UNiSA Universidade de Santo Amaro

Pluralistas

Automação eletropneumática de válvula guilhotina aplicada ao envase de café em Big Bags

Electropneumatic automation of a slide gate valve applied to coffee Fclling in Big Bags

Cassiano Aparecido Fressatto de Godoy[1]
Pedro Hitalo Rodrigues Luz[2]
Me. Vanderlei Araújo Militão[3]
Me. Ismael Mendonça Rezende[4]
Me. Antônio Jose do Couto Pitta[5]
Dr. Caique Movio Pereira de Souza[6]

Resumo

A cafeicultura brasileira exige soluções tecnológicas capazes de otimizar os processos de armazenamento e envase de café. Este trabalho propõe a automação eletropneumática da válvula utilizando atuadores pneumáticos e sistema de controle microcontrolado. A validação do protótipo conceitual foi realizada por meio de simulação computacional e análise teórica. Os resultados indicaram tempo de fechamento da válvula de 0,51 segundos e precisão teórica de pesagem de 0,1 kg. Conclui-se que o sistema automatizado apresentou maior rapidez, precisão e segurança operacional, atendendo aos requisitos das normas NR-10, NR-12 e NR-17.

Palavras chaves: Válvula guilhotina; Balança de bag; Cafeicultura.

Abstract

Brazilian coffee farming requires technological solutions capable of optimizing coffee storage and filling processes. This work proposes the electropneumatic automation of a slide gate valve using pneumatic actuators and a microcontroller-based control system. The conceptual prototype was validated through computational simulation and theoretical analysis. The results indicated a valve closing time of 0.51 seconds and a theoretical weighing accuracy of 0.1 kg. It is concluded that the automated system presented greater speed, precision, and operational safety, meeting the requirements of NR-10, NR-12, and NR-17

[1,2,4,5,6] Universidade Santo Amaro
[3]Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI

standards.

Keywords: Slide gate valve; Bag scale; Coffee farming.

Introdução

A cafeicultura brasileira possui elevada relevância econômica e histórica, sendo um dos principais setores do agronegócio nacional. O Brasil é reconhecido como o maior produtor e exportador de café do mundo, destacando-se pela elevada produtividade e pela crescente modernização dos processos agrícolas e industriais relacionados ao beneficiamento e armazenamento dos grãos (Silva, 2003). O avanço das tecnologias aplicadas ao agronegócio tem impulsionado a busca por soluções automatizadas capazes de aumentar a eficiência operacional, reduzir perdas produtivas e melhorar as condições de trabalho dos operadores.

Nos sistemas de armazenamento e envase de café em big bags, é comum a utilização de silos pulmão equipados com válvulas guilhotina responsáveis pelo controle do fluxo de grãos durante o processo de carregamento. Tradicionalmente, essas válvulas são acionadas manualmente, exigindo esforço físico constante dos operadores e favorecendo a ocorrência de falhas operacionais, baixa precisão de pesagem e riscos ergonômicos associados à repetitividade e posturas inadequadas de trabalho (Marcolan; Espindula, 2015).

Com o avanço dos conceitos da Indústria 4.0 e da chamada Cafeicultura 4.0, tecnologias relacionadas à automação industrial, sensores inteligentes, sistemas microcontrolados e atuadores pneumáticos passaram a ser incorporadas aos processos agrícolas e de beneficiamento do café, promovendo ganhos relacionados à produtividade, rastreabilidade e segurança operacional (Conectaragro, 2023). Nesse contexto, a automação de válvulas guilhotina representa uma alternativa tecnológica relevante para otimização do processo de envase de café em big bags.

Os sistemas eletropneumáticos destacam-se na automação industrial devido à elevada robustez, rapidez de acionamento e confiabilidade operacional. Atuadores pneumáticos associados a válvulas solenoides permitem controle eficiente de movimentos lineares em aplicações industriais, sendo amplamente utilizados em processos automatizados que exigem rapidez e repetibilidade. Além disso, a utilização de microcontroladores, como plataformas Arduino, possibilita o desenvolvimento de sistemas de controle de baixo custo e elevada flexibilidade para integração com sensores e dispositivos industriais.

Outro aspecto relevante relacionado à automação industrial refere-se à segurança do operador e à conformidade com normas regulamentadoras. A operação manual de válvulas em sistemas de carregamento de big bags pode expor os trabalhadores a riscos mecânicos, sobrecarga muscular e acidentes operacionais.

Dessa forma, a automação do sistema contribui diretamente para adequação às exigências das Normas Regulamentadoras NR-10, NR-12 e NR-17, relacionadas à segurança em instalações elétricas, segurança em máquinas e ergonomia ocupacional (Brasil, 2011a; Brasil, 2011b).

Diante desse contexto, este trabalho propõe a automação eletropneumática de uma válvula guilhotina aplicada ao envase de café em big bags, utilizando atuadores pneumáticos e sistema de controle microcontrolado. O estudo busca avaliar os ganhos relacionados à eficiência operacional, precisão de pesagem, segurança e ergonomia do processo, por meio de modelagem computacional, simulação pneumática e análise teórica do sistema automatizado.

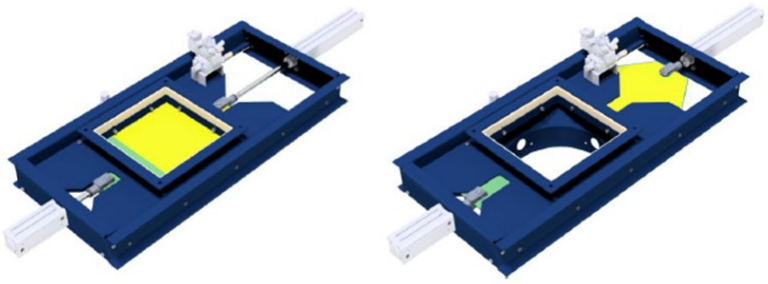
Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, desenvolvida no formato de estudo de caso industrial, com foco na automação de uma válvula guilhotina utilizada no processo de envase de café em big bags. A metodologia adotada baseou-se na identificação de uma necessidade operacional real relacionada ao acionamento manual da válvula, buscando desenvolver uma solução automatizada capaz de aumentar a segurança, a precisão de pesagem e a eficiência do processo industrial.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica envolvendo livros, artigos científicos, manuais técnicos e normas regulamentadoras relacionadas à automação industrial, pneumática, segurança em máquinas e ergonomia ocupacional. Foram analisadas especialmente as exigências técnicas previstas nas normas NR-10, NR-12 e NR-17, visando garantir que o sistema automatizado atendesse aos requisitos mínimos de segurança operacional e adequação ergonômica durante a operação do equipamento.

O desenvolvimento do projeto envolveu a modelagem tridimensional do conjunto mecânico da válvula automatizada, o dimensionamento do circuito eletropneumático e a elaboração da lógica de controle do processo de envase. Para isso, foram utilizados os softwares Autodesk Inventor para modelagem CAD 3D da estrutura mecânica, apresentado na Figura 1, FluidSim para simulação do circuito pneumático e Arduino IDE para desenvolvimento do firmware do sistema microcontrolado.

Figura 1 — Modelagem tridimensional da válvula guilhotina automatizada desenvolvida no Autodesk Inventor.

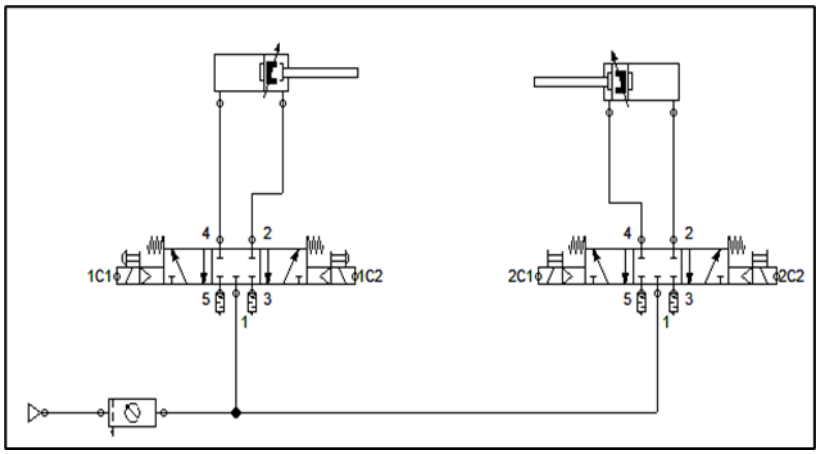


Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema automatizado foi projetado utilizando dois atuadores pneumáticos de dupla ação, sendo um responsável pelo fluxo principal de café e outro destinado ao ajuste fino do processo de envase, como mostrado na Figura 2. O acionamento pneumático foi realizado por válvulas solenoides 5/2 vias monoestáveis, configuradas para retornar automaticamente à posição de segurança em caso de falha elétrica, garantindo fechamento automático da válvula e maior segurança operacional do sistema.

Além dos componentes pneumáticos, o sistema utilizou um microcontrolador Arduino Mega como unidade central de processamento, responsável pelo gerenciamento das leituras das células de carga e pelo controle lógico dos atuadores pneumáticos. Foram empregadas quatro células de carga do tipo *Shear Beam* integradas a um transmissor de pesagem com comunicação via protocolo Modbus RTU, permitindo monitoramento contínuo da massa armazenada durante o envase dos *big bags*.

Figura 2 — Diagrama eletropneumático do sistema automatizado da válvula guilhotina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A lógica de funcionamento do sistema foi estruturada em duas etapas principais de operação: abertura rápida para enchimento inicial do *bag* e fechamento gradual por meio do sistema de ajuste fino, permitindo maior precisão no controle do fluxo de café durante o processo de pesagem. Essa estratégia possibilitou redução de desperdícios e aumento da precisão operacional do sistema automatizado.

A validação do protótipo conceitual foi realizada por meio de simulação computacional e análise teórica do comportamento pneumático e operacional do sistema. Foram avaliados parâmetros relacionados ao tempo de acionamento da válvula, precisão de pesagem, comportamento dos atuadores pneumáticos e resposta do sistema de controle microcontrolado. Os resultados obtidos nas simulações foram comparados com as condições operacionais típicas do processo manual utilizado anteriormente.

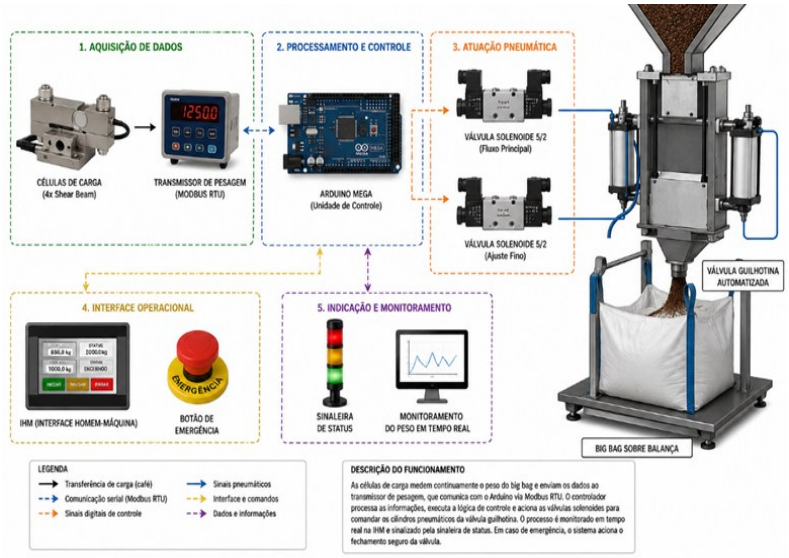
Além da análise operacional, também foi realizada avaliação qualitativa dos ganhos ergonômicos proporcionados pela automação da válvula. Foram considerados aspectos relacionados à redução do esforço físico do operador, eliminação de movimentos repetitivos e diminuição da exposição a riscos mecânicos durante o acionamento da válvula, conforme diretrizes estabelecidas pela NR-17.

Resultados e discussão

A automação eletropneumática proposta para a válvula guilhotina aplicada ao envase de café em big bags apresentou resultados satisfatórios relacionados à eficiência operacional, precisão de pesagem, segurança e ergonomia do processo industrial. A integração entre atuadores pneumáticos, válvulas solenoides, células de carga e sistema microcontrolado permitiu o desenvolvimento de uma solução automatizada capaz de otimizar o controle de fluxo do café durante o enchimento dos bags.

A arquitetura funcional do sistema automatizado foi estruturada de forma a integrar os componentes pneumáticos e eletrônicos em um processo de controle contínuo. O microcontrolador Arduino Mega foi responsável pelo gerenciamento das leituras das células de carga e pelo acionamento das válvulas solenoides que controlam os atuadores pneumáticos da válvula guilhotina. Essa organização funcional do sistema pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 — Arquitetura funcional do sistema automatizado de envase de café em *big bags*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema foi configurado para operar em duas etapas distintas de controle de fluxo. Na primeira etapa, ocorre a abertura total da válvula para enchimento rápido do *bag*, aumentando a produtividade operacional. Na segunda etapa, o sistema realiza o acionamento do atuador responsável pelo ajuste fino, reduzindo gradativamente o fluxo de café à medida que o peso programado se aproxima do valor desejado. Essa estratégia permitiu aumento significativo da precisão de pesagem e redução de desperdícios durante o processo de envase.

A simulação operacional do circuito pneumático realizada no *software* FluidSim permitiu validar virtualmente o comportamento dinâmico dos atuadores pneumáticos e válvulas solenoides durante os ciclos de abertura e fechamento da válvula guilhotina.

Os resultados obtidos nas simulações indicaram tempo total de fechamento da válvula de aproximadamente 0,51 segundos, demonstrando elevada rapidez de resposta do sistema automatizado. Esse desempenho representa uma melhoria significativa quando comparado ao processo manual convencional, reduzindo atrasos operacionais e aumentando a eficiência do processo de envase de café em *big bags*.

Além da melhoria no tempo de resposta, o sistema automatizado apresentou elevada precisão teórica de pesagem devido à integração entre as células de carga do tipo *Shear Beam* e o transmissor de pesagem com comunicação via protocolo Modbus RTU. O monitoramento contínuo da massa permitiu controle preciso do enchimento do *bag* durante o processo operacional. A comparação entre o processo manual e o sistema automatizado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 — Comparativo entre processo manual e sistema automatizado de envase de café em *big bags*.

Atuador	Curso	Tempo Estimado (Avanço)	Tempo Estimado (Recuo)
Principal	240 mm	0,33 seg	0,39 seg
Ajuste Fino	60 mm	0,06 seg	0,12 seg

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos indicam vantagens significativas da automação eletropneumática quando comparada ao processo manual tradicional. Enquanto o acionamento manual depende diretamente da percepção e do tempo de reação do operador, o sistema automatizado realiza o fechamento da válvula em aproximadamente 0,51 s, reduzindo atrasos operacionais e aumentando a repetibilidade do processo. A utilização das células de carga integradas ao sistema de controle possibilita monitoramento contínuo da massa armazenada, permitindo maior precisão no enchimento dos *big bags*. Em operações manuais, desvios de pesagem podem ocorrer devido à dificuldade de interromper instantaneamente o fluxo de produto, especialmente em materiais granulares como o café beneficiado. Além dos ganhos de produtividade, a automação reduz a dependência da intervenção humana, minimizando falhas operacionais e aumentando a padronização do processo de envase.

Com o objetivo de sintetizar os principais aspectos observados e destacar os ganhos proporcionados pela automação proposta, a Tabela 2 apresenta uma comparação qualitativa entre o processo convencional de envase manual e o sistema automatizado desenvolvido neste estudo. Os critérios avaliados contemplam desempenho operacional, precisão de pesagem, repetibilidade do processo, ergonomia e segurança, permitindo uma visão consolidada dos potenciais benefícios da solução aplicada ao contexto do agronegócio.

Tabela 2 — Comparação qualitativa entre o processo manual e o sistema automatizado

Parâmetro	Processo Manual	Sistema Automatizado
Acionamento	Manual	Automático
Tempo de Resposta	Depende do operador	0,51 s
Precisão de Pesagem	Variável	± 0,1 kg
Ergonomia	Baixa	Elevada
Risco Operacional	Médio	Reduzido
Repetibilidade	Moderada	Alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado na Tabela 2, a automação do processo apresenta vantagens em todos os critérios analisados, especialmente quanto à repetibilidade operacional, redução da dependência do operador e aumento da segurança do processo. Esses resultados reforçam o potencial da solução proposta para aplicações em sistemas de envase de produtos agrícolas que demandam controle de massa e elevada confiabilidade operacional.

Outro aspecto relevante observado durante a análise do sistema refere-se à segurança operacional proporcionada pela automação. A utilização de válvulas solenoides monoestáveis garantiu retorno automático da válvula à posição fechada em caso de falha elétrica, permitindo que o sistema operasse em condição segura conforme os requisitos estabelecidos pela NR-12. Além disso, o projeto previu a utilização de botão de parada de emergência e proteções fixas para impedir acesso às partes móveis dos atuadores pneumáticos.

Os ganhos ergonômicos proporcionados pela automação também se destacaram nos resultados obtidos. A eliminação da necessidade de acionamento manual da válvula reduziu significativamente o esforço físico do operador, minimizando riscos relacionados à sobrecarga muscular, movimentos repetitivos e posturas inadequadas durante o processo de envase. Essa melhoria contribui diretamente para adequação às diretrizes ergonômicas estabelecidas pela NR-17.

Sob o ponto de vista ergonômico, a eliminação do acionamento manual da válvula reduz significativamente a exposição do operador a movimentos repetitivos e esforços físicos associados ao processo de envase. Em operações contínuas, tais esforços podem contribuir para fadiga muscular e aumento da probabilidade de erros operacionais.

Em relação à segurança, a adoção de válvulas solenoides monoestáveis e dispositivos de parada de emergência proporciona uma condição de falha segura (fail-safe), garantindo o fechamento automático do sistema em situações de interrupção elétrica ou emergência operacional. Essa característica aumenta a confiabilidade do processo e contribui para o atendimento dos requisitos previstos pela NR-12.

Além disso, a automação reduz a necessidade de contato direto do operador com partes móveis do sistema, diminuindo a exposição a riscos mecânicos e favorecendo ambientes de trabalho mais seguros. Além dos ganhos relacionados à segurança e ergonomia, o sistema demonstrou potencial de aplicação prática em processos industriais ligados ao agronegócio e armazenamento de grãos. A utilização de componentes comerciais de baixo custo, como plataformas Arduino e atuadores pneumáticos convencionais, favorece a viabilidade econômica da solução proposta, permitindo futura implementação em pequenas e médias unidades de beneficiamento de café.

Mesmo diante dos resultados positivos, algumas limitações foram identifica-

das durante o desenvolvimento do projeto. Embora os resultados obtidos indiquem potencial de aplicação industrial, a ausência de validação experimental em ambiente real representa uma limitação importante deste estudo. As análises realizadas basearam-se em simulações computacionais e dimensionamentos teóricos, os quais fornecem estimativas consistentes do comportamento esperado do sistema, mas não contemplam integralmente fatores presentes em operações industriais, como variações de fluxo, desgaste mecânico, vibrações estruturais e interferências ambientais.

A validação do sistema foi realizada por meio de simulação computacional e análise teórica, sendo recomendada a construção futura de um protótipo físico funcional para validação experimental completa em ambiente industrial real. Aspectos relacionados à calibração das células de carga, manutenção pneumática e estabilidade da comunicação serial também devem ser considerados em aplicações industriais contínuas.

Os resultados obtidos demonstram que a automação eletropneumática da válvula guilhotina representa uma solução tecnicamente viável para modernização do processo de envase de café em big bags. A integração entre pneumática, sensores e sistemas microcontrolados proporcionou ganhos significativos relacionados à produtividade, precisão operacional, segurança e ergonomia, alinhando-se aos conceitos da automação industrial e da Cafeicultura 4.0.

Conclusão

A automação eletropneumática da válvula guilhotina aplicada ao envase de café em *big bags* demonstrou potencial significativo para modernização e otimização do processo industrial de armazenamento e expedição de grãos. A integração entre atuadores pneumáticos, válvulas solenoides, células de carga e sistema microcontrolado possibilitou o desenvolvimento de uma solução automatizada capaz de aumentar a eficiência operacional, melhorar a precisão de pesagem e reduzir a dependência de acionamentos manuais durante o processo de envase.

Os resultados obtidos por meio das simulações computacionais indicaram desempenho satisfatório do sistema automatizado, apresentando tempo de fechamento da válvula de aproximadamente 0,51 segundos e precisão teórica de pesagem de 0,1 kg. Esses resultados demonstram maior rapidez e controle operacional quando comparados ao processo manual convencional, contribuindo diretamente para redução de desperdícios e aumento da padronização no enchimento dos *big bags*.

Além dos ganhos relacionados à produtividade, o projeto apresentou melhorias importantes nos aspectos ergonômicos e de segurança operacional. A eliminação do acionamento manual da válvula reduziu significativamente o esforço físico exigido do operador, minimizando riscos associados a movimentos repetitivos e posturas inadequadas durante a operação do sistema. A utilização de válvulas monoestáveis

e dispositivos de parada de emergência também contribuiu para adequação do sistema às exigências das normas NR-10, NR-12 e NR-17.

Outro aspecto relevante refere-se à viabilidade técnica e econômica da solução proposta. A utilização de componentes comerciais amplamente disponíveis, como plataformas Arduino, válvulas pneumáticas e sensores industriais, favorece futuras aplicações práticas em pequenas e médias unidades de beneficiamento de café. Além disso, o projeto demonstra o potencial da integração entre pneumática, eletrônica e automação industrial aplicada ao agronegócio, alinhando-se aos conceitos da Cafeicultura 4.0 e Indústria 4.0.

Os resultados obtidos demonstram que a estratégia de controle em duas etapas, composta por enchimento rápido e ajuste fino, apresentou potencial para aumentar a precisão do processo sem comprometer a produtividade operacional. A integração entre pneumática, instrumentação e sistemas microcontrolados mostrou-se adequada para aplicações de automação no agronegócio, especialmente em processos que exigem controle simultâneo de fluxo e pesagem. Sob a perspectiva da Engenharia de Automação, a solução proposta evidencia como tecnologias de baixo custo podem ser empregadas para modernizar processos tradicionalmente manuais, contribuindo para o avanço dos conceitos da Cafeicultura 4.0 e da Indústria 4.0.

Apesar dos resultados positivos obtidos, o estudo apresenta limitações relacionadas à validação exclusivamente teórica e computacional do sistema. Dessa forma, recomenda-se como trabalho futuro o desenvolvimento de um protótipo físico funcional para realização de testes experimentais em ambiente industrial real, permitindo análise prática do desempenho operacional, durabilidade dos componentes e estabilidade do sistema automatizado em operação contínua.

Conclui-se, portanto, que a automação da válvula guilhotina representa uma solução tecnicamente viável para aumento da eficiência, segurança e precisão do processo de envase de café em *big bags*, contribuindo para modernização dos sistemas industriais utilizados no setor cafeeiro brasileiro.

Referências

ALFA INSTRUMENTOS. Manual técnico transmissor de pesagem modelo 2710. São Paulo, 2024.

ARDUINO. Arduino Mega 2560 Rev3 Datasheet. Disponível em: https://docs.arduino.cc. Acesso em: 26 maio 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, 2011a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-12 – Segurança no Trabalho em Má-

quinas e Equipamentos. Brasília, 2011b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-17 – Ergonomia. Brasília, 2011c.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CONECTARAGRO. Cafeicultura 4.0 e tecnologias aplicadas ao agronegócio. Disponível em: https://conectaragro.com.br. Acesso em: 26 maio 2026.

FESTO. Manual técnico válvula solenoide MFH-5-1/4. São Paulo: Festo Brasil, 2023.

FLUIDSIM. Software para simulação de circuitos pneumáticos e eletropneumáticos. Disponível em: https://www.festo-didactic.com. Acesso em: 26 maio 2026.

MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. Cafeicultura brasileira: tecnologia e sustentabilidade. Brasília: Embrapa Café, 2015.

SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003.

SMC CORPORATION. Pneumatic actuator systems for industrial automation. Disponível em: https://www.smc.com. Acesso em: 26 maio 2026.