

# Torra de café: proposta de automação do sistema de aquecimento a gás

*Coffee roasting: proposal for automation of the gas heating system*

NATHAN BRENNIER DE LIMA CAETANO

Discente de Engenharia Mecânica (UNIPAM)  
nathanblc@unipam.edu.br

GUILHERME ANTONIO MOREIRA DE FARIA

Discente de Engenharia Mecânica (UNIPAM)  
guilhermeamf@unipam.edu.br

SANDRA LÚCIA NOGUEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)  
sandraaln@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Este estudo propõe a automação do sistema de torra de café, com o objetivo de aprimorar a eficiência, a qualidade e a segurança do processo. O método manual de torra está sujeito a variações que comprometem a uniformidade e o padrão final do produto. Para superar essas limitações, foi desenvolvido um protótipo com controle baseado em Arduino, que possibilita o monitoramento da temperatura e a padronização do processo. A metodologia incluiu revisão teórica sobre o processo de torra, visitas técnicas a empresas para coleta de dados, modelagem no software SolidWorks 2020 e programação do sistema de controle em Arduino. Dados de temperatura e tempo foram coletados apenas para validar o funcionamento do sistema de automação, sem a realização de testes específicos em condições reais de operação. Os resultados indicam que o protótipo apresenta potencial para melhorar a eficiência e a consistência do café torrado, configurando-se como uma solução promissora para a indústria cafeeira. Conclui-se que a automação do sistema pode gerar benefícios significativos em termos de eficiência energética, qualidade do produto e segurança operacional, recomendando-se que pesquisas futuras aprofundem os testes em contextos reais de produção.

**Palavras-chave:** torrefação; automação; eficiência; Arduino.

**Abstract:** This study proposes the automation of the coffee roasting system with the objective of improving the efficiency, quality, and safety of the process. The manual roasting method is subject to variations that compromise product uniformity and final quality standards. To overcome these limitations, a prototype with Arduino-based control was developed, enabling temperature monitoring and process standardization. The methodology included a theoretical review of the roasting process, technical visits to companies for data collection, modeling in SolidWorks 2020 software, and programming of the control system in Arduino. Temperature and time data were collected solely to validate the operation of the automation system, without performing specific tests under real operating conditions. The results indicate that the prototype has potential to improve the efficiency and consistency of roasted coffee, positioning itself as a promising solution for the coffee industry. It is concluded that system automation can generate

significant benefits in terms of energy efficiency, product quality, and operational safety, and it is recommended that future research deepen testing in real production contexts.

**Keywords:** roasting; automation; efficiency; Arduino.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de produção de café é uma das principais fontes de renda em muitas regiões do Brasil. A qualidade e o sabor do café são diretamente influenciados pela torra, um processo que pode ser cansativo e sujeito a erros quando realizado manualmente, comprometendo a qualidade final do produto (Santo, 2015). Neste contexto, a automatização do sistema de torra de café surge como uma solução promissora.

Diferentemente dos modelos de máquinas automáticas disponíveis no mercado, que utilizam aquecimento elétrico, este projeto visa desenvolver um protótipo a gás. O diferencial é a automação do processo realizado pelo operador, evitando erros e falhas humanas e permitindo que ele se dedique a tarefas mais importantes (Santo, 2015).

A utilização de um sistema de aquecimento a gás torna o processo mais eficiente e seguro, pois o gás pode ser controlado com precisão e apresenta menor risco de acidentes. Além disso, a máquina de torra de café automatizada contribui para a otimização dos processos na indústria de café, permitindo a produção em larga escala com alta qualidade e padronização (Freitas, 2023).

Portanto, o objetivo geral deste estudo é desenvolver um modelo 3D, em dimensões reduzidas, de um torrador de café para testar a programação em Arduino, com o propósito de apresentar uma automação que potencialize a eficiência e o controle de temperatura no processo de torra. Entre os objetivos específicos, destacam-se a avaliação inicial da influência da automação por meio da programação e o desenvolvimento de um sistema de controle baseado em Arduino, visando maior precisão e consistência.

Dessa forma, este trabalho busca contribuir para o setor de produção de café ao propor a automação do processo de torra, com potencial para ampliar a eficiência e a qualidade do produto final (Lopes *et al.*, 2021). A automatização da máquina de torra de café com um sistema de aquecimento a gás é uma iniciativa relevante para aperfeiçoar o controle operacional, tornando o processo mais seguro e eficiente. Apesar dos resultados preliminares indicarem avanços promissores, futuros estudos são necessários para avaliar o impacto da automação em condições reais de produção, de modo a validar as melhorias esperadas.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

### 2.1 TORRA DE CAFÉ

A torra de café é uma etapa crítica no processo de produção, pois influencia diretamente o sabor, o aroma e a qualidade geral da bebida final (Monteiro *et al.*, 2006). Neste contexto, a automatização do sistema de aquecimento a gás representa uma

abordagem inovadora e eficiente para aprimorar a torra de café. Para compreender a importância dessa automação, é crucial considerar diversos aspectos teóricos e práticos.

Os aspectos teóricos e práticos da torra de café resultam da combinação de compostos químicos gerados pelas reações que ocorrem durante a torrefação. O grau de torra influencia diretamente o sabor, para alcançar o perfil desejado, é necessário compreender como o grão foi torrado e quais compostos serão extraídos para compor a bebida. O profissional, com base em conhecimento teórico e experiência prática, ajusta o processo de torra para influenciar a nota final, avaliando o ponto ideal por meio da degustação, determinando assim o sabor e o aroma (Melo, 2004).

Para selecionar as notas sensoriais de sabores do café, é fundamental compreender que elas resultam de uma interação complexa entre a origem do grão, o processo de cultivo, a colheita, e especialmente o ponto de torra. A torra é um fator determinante porque é durante esse processo que os compostos químicos responsáveis pelo aroma e sabor são transformados e realçados. Um café de torra clara, por exemplo, tende a preservar características frutadas e florais, enquanto uma torra mais escura enfatiza sabores caramelizados, achocolatados ou tostados. Para alcançar uma nota específica da roda de sabores, é necessário ajustar a torra de forma precisa e atenta, observando o tempo e a temperatura para desenvolver os compostos desejados sem mascarar outros. Além disso, a degustação contínua e o uso de cupping (degustação auxiliada) na identificação e no refinamento das notas sensoriais, permitindo que cada etapa do processo contribua para um perfil de sabor harmonioso e único (ICAFE, 2020).

## 2.2 CONTROLE DE TEMPERATURA

A temperatura desempenha um papel fundamental na torra do café. Durante o processo, os grãos de café passam por várias etapas, incluindo secagem, caramelização e desenvolvimento de sabor.

Os graus de torra são determinados pela região onde o café é comercializado, pois cada lugar tem um padrão de torra específico. Sendo assim, conforme Melo (2004) enfatiza, esses padrões estão relacionados aos estágios de torra, conforme apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estágios de torra do café

Estágio	Temperatura (°C)	Característica
Amarelo	90 - 120	O grão começa a liberar umidade.
Marrom Claro	120 - 150	O grão começa a sofrer uma temperatura interna fazendo o mesmo ficar tostado, dando início a sua caramelização.
City	205 - 213	Nesta temperatura o café começa a “pipocar” ou como é chamado de “Crack”. Neste ponto, o grão ainda está na sua caramelização, porém mais tostado.
Full City	213 - 220	Representa a torra <i>lighter Full City</i> , onde ocorre o segundo sinal “Crack” sendo assim chega ao ponto ideal de torra do grão.

Full City +	221 - 230	O grão já começa a perder óleo, e seu açúcar.
Viena	231 - 240	O grão já passa a ficar mais preto com um aspecto queimado, assim prejudica no aroma e no sabor do café.
French - Italian	243 - 265	O grão começa a se degradar, tornando-se carbonizado. Nesse processo, ele perde massa e componentes essenciais como açúcar, aroma e até mesmo a cafeína, pois o grão está totalmente queimado. Apesar disso, existem regiões que comercializam esse tipo de café, sendo comum encontrá-lo em supermercados e comércios menores.

Fonte: adaptado de Melo, 2004.

Dessa forma, a automação do sistema de aquecimento a gás permite um controle preciso da temperatura, garantindo que cada etapa ocorra no momento certo. Isso resulta em uma torra uniforme, o que evita o superaquecimento e melhora a consistência do sabor.

### 2.3 UNIFORMIDADE DA TORRA

A uniformidade da torra é um dos principais objetivos na produção de café de alta qualidade. A automação do sistema de aquecimento a gás proporciona uma distribuição homogênea de calor, eliminando variações que podem ocorrer durante a torra manual. Isso significa que todos os grãos são submetidos às mesmas condições, resultando em uma torra mais homogênea e saborosa (Melo, 2004).

Essa uniformidade é almejada por todos os produtores, que buscam oferecer cafés de alta qualidade para atender a uma demanda exigente. Nesse sentido, a automação do sistema de aquecimento a gás é uma solução confiável que pode garantir excelência. Na torra manual, ocorrem muitas variações, pois é difícil controlar todos os parâmetros, como temperatura e tempo de exposição. Com a automação, cada grão, dos mais externos aos mais internos, passa pelo mesmo processo, resultando em uma distribuição consistente de sabores e aromas em todo o lote. Investindo em tecnologia, os produtores que promovem a uniformidade da torra não apenas elevam seu padrão de produção, mas também agregam valor ao café, contribuindo para que a indústria e os consumidores valorizem esses padrões de qualidade (Fukami, 2024).

### 2.4 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E ARDUINO

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo fundamental em automação industrial, desenvolvido para monitorar e controlar máquinas e processos em tempo real. Ele substitui sistemas de controle baseados em relés, oferecendo maior flexibilidade, robustez e eficiência. Projetado para suportar condições adversas encontradas no ambiente industrial, o CLP recebe informações de dispositivos de

entrada, como sensores, e executa uma lógica de controle programada para ativar saídas, como motores e válvulas, conforme necessário (Silva; Pereira, 2019).

O Arduino, por sua vez, é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto amplamente utilizada em projetos de automação, robótica e experimentação. Composto por placas equipadas com microcontroladores, o Arduino permite o desenvolvimento rápido de projetos interativos, possibilitando o controle de dispositivos como LEDs, sensores e motores de forma acessível e versátil (Banzi; Shiloh, 2018).

A principal diferença entre o Arduino e o CLP está nas aplicações e na robustez. O Arduino é ideal para projetos educacionais e experimentais, sendo uma plataforma aberta, acessível e adequada para controles básicos. Entretanto, ele não é projetado para operar em ambientes industriais adversos. Já o CLP é especialmente desenvolvido para automação industrial, oferecendo maior robustez e confiabilidade, com capacidade de funcionar em condições extremas, como altas temperaturas, presença de umidade e interferências eletromagnéticas.

## 2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O uso de sistemas de aquecimento a gás é conhecido por sua eficiência energética. Comparado a outras fontes de calor, o gás oferece uma resposta rápida às mudanças de temperatura, crucial para o controle preciso durante a torra. A automação permite otimizar o consumo de energia, tornando o processo mais econômico e ambientalmente sustentável. Os sistemas de aquecimento a gás, além da uniformidade na eficiência energética e no controle exato da temperatura, proporcionam uma distribuição homogênea do calor, garantindo que todos os grãos sejam aquecidos uniformemente no tambor de torrefação.

Para cafés de alta qualidade, o aquecimento uniforme é importante, pois pequenas variações de temperatura podem afetar o sabor e o aroma da bebida final. A capacidade de ajustar rapidamente a intensidade do calor durante a torra também contribui para essa precisão (Freitas, 2023).

A conveniência e a flexibilidade operacional também se destacam entre os benefícios; com a resposta rápida a mudanças de temperatura, o processo de torra pode ser ajustado para otimizar o uso dos grãos e adaptar-se a diferentes perfis ou condições climáticas, permitindo aos produtores uma grande variedade de métodos de torra e eliminando eventuais restrições ao processo (Freitas, 2023).

## 2.6 PADRONIZAÇÃO E PRODUTIVIDADE

A automação do processo de torra aprimora a padronização do produto final, essencial para produtores que desejam manter uma qualidade consistente e atender às expectativas dos consumidores. Sistemas automatizados operam continuamente com mínima intervenção humana, uma vantagem para grandes torrefadoras que processam grandes volumes de café.

A eficiência energética também é maximizada, pois os sistemas automatizados otimizam o uso de energia, reduzindo desperdícios e custos, o que contribui para a sustentabilidade ambiental e melhora a rentabilidade, tornando a indústria cafeeira mais competitiva e sustentável a longo prazo (Santo, 2015). Esses sistemas podem operar de forma contínua com supervisão mínima, processando volumes maiores de café em menos tempo e com menos erros. A eficiência aprimorada reduz o tempo de espera e contribui para uma maior eficiência energética, pois os sistemas automatizados são projetados para otimizar o consumo de energia durante a torra (Loring, 2018).

Esse *software* lê os parâmetros do processo de torra, como a temperatura inicial e o tempo inicial, e esses dados são armazenados em um banco de dados que envia sinais para o Arduino controlar a abertura e o fechamento das válvulas. O Arduino, devidamente programado, permite uma visualização abrangente do projeto, destacando-se como uma proposta inicial de automação. A integração de sensores de temperatura e temporizadores ao sistema Arduino contribui para o processo de leitura durante a torra, monitorando automaticamente os graus Celsius ao longo do tempo. Isso proporciona maior precisão, garantindo que cada etapa da torra seja controlada com exatidão, resultando em um café de alta qualidade. Dessa forma, a automação reduz a margem de erro humano e possibilita ajustes em tempo real, otimizando a eficiência e a consistência do produto final (Delfim *et al.*, 2021).

### 3 METODOLOGIA

Neste estudo, foram realizadas visitas a duas empresas de café especializadas na comercialização de grãos e na degustação. O objetivo das visitas foi coletar dados para o processo de modelagem e desenvolvimento de peças no software SolidWorks 2020. Para isso, foram utilizados instrumentos de medição, como paquímetro e trena, que permitiram obter medidas precisas para o desenvolvimento das peças em escala reduzida de  $\frac{1}{2}$  (metade do tamanho real).

Os instrumentos de medição garantiram clareza e precisão na coleta de dados, conforme apresentado no Quadro 1. A trena foi utilizada para medir as bases da máquina em milímetros, enquanto o paquímetro foi empregado para determinar o diâmetro de circunferências, assegurando a exatidão necessária para o dimensionamento das peças.

Após a etapa de coleta de dados, os laboratórios de eletrônica e informática foram utilizados para a programação e prototipação do sistema. Além disso, o FabLab do Unipam foi empregado na fabricação das peças necessárias para a montagem do protótipo.

**Quadro 1:** Dimensões reais do torrador

	Torrador [mm]	Bocal [mm]	Bancada [mm]
<b>Base</b>	190 x 135	-	330 x 370
<b>Altura</b>	220	-	200
<b>Diâmetro Interno</b>	70	37,04	-
<b>Diâmetro Externo</b>	87,5	54,81	-
<b>Ressalto do Bocal</b>	-	35	-

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

O protótipo foi inspirado no torrador Probat Leogap, sendo um torrador de prova, conforme mostrado na Figura 1. Este equipamento é utilizado para a torra de café e possui capacidade para torrefação de 100 gramas de grãos em seu tambor. O tambor gira continuamente, movido por um motor elétrico acoplado a um eixo sem-fim, garantindo que os grãos permaneçam em constante movimento durante o processo de torra, proporcionando uma torra uniforme. A fonte de calor é gerada por chamas localizadas na parte inferior do equipamento, que aquecem o tambor.

A principal inovação em relação ao torrador original está na automação do processo de torra, eliminando a necessidade de intervenção humana. No protótipo desenvolvido, o mecanismo de basculamento da carcaça superior, ilustrado no Apêndice (Figura 3), foi projetado para operar de forma independente, dispensando qualquer ação manual. O sistema foi integrado a controles automatizados para garantir que o movimento de basculamento ocorra com precisão e eficiência, alinhando-se ao conceito de automação.

Esse desenvolvimento teve como objetivo tornar o processo de torra mais autônomo, reduzindo a dependência de ajustes manuais e facilitando a operação do equipamento. A automação busca não apenas aumentar a eficiência do processo, mas também melhorar a consistência e a segurança durante a torra.

**Figura 1:** Torrador de Café



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Foi realizada uma pesquisa sobre programação em Arduino como etapa inicial para o desenvolvimento do artigo, com a elaboração do código necessário, considerando as especificações técnicas do sistema. Após a criação do código, ele foi aplicado em um ambiente prático para verificar sua execução e funcionamento em condições reais. A aplicação seguiu um protocolo definido, detalhado no Anexo 1, permitindo avaliar a interação entre o *hardware* e o *software*.

Foram desenvolvidos desenhos técnicos da máquina em escala 1/2, uma representação esquemática utilizada como parte do planejamento do projeto. Essa escala foi escolhida para detalhar as proporções e os componentes com clareza, facilitando a compreensão do equipamento, conforme ilustrado no Apêndice (Figuras 2 e 3). Essa etapa foi fundamental para apresentar o projeto de forma visual, oferecendo uma base

técnica para orientar a montagem e minimizar dificuldades operacionais no processo. O desenho técnico foi elaborado com foco na funcionalidade e praticidade, sendo um suporte essencial para as etapas subsequentes.

A programação foi desenvolvida no laboratório de eletrônica do UNIPAM, utilizando os recursos disponíveis no local. O processo seguiu um passo a passo estruturado, com a utilização de *softwares* de suporte à linguagem Arduino, que possibilitaram a escrita e os ajustes do código de forma prática e eficiente.

O protótipo foi detalhado virtualmente no *software* SolidWorks, permitindo a criação de um modelo digital completo do equipamento. Essa etapa possibilitou a visualização precisa de todas as peças e suas dimensões. Após o desenvolvimento no *software*, cada componente foi preparado para ser cortado em MDF, um material viável e prático fornecido pelo UNIPAM, conforme ilustrado no Apêndice (Figura 5). O corte foi realizado de acordo com as especificações definidas no modelo digital, garantindo a conversão precisa do desenho técnico em peças físicas.

Com as peças em MDF cortadas, deu-se início à montagem do protótipo, utilizando cola de madeira para unir os componentes. Simultaneamente, os componentes eletrônicos do Arduino foram organizados e montados conforme descrito na Tabela 2, assegurando a integração correta entre o sistema eletrônico e o protótipo físico.

**Tabela 2:** Lista de materiais para montagem da programação.

Materiais	Quantidade
Tower Pro Micro 9g SG90	2
Protoboard	1
Sensor DS18B20	1
Arduino UNO	1
Fonte USB	1
Resistores 220 ohms	3
Resistores 1000 ohms	1
Jumpers	13
Leds	3

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

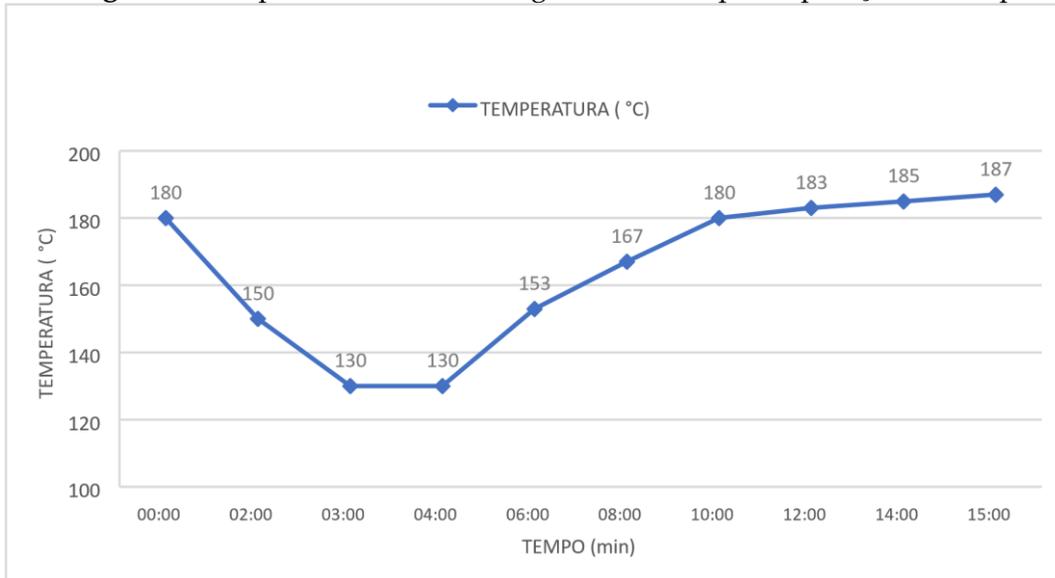
A programação desenvolvida e o modelo físico foram elaborados como parte dessa fase, permitindo que ambos os elementos fossem sincronizados de acordo com o projeto inicial.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico de Temperatura x Tempo, apresentado na Figura 2, demonstra a relação entre esses dois parâmetros durante o processo de torra, permitindo que o operador da máquina defina um ponto de torra que pode ser inserido no Arduino para execução automática. A automação desse processo contribui para a precisão e eficiência da torra do café, garantindo maior controle sobre o resultado final.

Na coleta dos dados de temperatura e tempo, o operador define a temperatura inicial, que neste caso foi estabelecida em 180°C, e o tempo, sempre iniciado em zero (0) minutos. Os dados de temperatura e tempo definidos pelo operador foram registrados e inseridos conforme ilustrado na Figura 2, permitindo a análise do desempenho do sistema automatizado.

**Figura 2:** Temperatura da Torra, seguida de base para operação da máquina.



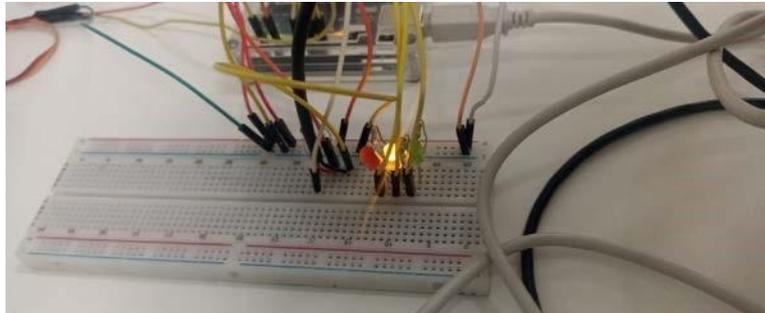
Fonte: dados da pesquisa, 2024.

O operador da máquina estabelece uma temperatura inicial ao inserir os grãos no torrador. Quando os grãos são colocados, a temperatura diminui devido à umidade presente neles. Após a inserção, os grãos permanecem em uma temperatura estável por cerca de um minuto, entre os tempos de 3 a 4 minutos, conforme ilustrado na Figura 2. Durante esse período, a umidade dos grãos é eliminada pela alta temperatura. Em seguida, com o aumento da temperatura, inicia-se o processo de caramelização, que começa a partir do minuto 6. A partir do minuto 8, o grão entra no estado de tostado e começa a estourar (*crack*), e no minuto 10, o grão é retirado. Após esse tempo, o grão já não seria adequado para consumo, pois é carbonizado.

Ao desenvolver o protótipo do sistema de automação utilizando o *software* SolidWorks e Arduino, os resultados obtidos atenderam às expectativas. A proposta de automação mostrou-se viável, com o sistema operando de maneira eficaz em condições simuladas, comprovando que o Arduino é uma solução acessível e eficaz para ser utilizado como protótipo. Esse resultado confirmou a utilidade do Arduino na programação de controle, oferecendo uma solução que pode ser escalada para operações maiores utilizando o Controlador Lógico Programável (CLP). Ao detalhar o processo de programação, foi estabelecida uma temperatura inicial de 23°C (ambiente), representando uma temperatura baixa, e 31°C, como temperatura alta, garantindo que o sistema funcionasse sem a necessidade de altas temperaturas. A Figura 3 apresenta o protoboard com três LEDs: o LED verde indicava a válvula completamente aberta; o LED

vermelho indicava o fechamento parcial, reduzindo a chama sem interrompê-la totalmente; e o LED amarelo representava o estado neutro.

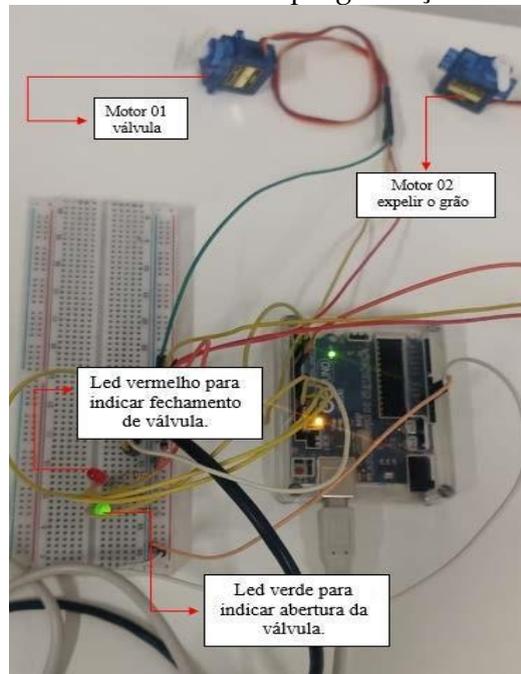
**Figura 3:** Ponto Neutro (Led Amarelo Ativo)



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Para a execução do restante do processo, dois LEDs adicionais – um verde e um vermelho – foram integrados ao sistema. O LED verde foi programado para acender quando a temperatura estivesse baixa de 23°C já programada, sinalizando a abertura da válvula para aumentar a chama. Já o LED vermelho foi designado para indicar o fechamento da válvula ao atingir temperaturas elevadas no caso de 30°C estabelecida pelo programador. Esse controle contribuiu para uma eficiência superior à intervenção humana, proporcionando maior precisão ao processo.

**Figura 4:** Funcionamento da programação em Arduino



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Na Figura 4 foram representados dois motores: o Motor 1, que simbolizou a válvula, e o Motor 2, que representou o motor basculante. No Motor 1, uma peça

acoplada ao seu eixo simulou a funcionalidade de abertura, fechamento e ponto neutro da válvula. Quando essa peça se deslocava para a direita, indicava a abertura para a passagem de gás; quando se movia para a esquerda, indicava o fechamento; e, quando permanecia no centro, indicava o ponto neutro. Esse movimento foi repetido pelo tempo determinado pelo operador.

Ao término do processo de torrefação, o Motor 2, que representou o motor basculante conforme mostra a Figura 5, foi acionado para inclinar a carcaça do torrador, permitindo a expulsão dos grãos da máquina. Após o basculamento, a válvula de controle, representada pelo Motor 1, foi ativada para interromper a passagem de gás, permitindo que a máquina resfriasse antes de ser utilizada novamente pelo operador.

**Figura 5:** Motor (2) em Basculamento



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

A programação desenvolvida para o Arduino também se mostrou flexível o suficiente para servir de base para futuras adaptações em sistemas CLP, pois o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, voltada principalmente para projetos, experimentação e ensino, o Arduino utiliza uma linguagem de programação simplificada, mas limitada para ambientes industriais. Já o CLP, é um dispositivo desenvolvido especificamente para automação industrial e opera com alta confiabilidade, como em altas temperaturas, umidade e interferências eletromagnéticas. O CLP possui módulos de entrada e saída robustos e é expansível para atender diferentes demandas é possível adaptar a lógica e os algoritmos desenvolvidos no Arduino para a programação de um CLP.

Desenhos técnicos detalhados foram elaborados, auxiliando na compreensão do modelo da máquina proposta, conforme mostrado na Figura 6. Esses desenhos apresentam as dimensões explicitadas na Tabela 4 e estão em escala reduzida, o que proporciona uma visualização clara do protótipo a ser realizado. Com base nesses desenhos, foi realizada a separação e o corte das peças.

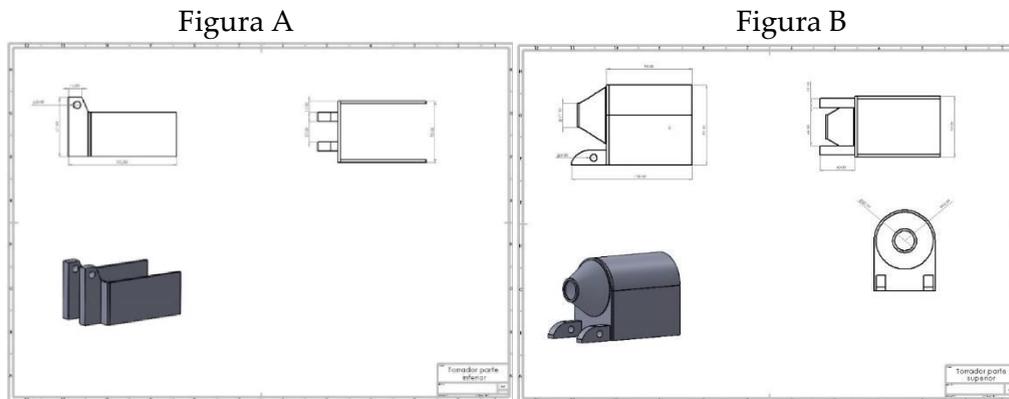
**Tabela 4:** Medidas do Torrador de Escala Reduzida em ½

Peças	Quantidade	Dimensões em [mm]	Espessura
Tampa Superior	1	R 35 x 35	3

Frontal	1	92,50 x 70	3
Dentes Frontais e inferiores	2	67,50 x 22,50	6
Dentes Frontais e superiores	2	17,50 x 40	6
Chapas laterais superiores	2	95 x 57,50	3
Bocal Frontal	1	D 65,25	3
Chapa Frontal inferior	1	70 x 50	3
Chapa Laterais inferior	2	97,50 x 50	3
Boca	1	D 27,5	-
Furos dos dentes	4	8	-

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

**Figura 6:** Base (A) e carcaça (B) do torrador



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Os resultados do protótipo, representado na Figura 6, mostraram que o sistema de controle baseado em Arduino manteve a eficiência e a precisão do controle automático. Verificou-se que o uso do Arduino facilita a aceitação da proposta de automação, eliminando a necessidade de intervenção humana no processo. Isso permite um maior controle sobre variáveis críticas, como temperatura e tempo, o que reduz a taxa de erro e eleva a qualidade do produto final.

**Figura 7:** Torrador montado em MDF com sistema de controle baseado em Arduino, ilustrando a integração dos componentes no protótipo.



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Embora o CLP seja a opção ideal para operações em grande escala, devido à sua robustez e capacidade de integração em sistemas complexos, o uso do Arduino como plataforma inicial de prototipagem demonstrou ser um método eficiente para validar conceitos e explorar a automação em escala reduzida. A metodologia de desenvolvimento do protótipo mostrou-se viável para aplicação em máquinas maiores, mantendo o princípio de controle lógico e programado, o que permite a evolução do sistema em etapas.

## 5 CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido por meio de protótipo apresentou sugestões de controle com precisão de temperatura e tempo, garantindo uniformidade na torra graças à automação. Essa abordagem tem potencial para ser escalada para processos maiores, aumentando a eficiência e a consistência operacional. A automação também reduz a necessidade de intervenção manual, evitando erros e otimizando o desempenho. O protótipo validou tanto o conceito quanto sua aplicação prática, comprovando a robustez técnica do sistema. Com ajustes específicos, o modelo pode ser adaptado para aplicações industriais, garantindo alta qualidade e confiabilidade.

A integração do sistema de controle baseado em Arduino possibilitou ajustes precisos e, mesmo como uma proposta inicial, atendeu ao objetivo de reduzir a interferência humana, além de configurar parâmetros essenciais como temperatura e tempo. Estruturado para operar de forma autônoma, o sistema mantém as configurações na programação, enquanto o Arduino proporcionou monitoramento contínuo das variáveis do processo, garantindo maior estabilidade e uniformidade.

Em conclusão, o estudo evidencia o potencial do Arduino como solução para automação de processos industriais em pequena e média escala. A implementação do

sistema contribuiu para a redução da necessidade de intervenções manuais, melhoria no controle operacional e nos resultados. Futuras pesquisas podem focar na migração para plataformas mais avançadas, como CLP, e na adaptação do sistema para diferentes escalas de produção, ampliando a inovação e sustentabilidade no setor industrial e cafeeiro.

## REFERÊNCIAS

BANZI, M.; SHILOH, M. **Primeiros passos com o Arduino**. 2. ed. [S. l.]: Novatec, 2015. 240 p.

DELFINO, A. F. R.; HUEBNER, R.; MAIA, A. A. T.; LIMA II, E. J.; CARVALHO, G. M. de A. Projeto e validação de um sistema de automação para controle de temperatura em máquinas de secagem de café. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18502–18517, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-473. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/25127>.

FREITAS, J. de S. **Otimização do controle automático de um torrador de café**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação lato sensu em Eficiência Energética) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, 2023.

FUKAMI, Y. Análise dos fatores obstrutivos para a digitalização e automação das técnicas artesanais através da análise narrativa da torrefação e extração do café. 2024. In: 83ª Conferência Anual da Sociedade Japonesa de Design. Departamento de Gestão Internacional de Design e Digital. **Anais [...]**. Universidade de Ciência de Tóquio, 2024.

ICAFFE. **Guia de análise sensorial do café: identificação de sabores e aromas**. 2. ed. San José: Instituto do Café da Costa Rica, 2020. Disponível em: <https://www.icafe.go.cr>.

LOPES, A. R.; ROMANO, C. R. T.; ALVES, F. S.; ALVAREZ, V. M. P.; MENDONÇA, A. T. B. B. de; SANTOS, D. A. Inovações Tecnológicas para Torrefação de Café: descobertas realizadas por meio de análise patentária. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 2, p. 589-603, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v14i2.37223>

LORING. **Roast Architect Data Sheet**. Loring Smart Roast Inc, Versão 0.2., 2018. Disponível em: <https://loring.com/>.

MELO, W. A importância da informação sobre o grau de torra do café e sua influência nas características organolépticas da bebida. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos/SP, p. 1-4, set. 2004.

MONTEIRO, M. A. M.; MINIM, V. P. R.; SILVA, A. F. da; CHAVES, J. B. P.. Influência da torra sobre a aceitação da bebida café. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 145-150, mar./abr. 2010.

SANTO, V. do E. **Controlador de temperatura para máquina de café expresso com arduino**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/7576>

SILVA, L.; PEREIRA, J. Aplicações práticas de CLPs em sistemas de controle industrial. **Revista Brasileira de Automação Industrial**, v. 1, pág. 45-56, 2019.

## ANEXO 1: Programação em Arduino

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Servo.h>
// Define a porta onde o sensor DS18B20 está conectado
#define ONE_WIRE_BUS 8
// Define as portas dos LEDs
#define LED_SUBINDO 10
#define LED_ESTAVEL 11
#define LED_DESCENDO 12
// Define as portas onde os motores de passo SG90 estão conectados
#define MOTOR_PIN_1 3
#define MOTOR_PIN_2 5
// Configura o barramento OneWire para se comunicar com o DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Passa a referência do OneWire para a biblioteca DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// Instancia os objetos Servo
Servo motor1;
Servo motor2;
// Variável para armazenar a temperatura anterior float tempAnterior = 0.0; // Variável
para contar o tempo unsigned long tempoInicial = 0; void setup() {
  // Inicia a comunicação serial para monitoramento Serial.begin(9600);
  // Inicia o sensor DS18B20 sensors.begin();
  // Verifica se algum sensor foi encontrado if (sensors.getDeviceCount() == 0) {
    Serial.println("Erro: Nenhum sensor DS18B20 encontrado!"); while(true); // Trava
o código, pois o sensor não foi detectado
  } else {
    Serial.println("Sensor DS18B20 detectado.");
  }
  // Configura as portas dos LEDs como saída pinMode(LED_SUBINDO, OUTPUT);
pinMode(LED_ESTAVEL, OUTPUT);
pinMode(LED_DESCENDO, OUTPUT);
  // Inicializa todos os LEDs como desligados digitalWrite(LED_SUBINDO, LOW);
digitalWrite(LED_ESTAVEL, LOW);
digitalWrite(LED_DESCENDO, LOW);
  // Anexa os motores às portas definidas motor1.attach(MOTOR_PIN_1);
motor2.attach(MOTOR_PIN_2);
  // Coloca os motores em posição neutra (parado) motor1.write(90);
motor2.write(90);
} void loop() {
  // Solicita a temperatura do sensor sensors.requestTemperatures(); // Lê a
temperatura do sensor

```

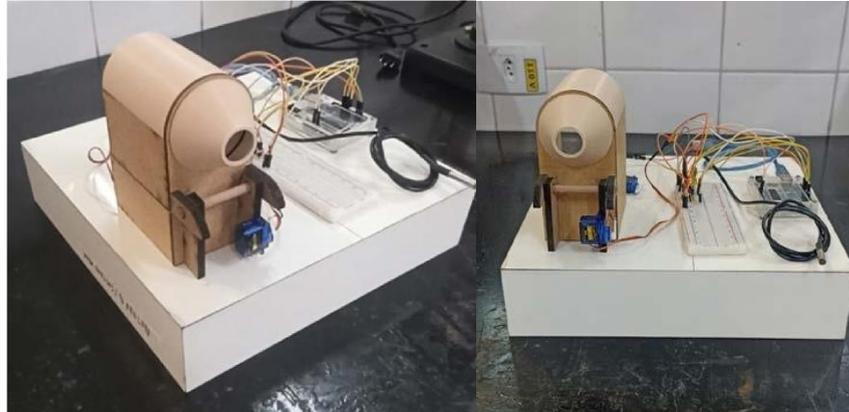
```
float tempAtual = sensors.getTempCByIndex(0);
// Verifica se a leitura foi bem-sucedida
if(tempAtual != DEVICE_DISCONNECTED_C) {
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(tempAtual);
  Serial.println(" °C");
  // Verifica se a temperatura está subindo, descendo ou estável  if (tempAtual >
tempAnterior) { // Temperatura subindo  digitalWrite(LED_SUBINDO, HIGH);
digitalWrite(LED_ESTAVEL, LOW);  digitalWrite(LED_DESCENDO, LOW);
  giraMotorLentamente(motor1, 90, 180); // Gira o motor 1 lentamente para a direita
} else if (tempAtual < tempAnterior) { // Temperatura descendo
digitalWrite(LED_SUBINDO, LOW);  digitalWrite(LED_ESTAVEL, LOW);
digitalWrite(LED_DESCENDO, HIGH);
  giraMotorLentamente(motor1, 90, 0); // Gira o motor 1 lentamente para a esquerda
} else {
  // Temperatura estável  digitalWrite(LED_SUBINDO, LOW);
digitalWrite(LED_ESTAVEL, HIGH);  digitalWrite(LED_DESCENDO, LOW);
  motor1.write(90); // Deixa o motor 1 parado
}
  // Atualiza a temperatura anterior  tempAnterior = tempAtual;
} else {
  Serial.println("Erro: Falha na leitura da temperatura!");
}
// Verifica se 10 segundos se passaram para acionar o motor 2  if (millis() -
tempoInicial >= 10000) {
  giraMotor360Lento(motor2); // Gira o motor 2 em um movimento maior e mais lento
tempoInicial = millis(); // Reseta o tempo para a próxima contagem de 10 segundos
}
// Aguarda 1 segundo antes de fazer a próxima leitura  delay(1000);
}
// Função para girar o motor lentamente
void giraMotorLentamente(Servo &motor, int posInicial, int posFinal) { int step =
(posFinal > posInicial) ? 1 : -1; // Determina a direção do movimento

for (int pos = posInicial; pos != posFinal; pos += step) {  motor.write(pos);
  delay(15); // Ajuste este valor para controlar a velocidade do motor (quanto maior,
mais lento)
}
}
// Função para fazer o motor 2 girar em um movimento maior e mais lento
void giraMotor360Lento(Servo &motor) {
  // Para simular um giro maior, vamos mover o motor de 0 a 180 graus lentamente,
várias vezes;  for (int pos = 180; pos >= 0; pos -= 2) {  motor.write(pos);
  delay(30); // Ajuste a velocidade do giro
}
}
```

```
delay(1000);  
for (int pos = 0; pos <= 180; pos += 2) {    motor.write(pos);  
    delay(30); // Ajuste a velocidade do giro  
}  
// motor.write(90); // Retorna o motor para a posição neutra }
```

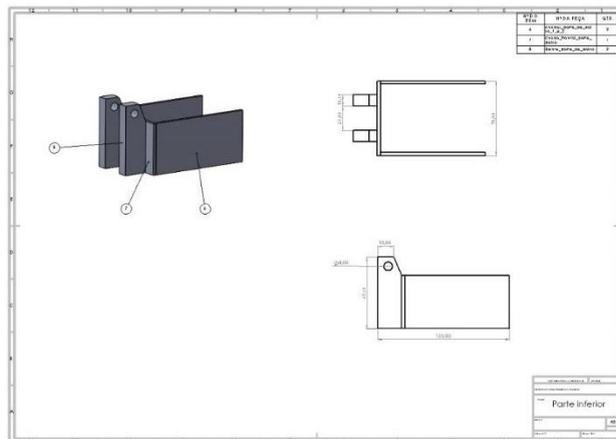
## APÊNDICE

**Figura 1:** Protótipo Montado



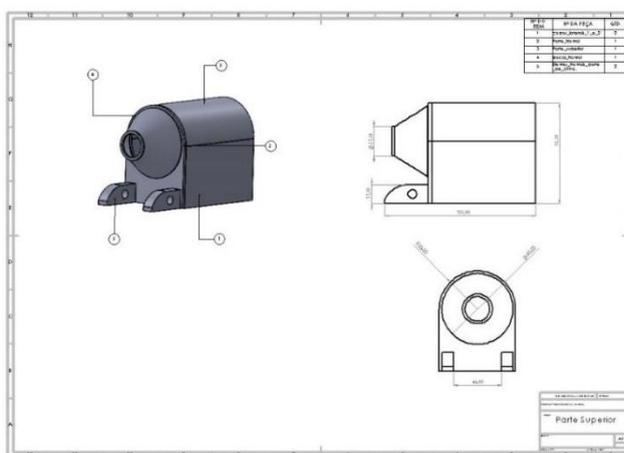
Fonte: arquivo pessoal, 2024.

**Figura 2:** Desenho Técnico Base do torrador



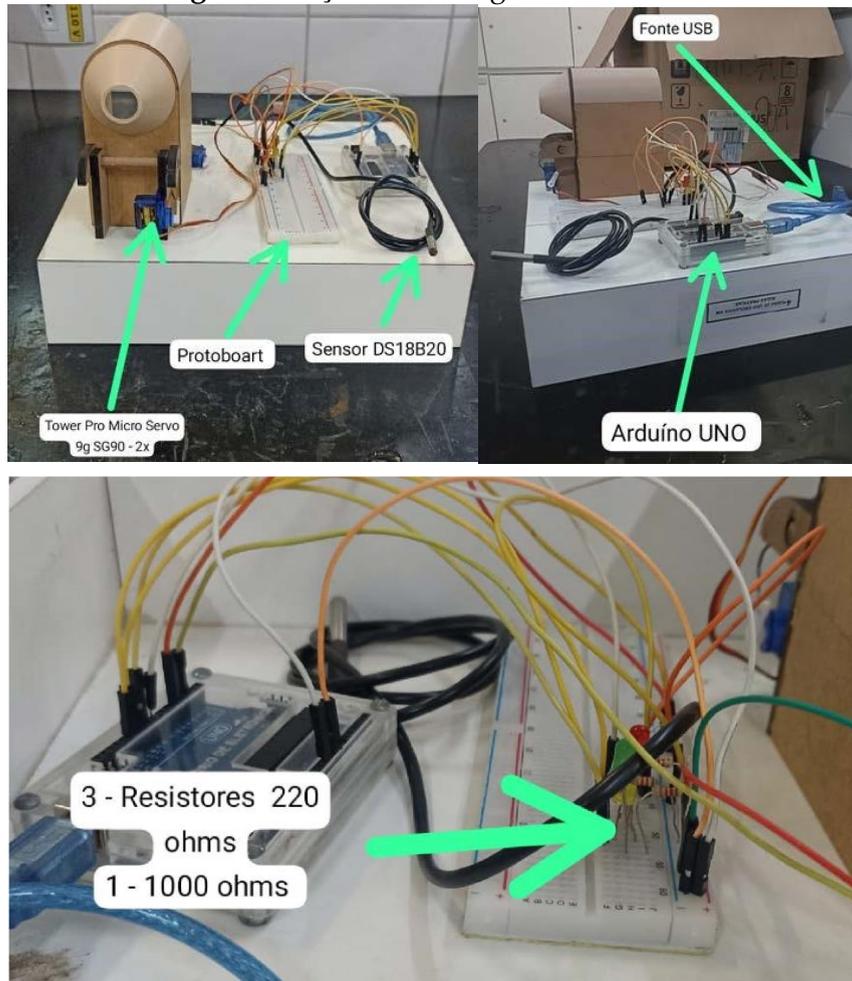
Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

**Figura 3:** Desenho Técnico da Carcaça do Torrador



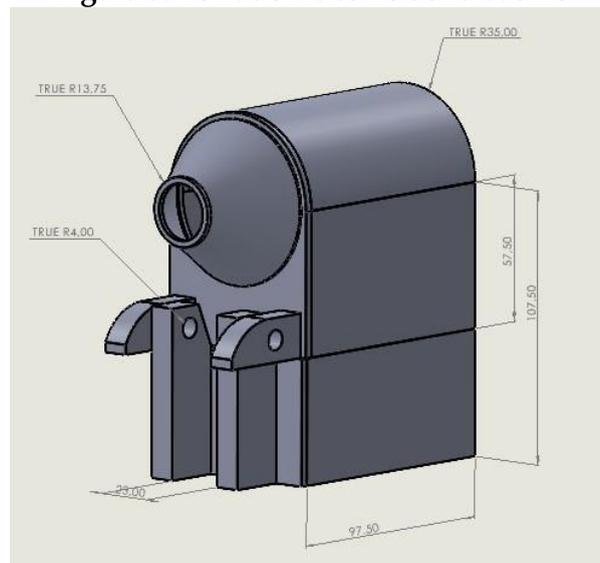
Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

**Figura 4:** Peças de montagem do Arduino



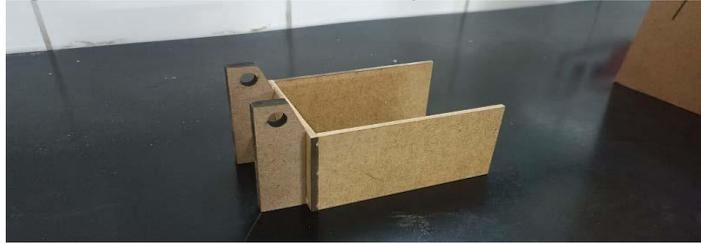
Fonte: arquivo pessoal, 2024.

**Figura 5:** Torrador feito no Solid Works



Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

**Figura 6:** Torrador em escala ½ já montado em MDF



Fonte: arquivo pessoal, 2024.