

## PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL E OPORTUNIDADES DE AUTOMAÇÃO

Alcione Benacchio<sup>1</sup>  
Janine Carvalho Padilha<sup>2</sup>  
Leonardo da Silva Arrieche<sup>3</sup>

### RESUMO:

A produção de cerveja artesanal é uma atividade em expansão, tendo seu consumo ampliado e ocupa uma parcela importante do mercado consumidor de cerveja. As micro cervejarias artesanais apresentam produtos singulares, apesar de não possuírem o mesmo grau de automação das grandes cervejarias. Isso as torna menos competitivas e mais sujeitas aos problemas de segurança alimentar e erros humanos. Estudos apontam que o impacto ambiental de uma micro cervejaria é proporcional ao de uma grande indústria cervejeira, no que diz respeito à produção de resíduos líquidos, sólidos e ao consumo de energia e água. Portanto, o objetivo deste trabalho é prover uma visão geral de questões ligadas à automação na produção, registro e coleta de dados referentes ao processo de produção de cerveja artesanal. E assim, apontar possibilidades que podem contribuir para aumentar a competitividade do produto, o desenvolvimento sustentável da atividade e reduzir os impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Coleta de Dados; Micro cervejaria Artesanal; Energia; Sustentabilidade; Desenvolvimento Sustentável.

### ARTISANAL BEER PRODUCTION PROCESS AND OPPORTUNITIES AUTOMATION

### ABSTRACT:

The production of craft beer is an expanding activity, with its consumption expanding and occupying an important portion of the beer consumer market. Craft microbreweries present unique products, despite not having the same degree of automation as large breweries. This makes them less competitive and more subject to food safety issues and human errors. Studies indicate that the environmental impact of a microbrewery is proportional to that of a large brewery, with regard to the production of liquid and solid waste and the consumption of energy and water. Therefore, the objective of this work is to provide an overview of issues related to automation in production, recording and data collection related to the artisanal beer production process. And so, point out possibilities that can contribute to increasing the competitiveness of the product, the sustainable development of the activity and reducing environmental impacts.

**Keywords:** Data Collection; Craft Microbrewery, Energy; Sustainability; Sustainable Development.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento mundial do mercado consumidor de cerveja provocou mudanças no ramo. Além das grandes indústrias, aumentou expressivamente a quantidade de micro cervejarias artesanais que atraem os consumidores por oferecerem produtos com

<sup>1</sup> Mestre em Informática pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutorando em Energia e Sustentabilidade na Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), E-mail: a.benacchio.2020@aluno.unila.edu.br.

<sup>2</sup> Doutora em Ciência dos Materiais pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e em Química pela Université de Rennes 1 (França). Professora do Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), E-Mail: janine.padilha@unila.edu.br.

<sup>3</sup> Engenheiro de Alimentos pela FURG, Doutor e Mestre em Engenharia Química pela UFSCar. Professor do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (PPGIES) e do curso de Engenharia Química do Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), E-mail: leonardo.arrieche@unila.edu.br.

características distintas (COLEN; SWINNEN, 2016; VILLACRECES; BLANCO; CABALLERO, 2022).

Muitos desafios se apresentam nesse ramo de atividade, principalmente do ponto de vista da competitividade de mercado, resultado da qualidade, quantidade e custo de produção. Dessa forma, novas pesquisas e desenvolvimento são demandadas.

Indústrias de grande porte possuem recursos tecnológicos e profissionais altamente capacitados para operarem suas plantas cervejeiras. Com isso, além de produzirem cervejas de qualidade, com valores competitivos de mercado, se beneficiam da segurança alimentar que sistemas automatizados proporcionam. As informações coletadas durante a produção alertam para situações que podem gerar risco tanto ao próprio sistema produtivo, quanto ao produto ou aos seus custos (LÓPEZ, 2020).

Diferente de grandes cervejarias, o monitoramento e a otimização dos recursos utilizados, principalmente por cervejeiros artesanais, é um processo complexo. No entanto, pode ser um fator determinante na qualidade do produto e aceitação do consumidor final.

A automação e o monitoramento dos processos podem auxiliar o pequeno produtor de cerveja. A coleta dos dados de produção nem sempre é possível quando realizada manualmente, sendo mais suscetível à falha humana (LÓPEZ, 2020).

A falta de implementação de recursos para leitura automática de dados referentes à produção impacta na coleta de dados históricos e, portanto, no conhecimento sobre os processos, o consumo de insumos, energia e água relacionados à produção. Tais informações são importantes, tanto para reproduzir um processo que deu certo, quanto para identificar falhas que podem comprometer a cerveja produzida.

Nesse contexto, esse artigo aborda a importância da cerveja artesanal no mercado consumidor, o processo de produção e dificuldades encontradas, além de vantagens que os microprodutores possuem em relação às grandes cervejarias. Na sequência, são apresentados hardwares de baixo custo utilizados para automação, bem como questões relacionadas às dificuldades no processo de automação e a coleta de dados na produção em micro cervejarias. Então, busca-se apresentar o uso de métodos e matérias primas que contribuem para a inovação na produção da cerveja artesanal de forma sustentável.

## 2 CERVEJA ARTESANAL - ASPECTOS SENSORIAIS E IDEIAS PARA NOVOS PRODUTOS

A grande indústria cervejeira, responsável pela maior produção no mundo, se concentra principalmente em produzir cervejas do tipo Lager, com um perfil sensorial mais homogêneo e neutro. Já as micro cervejarias produzem a cerveja artesanal predominante do tipo Ale, e chamam a atenção de consumidores que procuram por sabores diferenciados (MASTANJEVIC *et al.*, 2019).

Utilizando ingredientes modificados geneticamente, como lúpulos e leveduras, as micro cervejarias artesanais, produzem em menor escala e possuem vantagem sobre sistemas industriais, pois conseguem facilmente experimentar variações de processos, receitas e matérias primas. A adição de ingredientes diferenciados pode incluir café, frutas, legumes, ervas, pimentas, castanhas, entre outros. Essas adições resultam em uma maior variedade de sabores e proporcionam assim, resultados singulares (MASTANJEVIC *et al.*, 2019).

Outro exemplo da utilização de ingredientes diferenciados, é o estudo realizado por Schuina (2019) e colaboradores, com a substituição do ingrediente tradicional lúpulo, em uma

cerveja artesanal Lager, pela alcaçofra. De acordo com o estudo, a cerveja produzida com alcaçofra apresentou qualidade similar às cervejas Lager produzidas com o lúpulo.

Ainda considerando o uso de ingredientes alternativos, o estudo com o trigo-sarraceno de Brasil (2020) e colaboradores, proporcionou ao produto uma maior estabilidade coloidal, e redução de 4 vezes no teor de glúten. Isto demonstrou que o trigo-sarraceno pode ser utilizado como um adjunto eficiente com alto teor de proteínas e polifenóis. No entanto, o alto teor de polifenóis causa uma alteração de sabor e turbidez à medida que a cerveja envelhece, apresentando um aroma adocicado, picante e semelhante ao aroma de coco.

No estudo de Tozetto (2019) e colaboradores, foi realizada a produção de cerveja artesanal, com método tradicional de produção de cerveja pilsen utilizando gengibre *in natura* na etapa de maturação, adicionada em forma de raspas. Sua produção foi realizada com menor quantidade de malte para a obtenção de um produto de baixo teor alcoólico (3,40 °GL). Seus resultados apontaram que a cerveja artesanal com gengibre apresentou características semelhantes às amostras classificadas quanto à proporção de cevada maltada na cerveja, e a avaliação sensorial obteve um índice geral de aceitabilidade de 92%.

Como já mencionado anteriormente, as cervejas comerciais buscam sabores mais neutros ou mais próximos do padrão esperado para o estilo, enquanto nas cervejas artesanais é esperado que possuam algumas variações de sabores. Tais estudos apresentados (SCHUINA *et al.*, 2019), (BRASIL *et al.*, 2020) e (TOZETTO *et al.*, 2019), reforçam a teoria que o mercado consumidor de cerveja artesanal é atraído por sabores inovadores e diferenciados.

Ao se considerar que a produção de cerveja comercial é baseada em matérias primas restritas aos paladares das grandes massas, as micro cervejarias ficam abertas às oportunidades de experimentação de matérias primas e métodos produtivos inovadores. Do ponto de vista econômico, as cervejarias de grande porte buscam aprimorar seus métodos produtivos para que seus custos de produção sejam otimizados. Uma das ferramentas utilizadas pela indústria nesse processo é a automação, que auxilia na obtenção de um produto de boa qualidade e baixo custo, assim mantendo a competitividade de mercado.

Diferentemente, as cervejarias artesanais oferecem um produto com maior custo, porém, para um público restrito que é atraído por sabores diferenciados. A regulamentação relacionada à produção cervejeira, como impostos e legislação, cria diversas barreiras para pequenos produtores. Mesmo assim, atividades já regulamentadas como os *brewpubs* estimulam o consumo da cerveja artesanal que têm aumentado ao longo dos anos (BAHL; GUPTA; ELZINGA, 2021; FLETCHALL, 2016), demonstrando ser um mercado promissor.

Com essa crescente demanda, aperfeiçoar os métodos produtivos e garantir produtos competitivos é de vital importância para as micro cervejarias, do ponto de vista econômico. Por isso, com o desenvolvimento tecnológico, inovações podem trazer benefícios na otimização de recursos, garantindo assim crescimento econômico e sustentável.

### 3 PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL

De acordo com Palmer (2006), os principais ingredientes da cerveja são: água, malte, lúpulo e a levedura. Alterações e variações de qualidade ou de tipos desses ingredientes produzem cervejas diferentes. A água pode compor até 90% da matéria prima e nela serão dissolvidos os demais ingredientes.

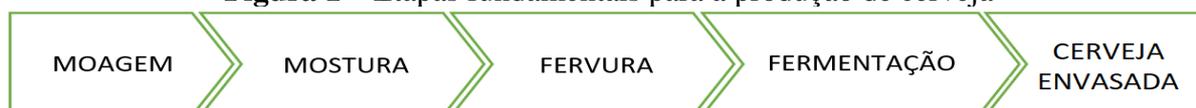
O malte consiste em grãos de cereais como a cevada, trigo e o centeio, que passaram por um processo de malteação. Esse processo ativa enzimas que facilitam a obtenção de

açúcares. O lúpulo, possui diversas variedades, oriundas de diversos locais do mundo, produz cones que são fonte de resinas responsáveis por agregar amargor, sabor e óleos essenciais aromáticos. A levedura determina o tipo de cerveja produzida, Lager ou Ale, as quais são fermentadas em temperaturas e tempos diferentes.

São utilizados diversos equipamentos para realizar o processamento desses materiais como, reatores, trocadores de calor, destiladores, absorventes, evaporadores, entre outros. Esses equipamentos são interligados por tubulações, por onde passam os produtos e subprodutos. O produto é obtido, envasado e distribuído. Esses processos devem garantir a segurança e produção de acordo com as especificações de cada produto (STEPHANOPOULOS, 1984). Portanto, uma cervejaria é um tipo de planta química, desenvolvida especificamente para a produção de cerveja.

As etapas fundamentais para a produção de cerveja são, moagem, mosturação, fervura e fermentação, conforme mostrado na Figura 1. Para melhorar a qualidade do produto, etapas como filtragem, resfriamento do mosto e clarificação também são realizadas para melhorar a qualidade do produto. Essas etapas podem ser realizadas utilizando diversos equipamentos e técnicas diferentes.

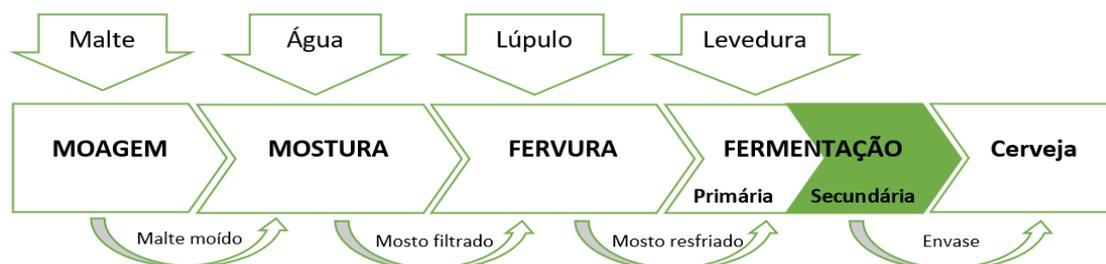
**Figura 1** – Etapas fundamentais para a produção de cerveja



Fonte: Elaboração própria.

O processo inicia-se pela moagem do malte, que abre os grãos e expõe o endosperma para a ação das enzimas e realização da mostura, que é o cozimento do malte. Este pode ser realizado de várias formas (PALMER, 2006), com alterações nas temperaturas para a extração e conversão de diferentes açúcares que estão presentes no malte. Essas variações de temperatura e tempo irão proporcionar a cerveja diferentes perfis durante o processo de fermentação. Ao final desta etapa, o mosto é filtrado e transferido para a tina de fervura, conforme mostrado na Figura 2.

**Figura 2** – Detalhamento das etapas



Fonte: Elaboração própria.

A etapa de fervura é responsável pelos processos de isomerização das substâncias do lúpulo, esterilização do mosto e coagulação das proteínas e resíduos do lúpulo. Diferentes lúpulos podem ser adicionados nessa etapa. O tempo de fervura pelo qual este irá passar irá conferir determinado amargor, sabor ou aroma à cerveja.

Durante a fervura, possíveis contaminantes biológicos são eliminados no processo e a coagulação das proteínas e resíduos podem decantar na tina, facilitando a separação desses resíduos na transferência para o fermentador. A eliminação desses resíduos é importante pois irão influenciar no sabor e limpidez do produto. O tempo de fervura varia dependendo do estilo da cerveja, mas geralmente são feitos em torno de 60 minutos, (PALMER, 2006; VIADER *et al.*, 2021).

Após a realização da fervura, o mosto é resfriado e transferido para o fermentador onde a levedura é inoculada. As temperaturas devem ser controladas e irão variar de acordo com o estilo e tipo da cerveja produzida, com temperaturas distintas para Lagers e Ales.

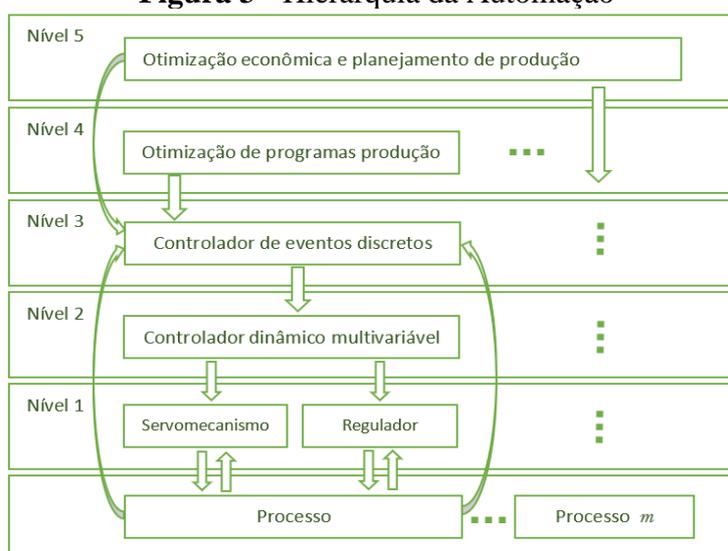
As cervejas do tipo Lager são fermentadas em temperaturas em torno de 10 °C e as Ales em temperaturas mais altas em torno de 18 °C (EATON, 2017). No entanto, algumas leveduras possuem temperaturas ótimas determinadas pelo fabricante.

Em seguida é iniciado o processo de fermentação secundária, também chamada etapa de maturação. Subprodutos oriundos da fermentação podem ser consumidos pelas leveduras, por isso em processos genéricos as temperaturas são elevadas em torno de 4 a 6 °C durante alguns dias. Essa elevação da temperatura, estimula as leveduras para que possam absorver esses subprodutos. Posteriormente a temperatura é reduzida a 2 °C, por um período que varia de acordo com o estilo, para que seja realizado o processo de clarificação da cerveja por decantação. Após concluída essas etapas é realizado o envase, (PALMER, 2006).

#### 4 EXPERIMENTOS COM AUTOMAÇÃO

A automação é a aplicação de recursos computacionais para realização de controle, monitoramento e medição de processos, auxiliando a diminuir custos e proporcionar maior segurança na produção. Pode ser aplicado em diversos ambientes, como a indústria química, petroquímica, têxtil e laboratorial (CAMPANA; OPLUSTIL, 2011).

**Figura 3 - Hierarquia da Automação**



Fonte: Castrucci; Bittar; Sales, 2011.

Sua utilização em equipamentos de difícil controle e monitoramento, como caldeiras, reatores e bombas, além de maior segurança, auxiliam a tornar os processos mais eficientes. Torna possível a substituição ou redução da necessidade de mão obra especializada, maior velocidade na produção e redução de desperdícios (CAMPANA; OPLUSTIL, 2011).

Apresentado na Figura 3, a representação hierárquica da automação possui 5 níveis. A solução de um problema pode ser realizada de forma específica ou generalizada (MORAES; CASTRUCCI, 2001), conforme Quadro 1.

**Quadro 1 – Níveis Hierárquicos**

Nível 1	Máquinas, dispositivos e componentes.
Nível 2	Controladores digitais, dinâmicos e lógicos. Ou também os relacionados a supervisão de processos. Concentram as informações do Nível 1, e as Interfaces Homem-Máquina.
Nível 3	Possibilita o controle do processo de produção da planta. Pode ser composto por bancos de dados com informações relacionadas à qualidade da produção, estatísticas de processo, produtividade e algoritmos de otimização da operação.
Nível 4	Nível incumbido pela programação e planejamento da produção. Efetua o controle e a logística dos suprimentos.
Nível 5	Encarregado pela administração dos recursos da empresa. Nível onde estão os softwares para gestão de vendas e gestão financeira. Área responsável pela decisão e o gerenciamento de todo o sistema.

Fonte: Moraes; Castrucci, 2001.

Dos processos de automação, pode ser destacada a automação flexível, associada ao uso de robôs e pode ser empregada para a realização de tarefas em diversos ambientes produtivos. Sua aplicação pode ser mais adequada de acordo com a finalidade de produção. No entanto, devido aos altos custos de programação e dos equipamentos necessários, sua aplicação é mais direcionada à grande indústria. Por isso, sua utilização em ambientes experimentais, e de pequenos lotes ainda é bastante restrita como descreve Lofving (2018) e colaboradores, em um estudo de caso na Suécia.

Um estudo realizado por Hancke (2020), aborda questões e problemas relacionados à automação automobilística e na aviação, e não trata do processo de automação para experimentações ou na produção cervejeira. Mas, sua análise aponta uma questão fundamental para a automação, que é a necessidade de intervenção humana, qualificação e familiaridade com o equipamento pelo operador. Portanto, operações automatizadas eventualmente podem requerer correções de curso, principalmente em situações de falhas em sensores ou atuadores, o que pode ocasionar em prejuízos na produção.

Mesmo em um processo de produção cervejeira, onde uma falha no processo possa não gerar uma situação crítica, pode haver problemas de segurança, prejuízos de custos de insumos, energia e tempo na produção.

Para essas situações (HANCKE, 2020), a intervenção humana pode contornar eventuais problemas. Por isso, existe a necessidade de que o equipamento seja projetado para que o operador possa realizar operações manuais e retomar a sequência de operações

automática. Além disso, o autor destaca a importância do registro dos dados para monitoria e melhoria dos processos.

Em um estudo sobre automação elétrica, Feng (2019) ressalta a importância para o desenvolvimento e competitividade para a China, país onde foi realizado o estudo. Esse argumento é amplamente aplicável, visto que a eficiência energética tem impacto sobre os custos de produção e melhora o desempenho econômico da indústria. Essa perspectiva também pode ser aplicada às micro cervejarias artesanais.

Utilizando um controlador lógico programável (CLP), Galvis-Loiza e Tangarife-Escobar (2020), desenvolveram uma micro planta automatizada, utilizando lógica *fuzzy* para diminuir o grau de incerteza e diminuir problemas com a estabilidade da temperatura durante o processo de mosturação e fervura. Com isso, conseguiu diminuir erros por imprecisões organolépticas e tornou o processo de extração de açúcares mais eficientes e melhor aproveitamento dos insumos. Seu estudo também demonstra uma economia de 9,56% de energia.

Com o objetivo de auxiliar na detecção de falhas em produtos alimentícios, foi desenvolvido o *e-nose*, que em Viejo (2020) e colaboradores, realizaram experimentos em cervejas artesanais com o intuito de avaliar aromas indesejáveis. Como já mencionado, custos de produção e automação são um problema relevante na produção artesanal, e o projeto foi concebido utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e aprendizado de máquina.

Esta tecnologia com custo acessível, é mais rápida para ser aplicada, pois não necessita o envio de amostras para análise em laboratórios. E por isso, viabiliza seu uso em micro cervejarias, que em muitos casos contam apenas o mestre cervejeiro como o responsável por toda a operação.

O equipamento foi desenvolvido utilizando um microcontrolador conversor analógico-digital (ADC) e sensores para medir, etanol, metano, monóxido de carbono, hidrogênio, amônia, álcool, benzeno, sulfato de hidrogênio, dióxido de carbono e temperatura de umidade.

A coleta dos dados amostrados é transmitida via USB para um sistema que utiliza interface gráfica. Então os dados são analisados utilizando técnicas de aprendizado de máquina. Os resultados demonstraram que a tecnologia para prever aromas de cerveja atuou de forma confiável e eficaz. A avaliação da qualidade da cerveja em tempo real também viabiliza a sua utilização em linha de produção, e evita o uso de equipamentos mais caros, lentos e ineficientes (VIEJO *et al.*, 2020).

Também utilizando plataformas de baixo custo, Andrade (2021) e colaboradores realizaram experimentos produzindo lotes de 20 litros, com a plataforma de *hardware* RaspberryPi. O *software* utilizado foi o CraftBeerPi, desenvolvido e disponibilizado à comunidade para utilização sem custos em licença. O estudo realizou a comparação de custos dessa plataforma com os controladores lógicos programáveis CLP, plataforma concebida para utilização na indústria. De acordo com os autores, o RaspberryPi e o *software* CraftBeerPi atenderam as necessidades do projeto, para automatização do processo de produção de cerveja artesanal.

Esses experimentos publicados, demonstram a viabilidade técnica da utilização de equipamentos de baixo custo para aplicação em ambientes experimentais. Ao analisarmos o ambiente de produção de cerveja artesanal, é possível perceber oportunidades de estudos e desenvolvimento de protótipos acadêmicos para resolver problemas deste setor.

#### 4.1 HARDWARES DE BAIXO CUSTO PARA AUTOMAÇÃO

A necessidade de criar ambientes eletrônicos, coletar e analisar dados do mundo real, impulsionou o desenvolvimento de *hardwares* de prototipagem e desenvolveu uma indústria focada em atender a essas necessidades. Esses equipamentos comumente utilizados de forma acadêmica, como os demonstrados anteriormente, também estão em uso experimental para outros fins, como demonstrado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Exemplos de Aplicações**

Área	Aplicações
Casas Inteligentes	sensores de movimento, temperatura e controladores de porta de garagem, fluxo de ar e irrigação.
Defesa	Sistema de radar ultra sônico
Transporte	controle de tráfego com sistemas de semáforo, integração aeromodelos e veículos de controle remoto em arena de robôs, sistemas de controles experimentais, estratégias e sensores.
Médico	detecção de câncer, sistemas de medição de batimento cardíaco, termômetro
Mineração de dados	indústria, defesa e saúde
Laboratório	sistemas para coleta de amostra, microscópio digital
Controle corporal	monitor de batimento cardíaco, atividade muscular, rastreamento ocular, reconhecimento e expressões faciais.

Fonte: Adaptado de Kaswan; Singh; Sagar, 2020.

Plataformas como Arduino e Raspberry Pi, são exemplos de equipamentos de baixo custo que podem ser utilizados para a prototipação. Sua capacidade de processamento, memória e interfaces varia de modelo para modelo. Esses equipamentos possuem entradas e saídas, digitais e analógicas. Podem ser ligados diretamente a energia, ou por se tratar de dispositivos de baixo consumo elétrico, também podem ser ligados a baterias por longos períodos.

Arduino é uma plataforma de *hardware* e *software*, que possibilita a entrada e saída de dados. O gerenciamento de entrada e saída desses dispositivos são chamados de GPIO (*General Purpose Input Output*) e podem gerenciar uma gama diversa de dispositivos. Pode ligar motores, *leds*, e ler dados de diversos tipos de sensores (PATEL; DEVAKI, 2019).

O desenvolvedor pode realizar o envio de instruções ao microcontrolador da placa através de programas desenvolvidos na linguagem de programação Arduino, que então irão processar as operações de acordo com os dispositivos de entrada e saída ligadas ao sistema (PATEL; DEVAKI, 2019).

Sensores podem ser aplicados para diversas soluções, como demonstrado no Quadro 3.

### Quadro 3 – Exemplos de Soluções

Aplicação	Descrição
Prova de localização	Um sensor GPS, pode coletar dados e possibilitar descontos a clientes frequentes, premiar pessoas que usem menos seus veículos.
Sensoriamento Participativo	Uso de diversos sensores para compor informações e são armazenados em um banco de dados central para posterior análise.
Detecção de Presença de Usuário	Pode ser aplicado para distinguir se uma atividade é realizada por uma pessoa ou por programa. E pode oferecer maior segurança da Internet.
Carros	Sensores podem evitar que um motorista embriagado ou mesmo uma criança tome a direção de um veículo. Ou impedir que jovens motoristas conduzam em alta velocidade.
Devolução de Itens	Garantir que um item, como carro ou livro seja está no local que deveria.
Detecção de Ruídos	Ruídos elevados podem prejudicar a audição, por isso sensores podem ser utilizados para desativar sistemas de som ou diminuir seu volume.
Monitoramento de Consumo de Energia	Sensores para monitoramento de consumo elétrico ligados a rede podem auxiliar a verificar se os valores cobrados pelas companhias elétricas estão corretos.

Fonte: Saroiu; Wolman, 2010.

Esta plataforma possui 25 modelos de placas e 18 *Shields*. Os documentos de especificação técnica providos pelo fabricante, também chamado de *datasheet*, apresenta todos os detalhes e recursos de cada modelo. Cabe ao desenvolvedor levantar suas necessidades e analisar o equipamento que pode atendê-las.

Projetos desenvolvidos nessa plataforma podem demandar diversos sensores e dispositivos eletrônicos. Uma forma de facilitar a ligação de sensores ou outros dispositivos eletrônicos a essas placas, é através da utilização de *Shields*.

Com recursos específicos, *Shields* são instalados sobre placas Arduino e podem expandir suas capacidades e adicionar novas funcionalidades. Os *Shields* podem ser instalados uns sobre os outros, dessa forma agrega maior número de funcionalidades no projeto.

Diferente do Arduino que é microcontrolador, o Raspberry Pi é um microcomputador. Seus recursos de processamento e rede, possibilitam a integração e processamento de vídeo e áudio e acessos a servidor. Possui sistema operacional e por isso realiza operações como um computador. No entanto, diferentemente de um computador, esse possui entradas GPIO e pode manipular sensores e outros dispositivos eletrônicos como o Arduino.

Possui 9 modelos de dispositivos e da mesma maneira que o Arduino, deve-se identificar as necessidades do projeto, para que então analisando o *datasheet* dos modelos, possa ser escolhido o modelo mais adequado para cada projeto.

Embora demandem análise, customização e programação específica para cada projeto. Diversos sensores compatíveis de baixo custo estão disponíveis. Sua utilização já é amplamente difundida na comunidade acadêmica. Por isso, com vários experimentos de automação já realizados, é possível assumir que estes equipamentos podem contribuir para automação das micro cervejarias.

## 5 ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

No que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, Harlem Brundtland, em 1987, emitiu o relatório *Nosso Futuro em Comum*, que também é conhecido como relatório de Brundtland. Este relatório define desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

No mesmo relatório, também define conceitos chave como de “necessidades”, em particular as necessidades básicas dos mais pobres, às quais, prioridade absoluta deve ser dada; “limitações”, que apresenta a ideia de limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social. E enfatiza que a definição acima inclui diversos aspectos impostos e classifica como nosso dever com a geração presente e as futuras (BRUNDTLAND, 1987).

Para Albanese (2017) e colaboradores, as cervejarias artesanais devem investir em novas técnicas de produção, que possam contribuir para a sustentabilidade, e reduzir o custo do produto. Também destaca que, utilizar insumos e outros cereais pode contribuir para melhorar a margem de lucro desses pequenos produtores e empresas e ainda reduzir o impacto ambiental.

Da perspectiva da sustentabilidade, Baiano (2021) classifica as cervejarias artesanais e industriais como não ambientalmente amigáveis, com relação ao consumo de água, energia, produção de efluentes e resíduos sólidos. O impacto ambiental das cervejarias artesanais são proporcionais aos provocados pelas grandes indústrias.

Outra questão apontada no estudo de Baiano (2021), é o impacto ambiental causado no consumo de combustíveis fósseis no transporte de matérias primas. Sugere como solução a utilização de ingredientes locais e orgânicos, principalmente na questão dos grãos que podem ser amplamente cultivados, diferentemente do lúpulo que depende de condições específicas para seu cultivo.

As embalagens também são um problema ambiental que contribuem de forma negativa para essa atividade, visto a grande quantidade de vidro e alumínio utilizado. E aponta que apesar do vidro consumir menos energia do que o alumínio para sua produção, este acaba levando vantagem na distribuição e transporte (BAIANO, 2021).

Do ponto de vista da sustentabilidade, Smil (2016) chama atenção que para racionalizar e moderar o consumo de materiais modernos, é necessário continuar a busca por oportunidades para reduzir o custo de energia ao longo da cadeia material. A disponibilidade e extração de recursos naturais se tornaram indispensáveis para a manutenção e o avanço da civilização. Aponta oportunidades para evitar o desperdício para economia material e de energia.

Essas oportunidades seriam aprimoradas por novos materiais e pelos contínuos avanços na relativa desmaterialização, ou seja, na redução do uso de materiais. Também destaca para as oportunidades de substituição de materiais, reciclagem aprimorada e reutilização, apresentando quatro categorias de redução de desperdício (SMIL, 2016):

- Melhor uso do material através do aprimoramento do design.
- Fabricação mais racional e menos dispendiosa;
- Melhorar e intensificar a reciclagem e;
- Recompensar substituições de materiais.

Ao considerar essas categorias de Smil (2016) na produção de cerveja artesanal, três categorias podem ser praticadas pelos produtores, no entanto recompensar as substituições de materiais é uma questão que vai além das possibilidades das micro cervejarias.

O uso de matérias primas cultivadas ou produzidas de forma local ou regional, pode ter impacto na redução dos custos de transporte e até mesmo do ponto de vista ambiental reduzir o uso de combustíveis fósseis. O estímulo à produção local traz vantagens do ponto de vista econômico e ambiental, mas para que isso ocorra, há a necessidade do desenvolvimento de uma cadeia produtiva para que os produtores de cerveja artesanal possam interagir.

Como já mencionado anteriormente, as micro cervejarias artesanais já buscam utilizar novas técnicas, matérias primas e insumos, com o intuito de obter novos sabores para um mercado consumidor interessado em cervejas diferenciadas. Por isso, as teorias de Smil (2016), sobre sustentabilidade se conciliam, e mostram o potencial que as micro cervejarias têm para se tornarem ambientalmente amigáveis.

### 5.1 PERSPECTIVAS PARA MICRO CERVEJARIAS

Mesmo com o crescimento no consumo de cerveja artesanal, e do número expressivo de micro cervejarias pelo mundo, a automação na produção da cerveja artesanal ainda não é amplamente empregada por esse segmento produtivo.

A vantagem que as micro cervejarias possuem em relação às grandes cervejarias é a variação de matérias primas e a modificação nos processos de produção, para a fabricação de cervejas diferenciadas. Processos automatizados podem se tornar uma barreira para essas micro cervejarias manterem seu potencial de inovação.

Grandes cervejarias possuem processos completamente automatizados. Por isso, produzir cervejas diferenciadas, pode demandar alterar a programação desses processos. Consequentemente, produzir uma nova cerveja pode se tornar dispendioso e arriscado, visto que produzem grandes lotes.

Enquanto a falta de automação dificulta alguns processos na produção artesanal, este possibilita que as micro cervejarias alterem de maneira mais simplificada seus métodos de produção, consequentemente podem produzir uma maior variedade de cervejas.

Nas micro cervejarias, por não possuírem muitos recursos de automação, os processos na maioria das vezes também não passam por mecanismos de monitoria sistemática. Ficando dependentes dos cuidados e atenção do mestre cervejeiro ou do operador responsável pela etapa de produção.

Processos automatizados dependem de pessoal especializado. Alterar os mecanismos de automação pode onerar os custos de produção. Mecanismos baseados em hardwares de baixo custo podem contribuir para baratear o processo. No entanto, os custos de mão de obra especializada para realizar essa customização ainda será uma despesa adicional.

Ao se levar em consideração que as cervejas artesanais consomem proporcionalmente os mesmos recursos da indústria cervejeira. Ainda é preciso ponderar que muitos dados são perdidos durante o processo produtivo. Por isso é difícil determinar com precisão o grau de eficiência do uso dos insumos, matérias primas, água, energia e quanto de resíduos líquidos e sólidos são gerados pelas micro cervejarias.

Para que as micro cervejarias possam utilizar recursos de automação, monitoria e coleta de dados dos processos, é necessário que esses equipamentos sejam de baixo custo, fácil operação e customização. Vale destacar, que os sistemas devem ser projetados para que seja possível a realização de intervenção humana durante a produção.

Esses requisitos são necessários para que estas micro cervejarias possam se beneficiar das vantagens da automação, mas sem perder a liberdade de produzirem cervejas diferenciadas e continuem inovando nos processos produtivos e uso de matérias primas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Micro cervejarias podem se beneficiar do processo de automatização nas etapas de produção da cerveja artesanal e em processos de análise e monitoramento de processos. Essas tecnologias são capazes de otimizar o tempo de produção, garantir as especificações das variáveis operacionais, a fim de garantir o produto dentro das especificações pretendidas e a identidade sensorial.

No entanto, automatizar uma micro cervejaria envolve complexidades atinentes aos custos de equipamentos, hardwares e pessoal capacitado necessário para sua montagem, manutenção e operação. A utilização de hardwares de baixo custo pode ser uma opção para que esses pequenos negócios se beneficiem das vantagens da automação e melhorar a eficiência de produção e qualidade dos seus produtos.

Fica evidente, que a automação pode desempenhar um papel importante no desenvolvimento sustentável e pode contribuir para melhorar a eficiência em diversas etapas da fabricação, como processos de produção, gerenciamento de energia, reutilização de água e resíduos.

Em geral, a automação pode ajudar as micro cervejarias a serem mais eficientes e sustentáveis. No entanto, cabe destacar que essas tecnologias devem ser utilizadas como parte de uma abordagem mais ampla que inclua mudanças de comportamento de consumo, como o uso embalagens recicláveis e biodegradáveis. Políticas públicas que incentivem o uso de ingredientes locais e orgânicos também tem papel importante.

## REFERÊNCIAS

ALBANESE, L. *et al.* Innovative beer-brewing of typical, old and healthy wheat varieties to boost their spreading. **bioRxiv**, p. 114157, maio 2017.

ANDRADE, A. A. *et al.* **Low Cost Solution for Home Brewing and Small Brewing Business Using Raspberry Pi** (J. R. H. and K. P. and K. M. and D. N. V. J. Pereira Luciana and Carvalho, Ed.) Proceedings of IDEAS 2019. **Anais...Cham: Springer International Publishing**, 2021

BAHL, H. C.; GUPTA, J. N. D.; ELZINGA, K. G. A framework for a sustainable craft beer supply chain. **International Journal of Wine Business Research**, v. 33, n. 3, p. 394–410, 1 jan. 2021.

BAIANO, A. Craft beer: An overview. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, v. 20, n. 2, p. 1829–1856, mar. 2021.

BRASIL, V. B. *et al.* Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) characterization as adjunct in beer brewing. **Food Science and Technology**, v. 41, maio 2020.

BRUNDTLAND, G. H. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future** (United Nations General Assembly document

A/42/427, Ed.) Oslo: 1987.

CAMPANA, G. A.; OPLUSTIL, C. P. Conceitos de automação na medicina laboratorial: revisão de literatura. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 47, n. 2, p. 119–127, 2011.

CASTRUCCI, P. DE L.; BITTAR, A.; SALES, R. M. **Controle Automático**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

COLEN, L.; SWINNEN, J. Economic Growth, Globalisation and Beer Consumption. **JOURNAL OF AGRICULTURAL ECONOMICS**, v. 67, n. 1, p. 186–207, 2016.

EATON, B. An Overview of Brewing. In: **Handbook of Brewing**. [s.l.] CRC Press, 2017.

FENG, Y. **Reliability Analysis of Electrical Automation Control Equipment** (L. Liu, C. Yang, & J. Ke, Eds.) **ADVANCES IN MATERIALS, MACHINERY, ELECTRONICS III. Anais...** AIP Conference Proceedings.2 HUNTINGTON QUADRANGLE, STE 1N01, MELVILLE, NY 11747-4501 USA: AMER INST PHYSICS, 2019.

FLETCHALL, A. Place-Making Through Beer-Drinking: A Case Study of Montana's Craft Breweries. **Geographical Review**, v. 106, maio 2016.

GALVIS-LOAIZA, O. M.; TANGARIFE-ESCOBAR, H. I. Design and implementation of a fuzzy temperature control for a craft beer production microplant using PLC/Diseno e implementacion de un control difuso de temperatura para microplanta de coccion de cerveza artesanal mediante PLC. **Visión electrónica**, v. 14, p. NA, 2020.

HANCKE, T. Ironies of Automation 4.0. **IFAC PAPERSONLINE**, v. 53, n. 2, p. 17463–17468, 2020.

KASWAN, K. S.; SINGH, S. P.; SAGAR, S. **Role Of Arduino In Real World Applications**, 2020.

LOFVING, M. *et al.* **Evaluation of flexible automation for small batch production** (M. Onori et al., Eds.) **PROCEEDINGS OF THE 8TH SWEDISH PRODUCTION SYMPOSIUM (SPS 2018)**. **Anais...** Procedia Manufacturing. AMSTERDAM, NETHERLANDS: ELSEVIER SCIENCE BV, 2018.

LÓPEZ, M. Contaminant Microbiota In Craft Beers. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 9, p. 1181–1186, maio 2020.

MASTANJEVIC, KRISTINA *et al.* Craft brewing - is it really about the sensory revolution? **KVASNY PRUMYSL**, v. 65, n. 1, p. 13–16, 2019.

MORAES, C. C. DE; CASTRUCCI, P. DE L. **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

PALMER, J. **How to Brew: Everything you need to know to brew beer right the first time**. 3. ed. [s.l.] Boulder-CO: Brewers Publications, 2006.

PATEL, A.; DEVAKI, P. Survey on NodeMCU and Raspberry pi: IoT. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 6, n. 4, p. 5101–5105, 2019.

SAROIU, S.; WOLMAN, A. **I Am a Sensor, and I Approve This Message**, Proceedings of the Eleventh Workshop on Mobile Computing Systems; Applications. **Anais...**: HotMobile'

10. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2010.

SCHUINA, G. L. *et al.* Alternative production of craft lager beers using artichoke (*Cynara scolymus* L.) as a hops substitute. **Food Science and Technology**, v. 40, maio 2019.

SMIL, V. **Making the Modern World: Materials and Dematerialization**. [s.l.] Lulu.com, 2016.

STEPHANOPOULOS, G. **Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice**. [s.l.] Prentice-Hall New Jersey, 1984.

TOZETTO, L. *et al.* Production and physicochemical characterization of craft beer with ginger (*Zingiber officinale*). **Food Science and Technology**, v. 39, maio 2019.

VIADER, R. P. *et al.* Optimization of beer brewing by monitoring  $\alpha$ -amylase and  $\beta$ -amylase activities during mashing. **Beverages**, v. 7, n. 1, 1 mar. 2021.

VIEJO, C. G. *et al.* Development of a low-cost e-nose to assess aroma profiles: An artificial intelligence application to assess beer quality. **Sensors and Actuators B Chemical**, v. 308, jun. 2020.

VILLACRECES, S.; BLANCO, C. A.; CABALLERO, I. Developments and characteristics of craft beer production processes. **Food Bioscience**, v. 45, fev. 2022.

*Recebido em 10/01/2023*  
*Aprovado em 28/02/2023*