções.

O investimento em equipamentos e insumos na produção de cervejas artesanais é alto e projetar sistemas de medição de baixo custo para o controle do processo é uma necessidade para os produtores artesanais. A instrumentação do processo o torna mais confiável, gera históricos para acompanhamento e análise e assegura um produto padronizado. A área de instrumentação tem utilizado tecnologias alternativas e acessíveis, a exemplo do arduino que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única. O baixo custo e a versatilidade da plataforma arduino, contribui para a criação de sistemas aplicáveis nas necessidades fora do ambiente industrial (TOSTES, 2015). Assim, a elaboração de um projeto de um sistema de medição e controle com tecnologia de baixo investimento e que tenha aplicabilidade na solução de um problema real, torna-se viável.

O presente trabalho teve por objetivo projetar um sistema de medição e controle de temperatura de baixo custo, utilizando tecnologias alternativas de controle e automação, para ser utilizado na etapa de mosturação do processo de fabricação de cerveja artesanais. Em seguida, desenvolver um protótipo para o controle da temperatura de mosturação utilizando os conceitos de instrumentação e controle, programação, elaboração e execução de projetos, eletrônica digital e analógica, dentre outros estudos necessários a automatização desta parte do processo, a fim de facilitar o controle do processo de fabricação de cerveja artesanal de qualidade.

Nas próximas seções são apresentadas a fundamentação teórica sobre o processo de mosturação, conceitos de medição e transferência de calor e tecnologia arduino, a descrição da montagem experimental, os resultados e por fim, a conclusão.

## FUNDAMENTAÇÃO

Esta seção apresenta os conceitos teóricos sobre a etapa de mosturação de cervejas artesanais, conceitos de medição e controle de processos, transferência de calor e tecnologia arduino.

### Processo de produção de cerveja: mosturação

A cerveja artesanal é composta por malte de cevada, água potável, lúpulo e levedura. O mosto provém da infusão do malte em água e a levedura é responsável pela fermentação alcoólica. O lúpulo é fervido com o mosto proporcionando sabor e aroma à cerveja (BRASIL, 2009).

Segundo Palmer (2017), a mosturação consiste em inserir o malte moído em água, na proporção de 2,5 quilos de malte para cada litro de água, para a ativação das enzimas que irão converter os amidos oriundos do malte em açúcares fermentáveis e não fermentáveis. A produção destes açúcares depende da ação das enzimas que possuem variação de atividade conforme a temperatura e o potencial hidrogeniônico (pH) do meio em que estão presentes (PALMER, 2017). O processo da mosturação é responsável pela formação de espuma, do sabor, do teor alcoólico e do corpo da cerveja artesanal.

A enzima  $\beta$ -amilase, responsável pela conversão da maior parte do amido em açúcares fermentáveis,

tem sua melhor faixa de atuação entre 55 a 65 °C, onde acima desta temperatura, inicia-se seu processo de desnaturação. Essa enzima é responsável pela quantidade de álcool da cerveja. Em temperaturas mais elevadas, 67 a 80 °C, a conversão dos amidos fica a cargo da  $\alpha$ -amilase, que em sua maioria, produz açúcares mais complexo e não fermentáveis, que contribuem para o aumento do corpo da cerveja. Assim, para a fabricação de um mosto mais fermentável, é fundamental conduzir uma sacarificação numa temperatura entre 62 a 68 °C. Em temperaturas acima de 75 °C as enzimas sofrem uma mudança denominada de desnaturação, ou seja, nesta etapa elas têm suas atividades finalizadas.

## Conceitos de medição, controle e instrumentos

O ato de medir significa comparar uma grandeza, de mesma natureza, com uma outra, tida como padrão. Portanto, medição é o conjunto de operações que tem por objetivo definir o valor de uma grandeza. Grandeza, por sua vez, é definida como o atributo de um fenômeno físico que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado (RECH, 2005). O mesmo autor define sistema de medição como sendo o conjunto de instrumentos de medição e outros equipamentos interligados para executar uma medição específica.

Tanto a física quanto a engenharia baseiam-se nas relações entre quantidades mensuráveis, contudo uma medida ou valor experimental tem pouco significado, a não ser que tenha uma estimativa do seu erro ou incerteza e o valor medido reflita a clareza com que foi mensurado (FIALHO, 2010). A incerteza da medição é uma estimativa que procura caracterizar o intervalo de valores dentro do qual se encontra o verdadeiro valor da grandeza medida. Esta estimativa deve ser feita após eliminação de todas as componentes sistemáticas de erro conhecidas (CABRAL, 2004). Todo sistema de medição possui falhas que o fazem apresentar resultados que divergem do valor verdadeiro do mensurando. O valor da incerteza de medição quantifica o grau de dispersão entre o valor verdadeiro da grandeza e o valor medido. A avaliação da incerteza toma-se importante à medida que sua magnitude se aproxima da tolerância definida para o processo (BARP, 2000).

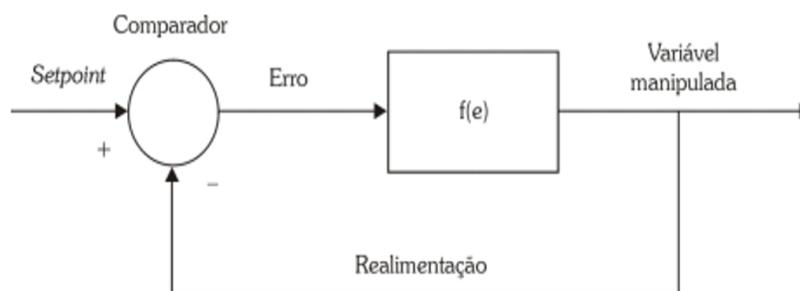
Em todo processo é fundamental controlar e manter as principais variáveis dentro do valor especificado, comparando o valor do mensurando com o valor desejado, sem a necessidade de intervenção do operador (BEGA, 2011). A temperatura é uma variável relevante de processo, sua medição e controle é fundamental em processos físicos e proteção de equipamentos (BEGA, 2011). A adequada medição da temperatura é complexa, por ser facilmente influenciada por fatores externos aos dispositivos de medida ou pela inércia térmica inerente ao sistema (CAMPOS, 2017).

## Sistema de malha fechada

Em um sistema em malha fechada, ocorre o controle da variável do processo pela manipulação da relação entrada/saída de energia, fazendo com que o processo seja mantido dentro dos limites estabelecidos (BEGA, 2011). Neste trabalho o controle na faixa desejada de temperatura é dado pelo ligamento intermitente da fonte de calor dado por uma resistência elétrica. Bega (2011), explica que o controle da malha com realimentação pode ser realizado mediante a ação do operador de forma manual ou pela instrumentação. Num processo que utilize o controle automático, o sensor efetua a medição do mensurando (variável controlada) e compara esse valor com o desejado na programação (*set point*), na sequência faz a comutação, executada pelo comparador e efetua a correção da variável manipulada, e, conseqüentemente a ação dos

elementos de controle. A Figura 1 indica a lógica dos sistemas de controle com retroalimentação.

Figura 1 – Algoritmo de controle de um sistema em malha fechada.



Fonte: Adaptado de (BEGA, 2011).

O método de execução e o tempo gasto para realização das ações de controle dependem do tipo de sistema de controle escolhido e das características do fenômeno físico controlado.

### Módulo de temperatura digital DS18B20

O módulo de temperatura digital DS18B20 pode ser utilizado em aplicações de controles termostáticos, sistemas industriais, termômetros e para a leitura de temperatura (MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2018).

Conforme o fabricante, o módulo DS18B20 tem resolução de 9-bit a 12-bit (configurável) e possui uma função de alarme programável em memória não volátil para valores abaixo ou acima das temperaturas desejadas. Pode operar entre  $-55\text{ °C}$  até  $+125\text{ °C}$  e com resolução de  $\pm 0.5\text{ °C}$  se estiver operando dentro da faixa de  $-10\text{ °C}$  até  $+85\text{ °C}$ . A comunicação é feita por 1-Wire, ou seja, precisa apenas de 1 pino do microcontrolador para transferir os dados. Cada módulo possui um número serial único de 64-bit, o que possibilita que vários DS18B20 funcionem no mesmo barramento 1-Wire, permitindo conectar vários sensores em um microcontrolador. O Quadro 1 traz as principais características do módulo DS18B20.

Quadro 1 – Características principais do módulo de temperatura digital DS18B20.

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Tensão de operação                | 3 a $5,5 V_{CC}$  |
| Faixa de medição                  | $-55\text{ °C}$ a $+125\text{ °C}$                          |
| Erro do termômetro                | $\pm 0.5\text{ °C}$ entre $-10\text{ °C}$ e $+85\text{ °C}$ |
| Dimensões ponta de aço inoxidável | 6 x 50 mm   |

Fonte: Adaptado de (MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2018).

A resolução da medição do sensor é dada pelo número de bits configurável no programa, podendo ser 9, 10, 11, ou 12 bits, corresponde um incremento de temperatura de  $0,5\text{ °C}$ ;  $0,25\text{ °C}$ ;  $0,125\text{ °C}$  e  $0,0625\text{ °C}$ , respectivamente. Quando o sensor é alimentado por um sistema externo pelo pino 1-wire, e efetua a leitura dos intervalos de temperatura, transmite o sinal digital 0 quando a temperatura está sendo convertida e 1 quando a conversão já estiver concluída. A Figura 2 traz a ilustração e o esquema de ligação do sensor DS18B20.

Figura 2 – Módulo de temperatura digital DS18B20.



Fonte: Adaptado de (Arduino 2018).

Os terminais do sensor DS18B20 são identificação pelas cores vermelho ( $5V_{CC}$ ), amarelo (sinal) e preto (GRD). Este sensor pode ser utilizado em ambientes úmidos, tem baixo custo, possui *interface* com a plataforma arduino e atende a faixa de temperaturas a ser medida e controlada.

### Módulo relé de estado sólido SSR

O módulo relé de estado sólido SSR de 1 canal, tem a mesma função dos relés eletromecânicos, ou seja, chavear circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões. A diferença entre o módulo relé de estado sólido SSR para o relé convencional é o fato do primeiro não possuir elementos mecânicos ou qualquer tipo de peça móvel, funcionando a partir de tiristores ao invés de contatos. Por não possuir partes mecânicas e móveis, não sofrem desgaste e tem vida útil praticamente ilimitada. Além disso, este tipo de relé possui alto grau de confiabilidade, resistência a vibrações mecânicas, não possui ruídos sonoros, compatível com microprocessadores e compacto. O Quadro 2 traz as especificações deste relé.

Quadro 2 – Características principais do Módulo relé de estado sólido SSR.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Tensão de operação       | $5 V_{CC}$  |
| Tensão máxima de carga   | $240 V_{CA}$  |
| Corrente máxima de carga | 2 A   |
| Quantidade de canais     | 1   |
| Temperatura de trabalho  | - $25^{\circ}C$ a $+70^{\circ}C$  |
| Sinal de acionamento     | 0 - 2,5 V ( <i>LOW</i> / relé ligado) / 3 - 5 V ( <i>HIGH</i> / relé desligado) |
| Dimensões                | 25 mm (L) X 21 mm (A) X 34 mm (C)   |
| Peso                     | 12 g  |

Fonte: Adaptado de (Arduino 2018).

O relé de estado sólido possui elevada resposta a frequência de acionamento, permite o controle de diversos equipamentos, é compatível com o arduino e possui LED indicador de status de atuação. A Figura 3 traz o referido relé.

Figura 3 – Módulo relé de estado sólido SSR.



Fonte: Adaptado de (Arduino, 2018).

O relé de estado sólido possui quatro terminais, sendo o CH1: Sinal Relé 1, CH2: Sinal Relé 2, o de alimentação DC+ e DC-. O relé é ligado (*LOW*) pelo sinal de acionamento quando a tensão está entre 0 e 2,5 V e desligado (*HIGH*) quando a tensão está entre 3 e 5 V.

### Transferência de calor

O calor é uma forma de energia que é transferida de um sistema para o outro através da diferença de temperatura existente entre os dois e pode ser transferido de três formas: condução, convecção e radiação (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

### Balço de energia

A primeira lei da termodinâmica estabelece que o aumento na quantidade de energia acumulada (armazenada) em um volume de controle deve ser igual à quantidade de energia que entra no volume de controle menos a quantidade de energia que deixa o volume de controle (BERGMAN et al., 2015). Para os mesmos autores, o princípio da conservação de energia (balço de energia) para qualquer sistema, realizando qualquer processo, se refere à energia total, que é constituída pelas energias cinética ( $\Delta V$ ) e potencial ( $\Delta P$ ), em conjunto conhecidas como energia mecânica, e pela energia interna ( $\Delta U$ ), subdividida em energia térmica, química e nuclear. Em análise de transferência de calor, interessa as formas de energia que estão sendo transferidas em função de uma diferença de temperatura, assim, o primeiro enunciado pode ser descrito:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = E_{\text{ent}} - E_{\text{sai}} + E_{\text{ger}} \quad (1)$$

em que  $\Delta E_{\text{sistema}}$  representa a energia acumulada no volume de controle, os termos  $E_{\text{ent}}$  e  $E_{\text{sai}}$  se referem à energia entrando e saindo do volume de controle e, por fim,  $E_{\text{ger}}$  corresponde as conversões de energias elétrica e mecânica em energia térmica.

Considerando que não ocorre transferência de calor por meio das fronteiras do volume de controle (sistema fechado) e que não ocorre variação de elevação e de velocidade (sistema estacionário), as energias potencial gravitacional e cinética são desconsideradas. A única fonte de energia térmica é a conversão de energia elétrica, onde a potência elétrica ( $E_{\text{ger}}$ ) é convertida em taxa de calor na resistência elétrica é então entregue para o sistema (água, malte e panela). Sendo o fluido incompressível, seus calores específicos a pressão constante e a volume constante são iguais ( $c_p = c_v \equiv c$ ), então a relação para o balanço de energia se reduz para:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta U = Q = E_{\text{ger}} = (m.c.\Delta T)_{\text{inox}} + (m.c.\Delta T)_{\text{água+malte}} \quad (2)$$

em que  $Q$  representa a quantidade líquida de transferência de calor para o sistema que é equivalente a variação da energia interna,  $\Delta T$  representa a diferença de temperatura, e  $m$  a massa. Neste trabalho a quantidade de calor recebida considerada é oriunda exclusivamente da resistência elétrica.

## Instrumentação utilizando a plataforma Arduino

O arduino é uma plataforma eletrônica aberta (*open-source*), programável que faz a interação entre meio físico com o meio digital. O arduino foi desenvolvido para facilitar a prototipagem, não só de técnicos em eletrônica e programadores, mas também de pessoas que querem automatizar seus projetos e não possuem muito conhecimento na área. O arduino é uma plataforma de desenvolvimento composta pelo *hardware* (arduino uno, mega uno, nano e outros) e uma IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) onde o código é escrito em linguagem C/C++ e a própria IDE fará todo o processo de compilação e transferência do código de um computador para o microcontrolador *ATmega*.

Segundo Vieira (2017), a plataforma arduino pode interagir com o ambiente atualizando as saídas por meio da leitura das entradas, ou seja, este é capaz de realizar tarefas programadas como por exemplo ligar uma resistência em um determinado intervalo de tempo e desligá-la quando necessário por meio da leitura de uma porta de entrada. Todas as placas arduino são completamente *open-source*, e podem ser adaptadas a necessidades específicas, consentido aos usuários a possibilidade de construir seus próprios projetos (ARDUINO, 2018).

No Quadro 3 podem ser observadas as principais características da plataforma Arduino Nano 3.0 em relação aos seus limites de operação e capacidade (ARDUINO, 2018).

Quadro 3 – Características principais Arduino Nano 3.0.

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Microcontrolador            | ATmega328                                   |
| Tensão operacional          | 5 V <sub>DC</sub>                           |
| Memória flash               | 32 kB dos quais 2 kB usados pelo bootloader |
| SRAM                        | 2 kB  |
| Processamento               | 16 MHz                                      |
| Analog IN Pins              | 8   |
| EEPROM                      | 1 kB  |
| Corrente DC por pinos I / O | 40 mA (pinos de E / S)                      |
| Tensão de entrada           | 7 - 12 V                                    |
| Pinos Digitais I / O        | 22 (6 dos quais são PWM)                    |
| Saída PWM                   | 6   |
| Consumo de energia          | 19 mA                                       |
| Tamanho do PCB              | 18 x 45 mm                                  |
| Peso                        | 7 g   |

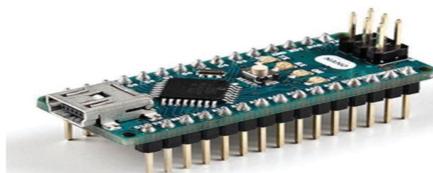
Fonte: Adaptado de (Arduino 2018).

O arduino nano é uma placa pequena, baseada no ATmega328, completa e fácil de usar. Essa placa tem uma configuração compacta e destinada ao uso em *ProtoBoards* ou diretamente em placas de circuito impresso e funciona com um cabo USB Mini-B. A ligação do arduino nano a um computador é compatível visto sua tensão de alimentação ser 5 V.

O arduino possui funcionamento semelhante ao de um pequeno computador capaz de interpretar entradas e controlar as saídas a fim de criar sistemas automáticos, mas para isso é preciso programá-lo, ou seja, controlar quais decisões devem ser tomadas em cada circunstância. Para isso, é feito um código que segue uma sequência lógica de tomada de decisões que leva em conta as variáveis que serão lidas e/ou controladas.

Por suas propriedades de comunicação e conexão, o arduino é um ótimo instrumento de integração. A obtenção de dados de sensores, a facilidade de programação, modificação de rotinas de trabalho e a comunicação em tempo real com computadores são virtudes no trabalho com dispositivos físicos como o arduino. A Figura 4 traz o arduino nano 3.0 utilizado.

Figura 4 – Arduino Nano.



Fonte: Adaptado de (Arduino 2018).

Apesar de ser um instrumento mais frágil, se comparado com uma plataforma industrial, a plataforma arduino destaca-se em função do baixo custo. Orçamentos de instrumentação utilizando-se dessa plataforma podem ser até 10% do preço de uma plataforma industrial (TOSTES, 2015).

## TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Esta seção apresenta a estratégia de medição e controle e a implementação dos métodos e instrumentos apresentados na fundamentação.

### Descrição do laboratório

O sistema de medição e controle de temperatura proposto neste trabalho, foi desenvolvido no Laboratório UniBeer localizado na Universidade La Salle no município de Canoas/RS. O referido laboratório possui duas panelas, fabricados em aço inoxidável AISI 312, com capacidade de 100 litros cada, onde são produzidas bateladas de 60 litros a 90 litros e outra em alumínio com capacidade de 90 litros. A Figura 5 traz o registro dos equipamentos e o arranjo físico do laboratório.

Figura 5: Laboratório UniBeer.



Fonte: Autores (2018).

Uma das panelas em aço inoxidável é utilizada para a mosturação e a outra para a fervura do mosto. A panela em alumínio é utilizada para aquecimento de água para a clarificação. Ambas possuem resistências para aquecimento de 6000 W. Na Tabela 1 estão descritos os principais equipamentos utilizados na fase de mosturação.

Tabela 1 - Lista de equipamentos do laboratório.

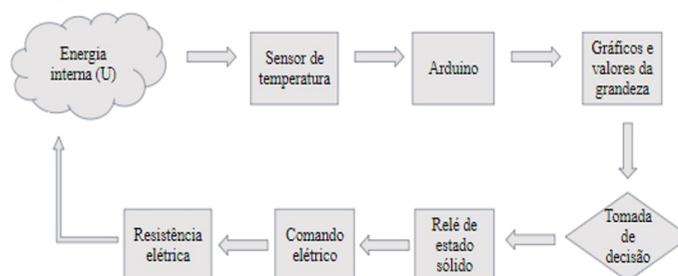
| Equipamento                          | Fabricante e Modelo | Potência (W) |
|--------------------------------------|---------------------|--------------|
| Panela de água de aquecimento        | UniBeer - 90 l      | 6000         |
| Panela de mosturação com fundo falso | UniBeer - 100 l     | 6000         |
| Panela de fervura                    | UniBeer - 100 l     | 6000         |
| Bomba de recirculação                | ASKOLL              | 30           |

Fonte: Autores (2018).

## Materiais e métodos

A elaboração do sistema de medição e controle de temperatura baseou-se no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do sistema de medição e controle de temperatura da mosturação.



Fonte: Autores (2018).

Trata-se de um sistema de controle em malha fechada, onde o sensor de temperatura digital DS18B20 faz a leitura da temperatura do mosto e transfere para o micro controlador. A escolha deste sensor foi dada pelos seus limites de operação que atendem a faixa de medição, comunicação com a plataforma arduino, e baixo custo.

A interface ocorre via USB e *Serial Monitor*, nativos da *arduino IDE*. O envio de comandos de chaveamento de estados para o relé de estado sólido SSR é feito através de um sinal digital simples com lógica *High/Low* pela placa arduino. O relé, ligado aos terminais do arduino, por sua vez, controla a atuação da contatora pelo corte ou fornecimento de alimentação, fazendo com que a resistência elétrica seja ligada ou desligada de acordo com a temperatura desejada na mosturação. O aparato experimental é constituído pelos itens descritos na Tabela 2.

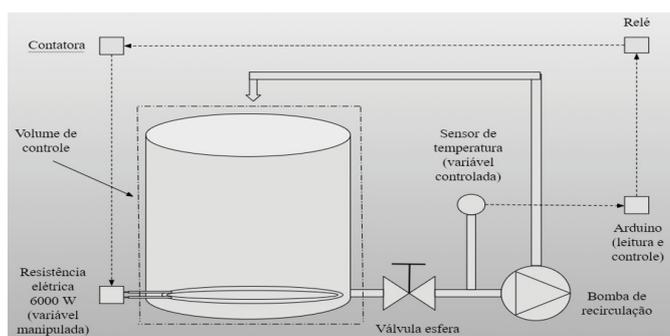
Tabela 2 - Lista de equipamentos para instrumentação do processo.

| Equipamento                                   | Fabricante e Modelo  | Resolução   | Incerteza |
|---|----------------------|-------------|-----------|
| Sensor de temperatura digital DS18B20         | Dallas Semiconductor | 9 a 12 bits |           |
| Arduino Nano 3.0                              | ATmega328            | 10 bits     | -         |
| Cabo USB                                      | -                    | 2.0 ou 3.0  | -         |
| Display                                       | MSS Eletrônica       | 16 x 02     | -         |
| Adaptador de terminal para o arduino nano 3.0 | Deek Robots          | 10 bits     |           |
| Módulo Relé 5V de Estado Sólido SSR 1 Canal   | Metaltex             | -           | -         |

Fonte: Autores (2018).

A posição para a tomada da temperatura está na linha da recirculação entre a saída na válvula esfera da panela de mosturação e a bomba de recirculação. A escolha dessa posição se deve ao fato de o fluido estar em uma temperatura mais alta neste ponto devido à proximidade com a fonte de calor. A resistência elétrica é ligada sucessivamente durante o processo e a recirculação do fluido garante a homogeneidade do volume total. A Figura 7 destaca a posição do módulo de temperatura, a malha fechada e o volume de controle. Foi instalado, também, uma chave contatora para acionar a resistência elétrica, visto que a corrente elétrica máxima permitida no relé é de 2 Amperes e na resistência elétrica é de 27 Amperes.

Figura 7: Disposição do sistema de medição e controle.

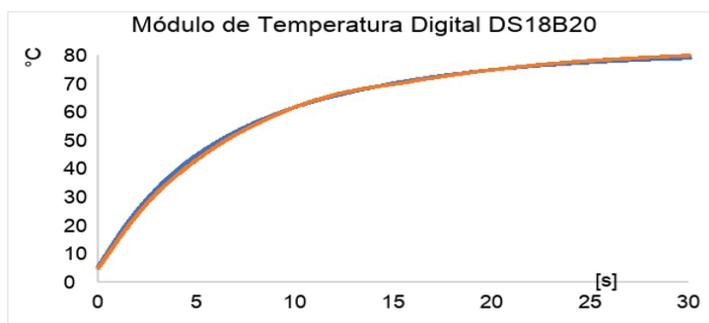


Fonte: Autores (2018).

### Análise global da evolução da temperatura

A evolução do aumento de temperatura foi calculada (Equação 2) para avaliar a resposta do sensor em relação a potência entregue pela resistência elétrica e a temperatura por ele medida. Assim considerou-se, a variação da energia interna do conjunto panela, água e malte conforme indicado no volume de controle na Figura 7. Partindo-se do volume de 100 litros de água e malte e 15 kilogramas da panela de aço e os calores específicos de 4186,8 J/kg.K, e 8055 J/kg.K, respectivamente, e da potência da resistência de 6000 Watts, utilizando a Equação 2 de balanço de energia, são necessários 90 segundos aproximadamente para elevar uma unidade na temperatura. A Figura 8 mostra a curva de evolução de temperatura do referido sensor.

Figura 8: Curva de evolução do aumento de temperatura do sensor.



Fonte: Autores (2018).

Conforme o gráfico da Figura 8, são necessários aproximadamente 30 segundos para que a leitura de temperatura feita pelo sensor vá de 5 °C a 80 °C. Considerando que a resistência necessita de 90 segundos para elevar um grau a temperatura, conforme calculado com a Equação 2, o sensor tem boa percepção de medição, visto que mede 75 °C em 30 segundos, sendo, portanto, adequado para tal aplicação.

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como um *hardware* de baixo custo e um *software* livre podem melhorar a apuração dos resultados de processos industriais, agregando valor ao produto final.

A utilização do arduino para o controle de temperatura na etapa de mosturação da cerveja se provou eficaz, transmitindo as alterações de temperatura e o controle da transmissão de calor pela resistência, provando ser uma ferramenta valiosa para microcervejarias que precisam controlar custos e manter o controle desta etapa importante do processo.

Como sugestões para trabalhos futuros: i) acrescentar o módulo RTC (*Real Time Clock*) DS1307. Este módulo é um relógio em tempo real que faz a contagem dos segundos, minutos e horas, dias e até considerações de anos bissextos. ii) utilizar o módulo *wireless* NRF24l01 2.4 GHz, que é um módulo transceptor sem fio que permite construir um sistema de comunicação fácil e rápido.

## REFERÊNCIAS

- BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 672 p.
- BARP, A. M. **Metodologia de avaliação e de gerenciamento da incerteza de sistemas de medição de temperatura**. 2000. 133 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia)-Centro Tecnológico Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- BECKWITH, T. G.; MARANGONI, R. D.; LEINHARD, J. H. **Mechanical Measurements**, 5. ed. Reading: Addison-Wesley, 1993.
- BEGA, E. A. (Org.). **Instrumentação industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 694 p.
- BRASIL. **Decreto nº 6871**, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 04 Jun. 2009.
- CABRAL, P. **Erros e Incertezas nas Medições**. Brasil. 2004.
- CAMPOS, M. C. **Apostila de sistemas de medição - TM-247**. UFPR. 2017.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 904 p.
- FIALHO, A. B. **Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises**. 7. ed. rev. São Paulo: Érica, 2010. 280 p. Maxim Integrated sensors. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>>. Acesso em: 15 mai. 2018.
- PALMER, J. J. **How to Brew: Everything you need to know to brew great beer every time**. Brewers Publications. 4. ed. 2017. 582 p.
- RECH, C. **Metrologia e Prática de Oficina**. Canoas. 2005.
- TOSTES, L. R. de M. **Instrumentação e Controle do Processo de Produção de uma Microcervejaria**. 2015. 85 f. Projeto de Graduação (Engenharia de Controle e Automação)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VIEIRA, E. **Desenvolvimento de um protótipo para o controle do processo de brassagem na fabricação de cerveja artesanal**. 2017. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Eletrônica)-Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.