



Automação da aplicação de defloculante em uma indústria cerâmica de moagem descontínua

Bruno da Coreggio Redivo¹

João Mota Neto ²

Eron da Silva³

Fernando Guessi Placido⁴

Resumo: A indústria cerâmica busca constantemente um processo eficiente, com foco em automação e soluções que tornem as etapas ágeis e padronizadas. Muitas fábricas com estruturas antigas enfrentam desafios práticos para adotar sistemas totalmente automatizados, especialmente por limitações físicas e de layout que inviabilizam a instalação de equipamentos modernos. Nessas situações, parte do processo produtivo permanece sob responsabilidade dos operadores, como é o caso da dosagem de aditivos utilizados na preparação da barbotina. Por ser uma atividade manual, essa etapa está sujeita a uma série de variações, tanto pela dificuldade em garantir precisão na quantidade dosada quanto pela diferença de critério entre os profissionais envolvidos. Isso compromete a padronização do processo e resulta em instabilidade nos parâmetros da barbotina, como viscosidade, densidade e teor de resíduo. Essas oscilações afetam diretamente o desempenho do processo produtivo e a qualidade final do produto cerâmico, exigem retrabalho e ajustes frequentes. A repetição constante dessa tarefa, somada à postura inadequada exigida em muitas situações, favorece o surgimento de lesões ocupacionais. Nesse contexto, a automação da adição de água e defloculantes em moinhos descontínuos representa uma alternativa promissora, aplicável mesmo em plantas com limitações estruturais. A automação assegura repetibilidade na dosagem, reduz perdas causadas por ajustes manuais e contribui diretamente para a consistência da suspensão cerâmica. Esse ganho impacta a estabilidade da barbotina e a eficiência do processo. Investir em soluções automatizadas, mesmo que de forma parcial, traz ganhos em qualidade, produtividade e segurança operacional, beneficiando todo o sistema produtivo e gerando resultados concretos para a indústria cerâmica.

Palavras-chave: automação, defloculante, processo cerâmico, tempo de moagem, eficiência energética.

1 INTRODUÇÃO

A partir da Segunda Revolução Industrial, as máquinas e a automação passaram a ser assuntos abordados no cotidiano das indústrias, que buscam

¹ Graduando em Tecnologia em Automação Industrial. E-mail: bruno_redivo@outlook.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: joao.neto@satc.edu.br

³ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: eron.silva@satc.edu.br

⁴ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: fernando.guessi@satc.edu.br



constantemente a facilidade dos processos, a redução do tempo de operação e, conseqüentemente, a redução de custos. Segundo Dathein (2003), a Segunda Revolução Industrial apresentou vastos desenvolvimentos aplicados à indústria elétrica e química, surgiu a produção em massa de bens padronizados, a organização científica do trabalho e processos automatizados.

Segundo Júnior, Chagas e Fernandes (2003), para agilizar os processos e aumentar a competitividade das indústrias, via da tecnologia é a automação industrial. Nesse contexto, um dos setores que se destaca em busca de inovação tecnológica é o de revestimentos cerâmicos. Segundo Bustamante e Bressiani (2000) há alguns ramos no Brasil que se destacam, seja por sua vasta concorrência ou por sua relevante importância para o país em sua contribuição no PIB.

Por ser um segmento em crescente desenvolvimento, as indústrias cerâmicas caminham em direção à automação dos seus processos. Um processo em constante aperfeiçoamento é a moagem das matérias-primas. Segundo Oliveira e Hotza (2011), a moagem das matérias-primas pode ocorrer através de via seca e via úmida, que consistem em processos sem adição de água e com adição de água, respectivamente. Na moagem via úmida, ocorre a adição de aditivos na massa cerâmica. Conforme Oliveira e Hotza (2011), esses aditivos alteram as condições de moagem e influenciam a reologia das suspensões cerâmicas. Nesta etapa do processo, são adicionados aditivos como defloculantes; geralmente, utiliza-se o silicato de sódio.

A adição do silicato de sódio na moagem descontínua pode ocorrer de maneira manual, em que os operadores adicionam o defloculante dentro de um tanque com escala volumétrica, e é direcionado para os moinhos. Essa adição manual dos defloculantes pode resultar em redução da eficácia do processo, desgaste prematuro de equipamentos ou estruturas e gera problemas ergonômicos para os funcionários. A possibilidade de automação da adição de defloculante facilita a eficiência do processo, a diminuição do risco ergonômico, a padronização das características e uma aplicação homogeneizada nas cargas efetuadas.

A realização manual da dosagem de água e defloculante na moagem via úmida representa um ponto crítico no processo cerâmico. A falta de precisão nessa etapa compromete as características da barbotina, ocasiona instabilidade em parâmetros como viscosidade e densidade, além de gerar perdas de matéria-prima e tempo produtivo. Essa operação também impõe condições ergonômicas inadequadas

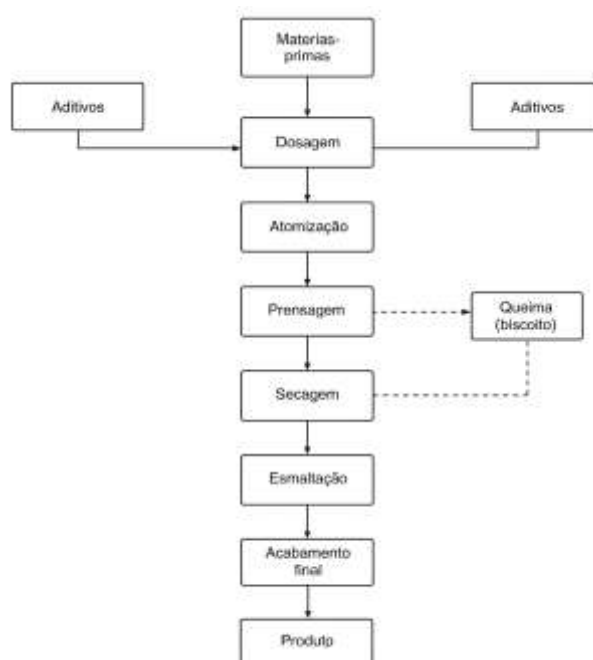
aos operadores, aumentando o risco de lesões ocupacionais. Diante desse cenário, justifica-se a necessidade de desenvolver uma solução automatizada para essa etapa.

O projeto tem como objetivo o avanço tecnológico em uma indústria cerâmica cujo processo de moagem é descontínuo e semiautomático, onde as matérias primas são adicionadas de forma automática, a dosagem de água e defloculante ocorre manualmente pelo operador. Busca-se a automação da dosagem de água e defloculante para reduzir desperdícios, tempo de produção, riscos ergonômicos e garantir uma produção estável e padronizada.

2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica, o Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo (ANFACER, 2022). A indústria cerâmica possui demasiados tipos de processos, desde a utilização da matéria-prima bruta na fabricação da massa até o produto final sendo encaixotado. DAROLT et al., 2010 comentam que nas empresas cerâmicas são utilizados dois tipos de moagem, a moagem por via seca e por via úmida. O processo a úmido ocorre conforme Figura 1.

Figura 1: Fluxograma de moagem via úmida



Fonte: Oliveira e Hotza (2011)

O processo a úmido consiste na moagem das matérias-primas em presença de água e a subsequente atomização (secagem por spray) da suspensão ou barbotina obtida (Oliveira; Hotza, 2011). O equipamento utilizado no processo de moagem é o moinho de bolas, que reduz o tamanho das partículas e otimiza o consumo energético (Ribeiro; Abrantes, 2001). Nesta moagem o processo pode ocorrer em moinhos rotativos contínuos ou descontínuos juntamente com adição de água e outros defloculantes.

2.1 MOAGEM DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Trombini et al. (2011) comentam que a etapa de moagem é fundamental no processo cerâmico, pois influencia diretamente a qualidade e o desempenho dos produtos finais. O objetivo de qualquer processo de moagem é a diminuição do tamanho das partículas de um material sólido e mistura de um modo uniforme vários materiais. O moinho de bola é o equipamento comumente utilizado na indústria cerâmica, útil para a moagem de matérias-primas (Ribeiro; Abrantes, 2001) Existem diferentes métodos de moagem utilizados na preparação de massas cerâmicas, cada um com características específicas quanto à operação, eficiência e qualidade do produto final. Os principais métodos conhecidos para a preparação de massas de revestimentos cerâmicos são os de moagem a seco, semiúmida e úmida. O moinho de bolas está representado na Figura 2.

Figura 2: Moinho de bolas



Fonte: O autor (2025)



Até o início dos anos 1970 os moinhos de bola foram predominantes na moagem a seco de matérias-primas de distintas indústrias. Para capacidades moderadas esta é uma máquina confiável e de fácil manutenção, porém o consumo em energia elétrica é relativamente elevado. A moagem a seco, segundo Kayaci *et al.* (2017), utiliza moinhos pendulares ou verticais de rolos, seguidos por um granulador. Apesar de sua simplicidade e menor consumo de energia, esse sistema pode comprometer a qualidade dos produtos finais devido à dificuldade de controle da forma e distribuição granulométrica dos grânulos.

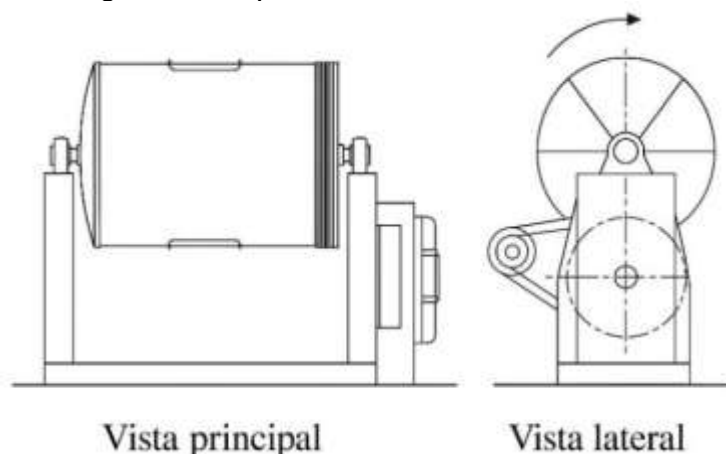
A moagem via semiúmida combina aspectos da moagem a seco com a introdução de uma suspensão cerâmica. Essa técnica proporciona uma mistura com alta densidade e menor volume de água, favorecendo a economia de energia na etapa de evaporação durante o processo de atomização. Este sistema reduz os custos de produção de grânulos já que a suspensão cerâmica preparada tem menor conteúdo em água que a suspensão cerâmica original. Isto resulta em menor consumo de gás natural para a eliminação da água da suspensão (Kayaci *et al.*, 2017, p. 7).

O processo de produção de revestimentos cerâmicos por moagem via úmida é um dos mais difundidos no meio cerâmico mundial e no Brasil. Trombini *et al.* (2011) comentam que a técnica é eficiente, pois reduzirá significativamente a presença de aglomerados e pode ser utilizado para a mistura de pós. Este processo pode ser por moagem contínua ou descontínua e utiliza a água para homogeneizar a mistura uniforme de diversos materiais e em seguida é necessário fazer a sua retirada por atomização (secagem por *spray*).

Na moagem via úmida contínua, as operações ocorrem com mínimas interrupções. A carga é introduzida continuamente no moinho através de sistemas automáticos de alimentação, e inclui a adição controlada de defloculantes. Essa configuração favorece a estabilidade do processo e a uniformidade do produto. (Oliveira; Hotza, 2011, p. 39)

Segundo Oliveira e Hotza (2011), é prática comum em unidades produtivas utilizar moinhos de bolas. A Figura 3 mostra um esquema desse tipo de equipamento. Esse método, embora simples, exige maior controle operacional para garantir a qualidade da barbotina produzida.

Figura 3: Esquema de um moinho de bolas



Fonte: Ribeiro e Abrantes (2001).

Oliveira e Hotza, (20011, p. 87) afirmam que:

A dosagem é uma operação que determina as quantidades relativas das matérias-primas que farão parte da composição de uma massa formulada. Os sistemas de dosagem adotados envolvem máquinas e instalações que apresentam níveis de automação diferentes. No caso do processo de moagem intermitente para a dosagem das matérias primas, podem ser utilizados sistemas com acionamentos mecânicos tradicionais ou sistemas sofisticados que empregam caixas de pesagem dotadas de células de carga deformáveis.

2.2 ADITIVOS NA MASSA CERÂMICA

Oliveira e Hotza, 2011 comentam que os aditivos têm a finalidade básica de alterar as condições de moagem e influenciar, portanto, a reologia das suspensões cerâmicas, e melhorar o rendimento dos atomizadores e de pó granulado ou atomizado obtido. Ortega *et al.* (1997) comentam que os defloculantes podem atuar segundo três mecanismos básicos: estabilização eletrostática, estérica e eletroestérica. Silva (2011), complementa que os principais defloculantes utilizados, está o silicato de sódio, devido às suas propriedades originais como: estabilidade química, viscosidade, capacidade de polimerização, modificador de cargas superficiais etc.

2.3 AUTOMAÇÃO APLICADA À INDÚSTRIA

A automação industrial revolucionou o setor produtivo ao redor do mundo. Isso ocorreu com a integração de avanços tecnológicos fundamentais da engenharia,



como sistemas de controle, robótica e inteligência artificial, aos processos fabris. No Brasil, a adoção dessas tecnologias tem crescido, impulsionada pela necessidade de aumentar a eficiência energética, otimizar o controle de processos e reduzir custos operacionais (Silva, 2020).

A implementação de sistemas de automação industrial e informatização da produção contribuiu significativamente para a melhoria da eficiência, competitividade e permitiu maior controle dos processos produtivos e redução de falhas (Fernandes; Leite, 2002). Seu principal objetivo é "enxugar" a produção: reduzir o trabalho e o tempo utilizado para a execução, diminuir custos e substituir tarefas manuais por aplicações de software (Roig, 2017)

A automação de processos industriais é uma abordagem estratégica para melhorar a eficiência e a precisão na produção. Ao utilizar tecnologias avançadas como sensores, controladores lógicos programáveis e sistemas de supervisão, a automação permite um controle preciso e em tempo real dos processos industriais. (Suarez *et al.*, 2024) A automação de máquinas e equipamentos é a realização de movimentos automáticos, repetitivos e mecânicos. Araújo Júnior, Chagas e Fernandes (2003, p. 1) explicam que “a automação industrial consiste em manipular vários processos na indústria por meios mecânicos e automáticos”.

Com isso, é possível compreender como a automação se traduz em ganhos de qualidade, produtividade e redução de custos. Automatizar processos produtivos exige elevado investimento para aquisição das tecnologias e é uma das alternativas para reduzir os custos de produção (Costa; Araújo; Oliveira, 2024). Proporciona melhoria da qualidade, otimização de espaços, redução de perdas, diminuição no tempo de produção e, conseqüentemente, menores custos (Parede; Gomes, 2011).

2.3.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável (CLP), criado na década de 1970 para automatizar o acionamento sequencial de relés em linhas de manufatura, evoluiu de equipamentos isolados para sistemas integrados que suportam controle analógico em processos contínuos e permitem programação remota em redes industriais.

De acordo com Warnock (1997), o CLP pode ser entendido como um sistema eletrônico digital projetado para ambientes industriais, sendo capaz de armazenar instruções em memória programável e executar funções de controle, como

lógica, sequenciamento, temporização e aritmética, por meio de módulos de entrada e saída digitais ou analógicos (Pupo, 2002) O CLP é representado na Figura 4

Figura 4 – CLP industrial



Fonte: O autor (2025)

2.3.2 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Segundo Moraes (2001), as Interfaces homem-máquina, ou IHMs, são sistemas supervisórios desenvolvidos para proporcionar uma interface amigável, eficiente e ergonômica entre sistemas complexos de automação e os operadores responsáveis pela sua operação. Elas devem ser projetadas considerando os operadores como usuários finais e representando fielmente o processo real. No contexto dos CLPs, as IHMs podem ser configuradas tanto para enviar sinais de atuação quanto para realizar monitoramento do sistema. Além disso, operam em dois modos distintos.

Pupo (2002) comenta que a IHM (Interface Homem-Máquina) é um componente vital em sistemas de automação industrial, otimizando a interação entre operadores e máquinas. Por meio de interfaces intuitivas, ela centraliza o monitoramento, controle e visualização de dados em tempo real, garantindo processos mais ágeis e inteligentes. A IHM é representada pela Figura 5.

Figura 5 – Interface homem-máquina



Fonte: O autor (2025)

2.3.3 ACIONAMENTOS PNEUMÁTICOS

Os sistemas automatizados industriais são inseridos e projetados no ambiente industrial com altos níveis de sincronização e precisão nas máquinas. Esses sistemas combinam tecnologias de diferentes áreas da engenharia, principalmente da mecânica, pneumática e hidráulica, que são fundamentais para o desenvolvimento e funcionamento eficaz dos projetos automatizados. Segundo Negri, 2011 diante dos desafios industriais atuais, que exigem sistemas capazes de realizar ações rápidas, seguras e confiáveis, os sistemas pneumáticos vêm ganhando destaque por sua capacidade de ampliar a eficiência operacional.

Um sistema eletropneumático combina tecnologias elétrica e pneumática para controlar e automatizar processos industriais. Este sistema permite movimentos rápidos e precisos, essenciais em aplicações como linhas de montagem e sistemas de transporte automatizados (MUNDO DA ELÉTRICA, 2025). Esses sistemas são conjuntos de elementos físicos associados que utilizam o ar comprimido como meio de transferência de energia que permite a transmissão e controle de forças e movimentos (Bollmann, 1997). Parente *et al.* (2020, p. 102) complementam que estes sistemas são críticos para a operação das plantas de processo.

A pneumática é responsável pelo estudo sistemático da utilização do ar comprimido na tecnologia de acionamento, comando e controle de sistemas automáticos. Os sistemas pneumáticos são responsáveis por transformar a energia proveniente do ar comprimido em alguma forma de trabalho a ser realizado por um de seus dispositivos.



Parente *et al.*, 2020 comentam que:

Nos dias de hoje, ele executa funções de controle e outras funções avançadas que incluem, mas não se limitam, a otimização, o agendamento e o planejamento das operações industriais. A automação dos processos garante a medição de parâmetros apropriados, a análise das situações operacionais, a exploração de oportunidades lucrativas, o cálculo e a tomada de ações de controle.

Suas principais características incluem baixo custo de instalação e manutenção, elevada confiabilidade, versatilidade e uma excelente relação entre potência, peso, agilidade e rapidez (Doll *et al.*, 2015). Essas qualidades tornam os sistemas pneumáticos amplamente utilizados na automação industrial, especialmente em aplicações que exigem posicionamento preciso, como as operações de *pick and place*, nas quais o movimento ocorre entre duas posições específicas e é controlado por paradas mecânicas (Bollmann, 1997).

A confiabilidade, a segurança e a eficiência do processo produtivo como um todo depende do correto funcionamento de todos os elementos do sistema de automação industrial e, em particular, de todos os componentes das malhas de controle. (Parente *et al.*, 2020, p. 102). Os sistemas pneumáticos, amplamente empregados na automação industrial, são reconhecidos por sua confiabilidade e eficiência devido à sua estrutura simples e robusta, que reduz a necessidade de manutenção e aumenta a segurança operacional, uma vez que utilizam ar comprimido, fonte não inflamável, minimizando riscos no processo produtivo (Mundo Pneumático, 2025).

2.3.4 SENSORES

Sensores são dispositivos essenciais na automação industrial, responsáveis por captar grandezas físicas do ambiente, como pressão, vazão, nível, temperatura, entre outras, e convertê-las em sinais elétricos ou digitais que possam ser interpretados pelos sistemas de controle. Esses sinais são fundamentais para o monitoramento e a automação precisa dos processos produtivos (Silva *et al.*, 2022).

Conforme d'Aquino 1997, um sensor é aquele componente responsável pela conversão do fenômeno real, em sinais, elétricos ou eletrônicos, sendo estes analógicos ou digitais. Sensores podem ser analógicos ou digitais e de diversos tipos, sendo alguns deles de vazão e de nível.



2.3.5 SENSORES DE VAZÃO

Existem diferentes sensores de vazão, podendo-se descrever: vazão volumétrica, vazão mássica e vazão gravitacional (Sonntag; Borgnakke; Van Wylen, 2003). Segundo Santos (2018), a medida da vazão de um fluido é requerida para diversas aplicações, tanto para o acompanhamento do processo quanto na determinação de quantidades, para fins de inventários contábeis ou comercialização.

Na classificação dos medidores de vazão, a característica comum entre eles é que proporcionam uma medida instantânea da vazão. Nessa categoria encontram-se a maioria dos medidores comumente usados na indústria, destacando-se entre eles os eletromagnéticos, os baseados em pressão diferencial, os do tipo turbina, os ultrassônicos e os de Coriolis (Parra Sejas, 2016). Um sensor é responsável por detectar a vazão e pode variar dependendo do tipo de medidor. Alguns exemplos de sensores incluem rotores, tubos de Pitot e orifícios. Cada tipo de sensor é adequado para diferentes aplicações e condições de medição (BASU, 2018).

De acordo com Beeby *et al.* (2004), “para se verificar a medida de fluido que percorre um canal ou microcanal, dentro de um aparelho, requerem certos tipos de controladores com medidores. Nesse caso, são feitas medidas de vazão volumétrica, que se refere à avaliação do volume pelo tempo, ou a medida da vazão em massa, que avalia essa quantidade de massa pelo tempo ou a velocidade do fluido que observa através de medida a distância pelo tempo”.

2.3.6 SENSORES DE NÍVEL

Os sensores de nível possuem uma ampla área de aplicação e são utilizados nas indústrias de diversas áreas. Isso se deve ao crescimento exponencial da necessidade de controlar o volume de materiais no dia a dia. Morris e Langari (2012) comentam que: “A medição de nível de líquidos pode ser realizada por dois métodos: diretos e indiretos. O método direto é baseado na aferição da distância entre a superfície do líquido e o fundo do tanque. No método indireto, são utilizadas técnicas de medição de grandezas que possuem relacionamento com o nível, entre elas capacitância, condutância, pressão, empuxo, dentre outras.”

Nas indústrias, um dos sensores utilizados é de visor de vidro ou policarbonato, sendo uma opção econômica e prática. No entanto, esse tipo de sensor impõe limites nas medições, pois o controle é feito manualmente. A fragilidade do material é um fator de risco (Silveira, 2018) A variação de pressão em um tanque e o choque físico em contato com o visor podem causar falhas, resultar em vazamentos ou rompimento do visor e gerar risco devido aos estilhaços do material, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Tanque de dosagem de silicato.



Fonte: O autor (2022)

Sensores de nível ultrassônicos operam ao emitir pulsos de ondas sonoras de alta frequência em direção à superfície do material cujo nível se deseja medir. O tempo que essas ondas levam para retornar ao sensor é utilizado para calcular a distância até a superfície do material. Esse método é amplamente aceito por diversos pesquisadores devido à sua precisão e aplicabilidade em diferentes contextos industriais (Zhang et al., 2022).

Sensores de nível ultrassônicos são amplamente utilizados em diversas indústrias devido à sua capacidade de medir níveis de líquidos e sólidos com precisão, sem contato físico com o material. Essa característica é especialmente vantajosa em ambientes onde o contato direto com o produto pode ser indesejável, como na indústria alimentícia e farmacêutica. A instalação simples e a manutenção reduzida tornam os sensores ultrassônicos uma escolha econômica e eficiente para monitoramento de níveis em tempo real.” (Laboratório de Vazão, 2023)



3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A seguir, descreve-se o procedimento experimental adotado para a implementação do sistema automatizado de dosagem de água e defloculante no moinho conhecido como Moinho 1, em uma indústria cerâmica que opera com o processo de moagem descontínua e via úmida, localizada na região Sul de Santa Catarina.

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados materiais e equipamentos ao longo de toda a implantação do sistema, que compõem a base para o funcionamento adequado e eficiente do processo automatizado. A seguir, são apresentados os principais componentes empregados.

- O CLP escolhido para o projeto foi o Siemens S7-1200, ideal para aplicações de pequeno e médio porte, com possibilidade de expansão por meio de módulos adicionais. A Siemens é reconhecida pela robustez dos seus equipamentos, confiabilidade da marca e suporte técnico abrangente.
- A IHM utilizada foi a Delta DOP-107BV de 7". Esse modelo entrega funcionalidades comuns em IHMs de categorias superiores, mas com um preço acessível, tornando-se uma excelente opção para projetos industriais.
- Para a medição de nível, foram utilizados sensores ultrassônicos BUS005Y, modelo BUS M30E2-PPC-09/035-S92K-G1. Esses sensores são indicados para ambientes onde sensores ópticos costumavam apresentar falhas, como em situações em que o ambiente apresenta poeira, vapor ou sujeira. Este modelo integrou-se facilmente ao CLP Siemens S7-1200.
- Na medição de vazão, foi utilizado um medidor de vazão eletromagnético DN80 da marca Phelps Máquinas com sensores magnéticos ultrassônico, capaz de medir a vazão volumétrica real com alta precisão e excelente repetibilidade. Esses sensores exigiram pouca manutenção e ofereceram operação confiável, mesmo em fluidos que continham partículas ou contaminantes, além de apresentarem maior durabilidade.



- O sistema também contou com válvulas borboleta em aço inox 304, equipadas com atuadores pneumáticos de 2". O uso de aço inox garantiu resistência mecânica e compatibilidade com aplicações que exigiam padrões elevados de higiene. Os atuadores pneumáticos permitiram o acionamento automático das válvulas, sem necessidade de intervenção manual, sendo ideais para sistemas comandados por CLP ou controle remoto. Dentre suas vantagens estiveram a resposta rápida, baixa manutenção e segurança de operação em ambientes potencialmente explosivos, por não utilizarem eletricidade.
- Complementaram a estrutura do sistema os reservatórios para aditivos e defloculantes, o tanque de moagem, além dos cabos elétricos, conexões e o painel de comando, que foram responsáveis pela integração e controle de todos os dispositivos citados.

Esses materiais e equipamentos foram selecionados e considerou-se os recursos disponibilizados pela indústria cerâmica onde a implantação foi realizada. Foram considerados critérios como compatibilidade com os sistemas existentes, facilidade de integração, custo-benefício, disponibilidade no mercado e suporte técnico do fabricante.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

O projeto de automação iniciou-se com a coleta de dados de dez cargas realizadas em diferentes dias, com a mesma formulação de massa em todas as amostragens. Foi registrado o tempo total de moagem e o modelo do motor utilizado e acompanhado a rotina operacional durante a coleta manual.

Após a coleta de dados em manual, iniciou-se a instalação de sensor de nível ultrassônico no reservatório de defloculante do Moinho 1, que permitiu acompanhar em tempo real o volume disponível. Para controlar com precisão a dosagem de água, silicato e outros aditivos foi utilizado sensores de vazão. Os componentes sensores, válvulas solenoides, bombas e atuadores pneumáticos, foram conectados a um CLP, modelo Siemens S7-1200, Interface Homem-Máquina, que facilita a operação e o monitoramento do sistema.

A lógica de controle foi desenvolvida para que o processo de dosagem comece automaticamente assim que o carregamento de matérias-primas no tanque



de moagem for identificado pelos sensores. A quantidade dosada é definida conforme as leituras fornecidas pelos sensores de vazão, e o direcionamento dos insumos é feito por meio das válvulas e atuadores. O sistema encerra a dosagem ao atingir os níveis estabelecidos previamente no programa. Depois da montagem, foram realizados testes de calibração para ajustar os sensores e garantir a confiabilidade das leituras. Em seguida, testou-se o sistema em situações reais de operação. Durante esses testes, foram coletados dados como o tempo necessário para cada dosagem, a precisão nas medições e possíveis falhas, permitindo realizar os ajustes necessários na programação e na configuração dos equipamentos.

Foram coletados dados de dez cargas em dias distintos após a instalação, utilizando a mesma formulação de massa em todas as amostragens. Os dados obtidos incluíram o tempo de moagem e acompanhamento da rotina operacional após a automação do processo.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Com os dados coletados do tempo em horas de moagem, os resultados obtidos foram aplicados na equação do consumo energético (kWh), onde a eficiência do motor W22 IE3 utilizado neste caso é de 94,6%, conforme especificado pela WEG, e a potência do motor é de 55 kW.

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{P \times T}{\eta}$$

Onde:

P: Potência nominal (kW)

T: Tempo (h)

η : eficiência do motor

Com os dados de tempo de moagem e consumo energético em mãos conforme apresentados na Tabela 1, iniciou-se a análise de dados. Os dados obtidos permitiram a comparação do tempo de moagem antes e após a implantação do sistema, e o cálculo do desvio padrão para avaliar a variabilidade entre as moagens.

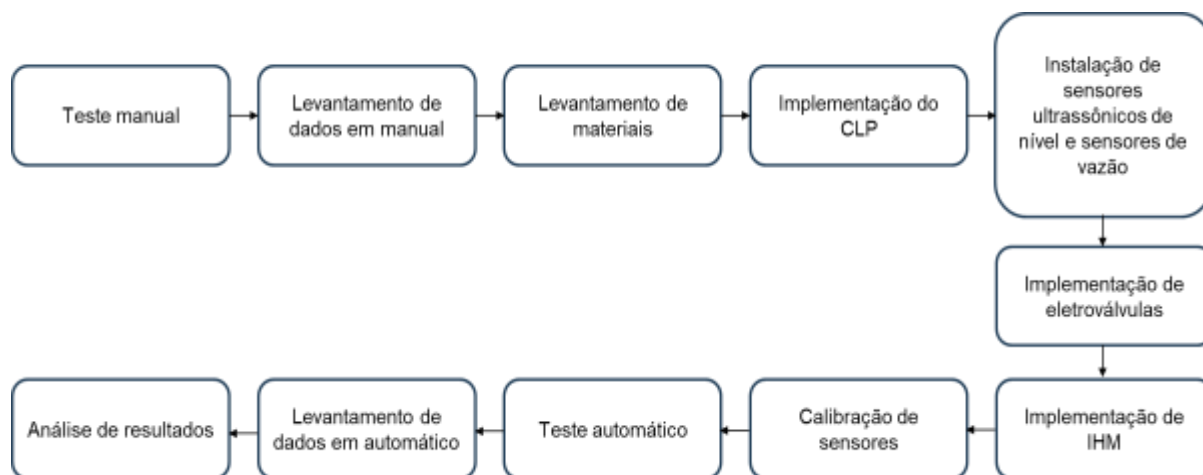
Tabela 1 – Dados obtidos

Coleta de Dados	Tempo Manual (min)	Consumo Energético manual (kWh)	Tempo Automático (min)	Consumo Energético Automático (kWh)
1 ^a	530,00	513,6	483,00	468,0
2 ^a	545,00	528,1	489,00	473,8
3 ^a	505,00	489,3	485,00	470,0
4 ^a	548,00	531,0	475,00	460,3
5 ^a	513,00	497,1	480,00	465,1
6 ^a	495,00	479,7	500,00	484,5
7 ^a	518,00	501,9	490,00	474,8
8 ^a	522,00	505,8	485,00	470,0
9 ^a	520,00	503,9	472,00	457,4
10 ^a	535,00	518,4	492,00	476,7

Fonte: O autor (2025).

Ao obter os dados do consumo energético, foi possível realizar a comparação entre o consumo anterior e o posterior à implantação da automação. Todas as etapas do procedimento experimental realizado estão descritas no fluxograma apresentado na Figura 7, o qual foi elaborado com o objetivo de facilitar a visualização do trabalho desenvolvido.

Figura 7: Etapas do procedimento experimental.



Fonte: O autor (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a automação da dosagem de água e defloculante, alguns testes foram realizados para avaliar a eficiência e desempenho do processo. Os dados obtidos



foram comparados com os processos manuais anteriores, com foco na redução do consumo energético e aumento da produtividade.

4.1 TEMPO DE MOAGEM

A Tabela 2 apresenta que o tempo médio de moagem caiu de 8,72 horas no processo manual para 8,09 horas com a automação, uma redução de aproximadamente 7,2%, em média 38 minutos por moagem. Essa diferença representa um ganho importante quando se considera o volume de moagens realizadas ao longo do tempo.

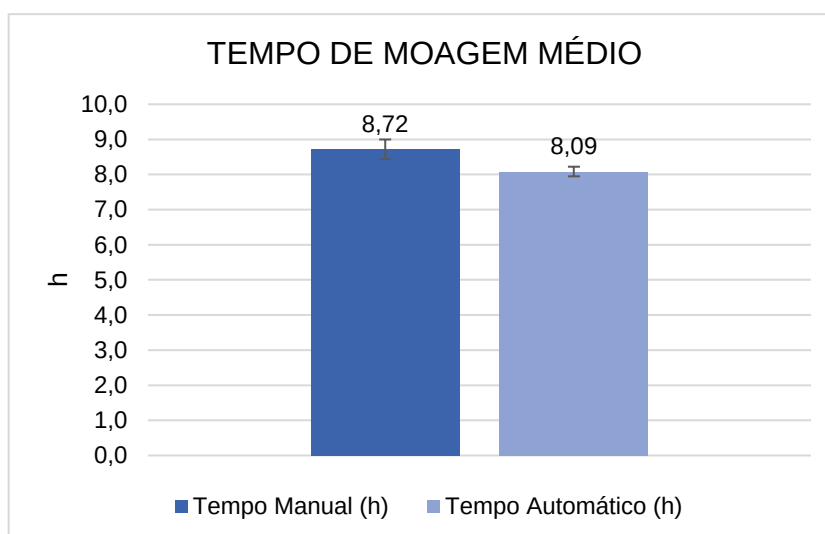
Tabela 2 – Tempo de moagem em manual e automático

Coleta de Dados	Tempo Manual (min)	Tempo Manual (h)	Tempo Automático (min)	Tempo Automático (h)
1 ^a	530,00	8,83	483,00	8,05
2 ^a	545,00	9,08	489,00	8,15
3 ^a	505,00	8,42	485,00	8,08
4 ^a	548,00	9,13	475,00	7,92
5 ^a	513,00	8,55	480,00	8,00
6 ^a	495,00	8,25	500,00	8,33
7 ^a	518,00	8,63	490,00	8,17
8 ^a	522,00	8,70	485,00	8,08
9 ^a	520,00	8,67	472,00	7,87
10 ^a	535,00	8,92	492,00	8,20
Média	523,10	8,72	485,10	8,09

Fonte: O autor (2025).

A principal razão é a precisão da dosagem automática de água e defloculante logo no início do processo. Antes, no sistema manual, ocorria variações nessa etapa, o que ocasionava correções durante a moagem e paradas para realizar os ajustes necessários. Com a automação, os parâmetros estão próximos do ideal, permitiu uma diminuição do tempo de moagem, Conforme Figura 8, com isso, reduziu o consumo energético do processo.

Figura 8 – Tempo médio de moagem antes e depois da automação da dosagem.



Fonte: O autor (2025).

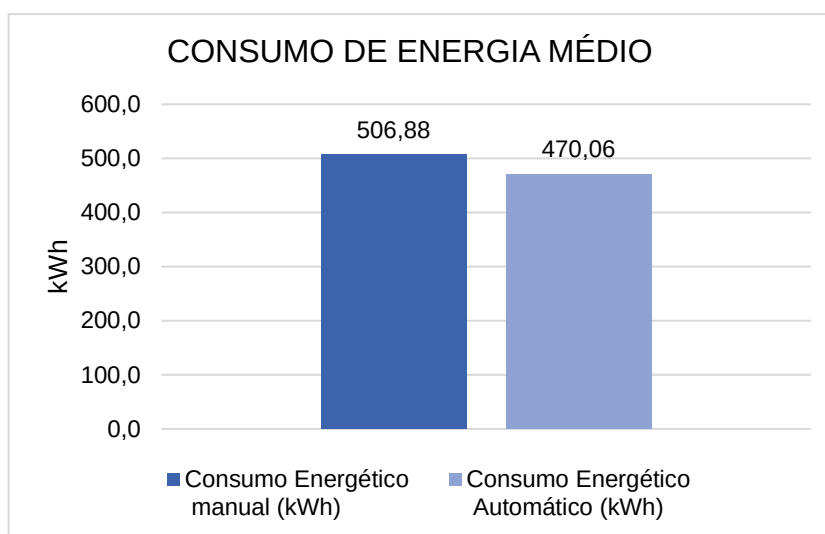
Com a redução no tempo médio de moagem, ocorreu uma diminuição na variação do tempo de moagem. O desvio padrão no processo manual foi de 0,28 horas, enquanto no sistema automatizado foi de apenas 0,14 horas, ou seja, a metade. Observou-se que o tempo de moagem é reduzido no modo automático ao apresentar maior previsibilidade e constância, evidenciada pela redução do desvio padrão.

A automação do sistema impactou na produtividade do processo de moagem descontínua, permitiu a realização de um maior número de moagens em um mesmo intervalo de tempo. A redução do tempo médio de moagem em cerca de 7,2% possibilita a otimização do uso do moinho e da mão de obra, aumentando a capacidade produtiva. A maior estabilidade e previsibilidade do processo automatizado reduz paradas não planejadas e retrabalhos.

4.2 CONSUMO ENERGÉTICO

A automação do sistema de dosagem impactou diretamente o consumo de energia elétrica durante o processo de moagem. Conforme apresentado na Figura 9, o consumo médio no processo manual foi de 506,88 kWh, enquanto no sistema automatizado foi reduzido para 470,06 kWh, o que representa uma economia de 7,3% por ciclo de moagem, ou seja, uma redução de 36,82 kWh.

Figura 9 – Consumo energético antes e depois da automação da dosagem.



Fonte: O autor (2025).

Essa redução é principalmente atribuída à diminuição do tempo de moagem. Com a dosagem precisa de água e defloculante no início do processo, evita-se necessidade de interferência para correção da moagem. Em outras palavras, o moinho opera pelo tempo necessário, eliminando a sobrecarga de operação que resulta em consumo energético desnecessário.

Esses dados reforçam o papel da automação como uma ferramenta estratégica para a eficiência energética. Em uma indústria com alta demanda energética como a cerâmica, esses ganhos percentuais têm impacto significativo na redução de custos operacionais, contribuindo para as metas de sustentabilidade ambiental — especialmente quando se considera o volume acumulado ao longo da produção diária.

Ocorreu uma contribuição indireta para a melhoria geral do desempenho energético da indústria cerâmica. O controle preciso dos parâmetros do processo reduz a necessidade de retrabalhos e perdas operacionais associadas à moagem fora dos padrões, que muitas vezes demandam retrabalho. Com isso, evita-se o consumo adicional que seria necessário para corrigir falhas. Ocorreu uma menor oscilação na demanda de energia, que torna o consumo estável e previsível, facilitando o planejamento da produção. Portanto, os resultados indicam que ao aumentar a produtividade e reduzir variabilidades, a automação promove uma operação enxuta, estável e energeticamente inteligente.



4.3 ERGONOMIA OPERACIONAL

A eliminação da dosagem manual e a implementação da automação trouxeram melhorias para ergonomia operacional. Com a automação, a necessidade de intervenção manual foi reduzida e a dosagem passou a ser precisa ao evitar as correções frequentes e desnecessárias que aconteciam no processo manual e ao minimizar a sobrecarga de trabalho. Ao comparar o processo anterior com o atual, observou-se que a interferência do operador no moinho diminuiu significativamente.

Antes da automação, a adição do defloculante era feita manualmente com baldes, que precisavam ser carregados e despejados no interior do moinho. Após a automação, essa etapa foi eliminada, extinguindo o uso dos baldes e o esforço físico associado. A adição de água era realizada com bomba elétrica, sendo iniciada e finalizada manualmente pelo operador, conforme o volume necessário no moinho. Após a automação, esse processo passou a ser automático, controlado e contínuo.

A utilização de sensor de vazão para a adição de água apresenta vantagens em relação ao uso de bomba elétrica com acionamento manual pelo operador. Com o sensor de vazão, a dosagem ocorre de forma precisa e automática, obtendo-se repetibilidade entre as moagens e eliminando variações ocasionadas por erros humanos. O uso de bomba elétrica com ação manual, embora facilite o trabalho em comparação ao método totalmente manual, ainda depende da atenção operacional, podendo gerar inconsistências no processo. Assim, o sensor de vazão se destaca por garantir a independência da atuação humana.

Com a operação eficiente, o ambiente de trabalho se tornou seguro e permitiu que os operadores se destinassem em outras atividades produtivas. Dessa forma, a ergonomia operacional foi aprimorada, ao mesmo tempo em que a redução das perdas de tempo com correções contribuiu para uma operação fluida e menos desgastante.

5 CONCLUSÃO

Automatizar a dosagem de água e defloculante na moagem descontínua trouxe ganhos reais para a indústria cerâmica. A substituição do processo manual, que dependia da experiência do operador e exigia esforço físico constante, por um



sistema com sensores, CLP e válvulas pneumáticas, aumentou a eficiência e melhorou as condições de trabalho.

Os resultados mostram isso com clareza. O tempo médio de moagem caiu de 8,72 para 8,09 horas, uma redução de aproximadamente 7,2% — o que equivale a quase 40 minutos a menos por ciclo. Essa diferença, somada ao longo dos dias, permite um maior número de moagem, com estabilidade e menos interferências. Além disso, o consumo médio de energia por moagem diminuiu de 506,88 para 470,06 kWh, representando uma economia de cerca de 7,3%. Esse valor, em escala industrial, gera impacto direto nos custos e contribui para metas ambientais.

Houve uma melhoria na ergonomia, pois o operador deixou de carregar baldes e controlar manualmente volumes, o que reduziu riscos físicos e liberou tempo para outras tarefas. O ambiente apresentou maior segurança e o processo se tornou mais previsível.

Mesmo em fábricas antigas ou com limitações de estrutura, a automação parcial já representa um grande passo. No caso da dosagem, ela mostrou ser uma alternativa viável, com retorno rápido e visível. Essa mudança fortalece a indústria diante de um mercado exigente e competitivo.

Apesar dos benefícios, o investimento em automação é um desafio para indústrias com estruturas físicas antigas e layouts rígidos. Nestes casos, soluções parciais, como a automação da dosagem de aditivos, representam um avanço significativo. Em suma, a automação da dosagem de água e defloculante em moinhos descontínuos representa avanço tecnológico e sustentável na indústria cerâmica, combinando redução de desperdícios, melhoria da qualidade do produto e valorização da saúde do trabalhador, consolidando a competitividade das indústrias brasileiras no mercado global.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA (ANFACER). **Setor cerâmico nacional é destaque no ranking mundial de maiores produtores.** 2022. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/noticias/setor-ceramico-nacional-e-destaque-no-ranking-mundial-de-maiores-produtores>. Acesso em: 14 abril 2025.

ARAÚJO JUNIOR, Antônio Pereira; CHAGAS, Christiano Vasconcelos; FERNANDES, Raphaela Galhardo. **Uma rápida análise sobre automação industrial.** Redes para Automação Industrial. DCA-CT-UFRN, Natal, 2003. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/>. Acesso em: 14 abril 2025.



BASU, Swapan. **Plant flow measurement and control handbook: fluid, solid, slurry and multiphase flow**. Academic Press, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128124376/plant-flow-measurement-and-control-handbook> Acesso em: 14 abril 2025.

BEEBY, Stephen; ENSELL, Graham; KRAFT, Michael; WHITE, Neil. **Mems Mechanical Sensors**. Boston: Artech House INC., 2004. 281 p. Disponível em: https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/8_Electronics%20%26%20Robotics/MEMS%20Mechanical%20Sensors%20-%20Stephen%20Beeby.pdf. Acesso em: 14 abril 2025

BOLLMANN, A. **Fundamentos da Automação Industrial Pneutrônica - Projeto de Comandos Binários Eletropneumáticos**. São Paulo: Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumático, 1997. 278 p.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. **A indústria cerâmica brasileira**. Cerâmica Industrial, v. 5, n. 3, maio/junho, 2000. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br>. Acesso em: 14 abril 2025.

COSTA, Barbara Regina Lopes; ARAÚJO, Richard Medeiros de; OLIVEIRA, Regiane Cardoso. **Automação do processo de produção de uma cerâmica: estudo de caso**. Revista Vianna Sapiens, v. 15, n. 1, p. 293-310, jan./jun. 2024. Disponível em: <https://viannasapiens.emnuvens.com.br/revista/article/view/461/293>. Acesso em: 14 abril 2025.

D'AQUINO, A. **Automação industrial aplicada a processos cerâmicos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia de Controle e Automação, 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/247134?show=f>. Acesso em: 14 abril 2025.

DAROLT, Radamés D.; FENILIA, Cleber; NASCIMENTO, Guilherme C.; MONDARDO, Julio C. **Estudo do efeito do tempo no rendimento da moagem via seca**. Cerâmica Industrial, v. 15, n. 3, p. 587-657, maio/jun. 2010. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657427f8c9d6e028b4787/pdf/ci-15-3-587657427f8c9d6e028b4787.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2025.

DATHEIN, Ricardo. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX**. Porto Alegre, 2021. 8 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/decon/>. Acesso em: 8 abril 2025.

DOLL, M.; NEUMANN, R.; SAWODNY, O. **Dimensioning of pneumatic cylinders for motion tasks**. International Journal of Fluid Power, 2015.

FERNANDES, Flavio Cesar; LEITE, Reinaldo Batista. **Automação industrial e sistemas informatizados de gestão da produção em fundições de mercado**. Gestão & Produção, v. 9, n. 3, p. 301-317, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/Y6MzkCnHhGL3mRSg9q6883k/>. Acesso em: 19 maio 2025.



JÚNIOR, Antônio Pereira de Araújo; CHAGAS, Christiano Vasconcelos das; FERNANDES, Raphaela Galhardo. **UMA RÁPIDA ANÁLISE SOBRE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**. Natal, 5 p. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br>. Acesso em: 13 março 2025.

KAYACI, K.; YILDIRIM, Y.; TARHAN, M.; DURGUT, E.; ERGIN, H. **Comparação entre as Tecnologias de Moagem a Seco como Referência para os Parâmetros Tecnológicos do Grânulo Formado**. Cerâmica Industrial, v. 22, n. 1, p. 7–14, 2017. DOI: 10.4322/cerind.2017.009. Acesso em: 14 abril 2025.

LABORATÓRIO DE VAZÃO. **Aplicações e vantagens dos sensores de nível ultrassônicos**. Revista Automação Industrial, v. 15, n. 3, p. 45-52, 2023. Disponível em: <https://www.revistaautomacaoindustrial.com.br/artigos/sensores-nivel-ultrassonicos>. Acesso em: 16 maio 2025.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MORRIS, A. S.; LANGARI, R. **Measurement and instrumentation: theory and application**. [S.l.]: Academic Press, 2012. Disponível em: https://www.perlego.com/book/1837643/measurement-and-instrumentation-theory-and-application-pdf?utm_source. Acesso em: 14 abril 2025.

MUNDO DA ELÉTRICA. **O que é eletropneumática? Conceitos e Aplicações**. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-eletropneumatica-conceitos-aplicacoes/>. Acesso em: 14 abril 2025.

MUNDO PNEUMÁTICO. **Sistema pneumático otimiza processos industriais e aumenta eficiência operacional**. Disponível em: <https://www.mundopneumatico.com.br/blog/categorias/artigo/sistema-pneum-aacute-tico-otimiza-processos-industriais-e-aumenta-efici-ecirc-ncia-operacional>. Acesso em: 16 maio 2025.

NEGRI, Victor Juliano. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos para automação e controle**. Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2013/06/SistHPContAutP2.pdf>. Acesso em: 19 maio 2025.

OLIVEIRA, Antonio Pedro Novaes de; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/187929/Tecnologia%20de%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20revestimentos%20cer%C3%A2micos%20e-book.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 abril 2025.

ORTEGA, F. S.; PANDOLFELLI, V. C.; RODRIGUES, J. A.; DE SOUZA, D. P. F. **Aspectos da Reologia e da Estabilidade de Suspensões Cerâmicas. Parte III: Mecanismo de Estabilização Eletroestérica de Suspensões com Alumina**. Cerâmica, v. 43, n. 281-282, p. 113–119, 1997. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ce/a/yDLr5S66bDygTCwKR5Bn49C/?format=pdf&utm_source. Acesso em: 16 maio 2025.



PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes. **Eletrônica: automação industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 6). Disponível em: <https://pt.1lib.sk/book/2854068/8457ca/eletr%C3%B4nica-automat%C3%A7%C3%A3o-industrial.html>. Acesso em: 16 maio 2025.

PARENTE, Andréa; VALDMAN, Andrea; FOLLY, Rossana O. M.; SOUZA JR., Maurício B. de. **Automação de processos industriais: do pneumático à Indústria 4.0**. Revista Processos Químicos, jul./dez. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333413543_Automacao_de_Processos_Industriais_do_Pneumatico_a_Industria_40. Acesso em: 05 maio 2025.

PARRA SEJAS, M. Z. **Desenvolvimento de uma bancada gravimétrica automática para calibração de medidores de vazão com diferentes fluidos**. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176667>. Acesso em: 29 abril 2025.

PUPO, M. S. **Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.18.2002.tde-11072002-085859>. Acesso em: 17 junho 2025.

RIBEIRO, Manuel Joaquim; ABRANTES, João Carlos Castro. **Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo**. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 7–14, 2001. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876570b7f8c9d6e028b4640>. Acesso em: 14 abril 2025.

ROIG, M. **7 benefícios da automação de processos**. Administradores.com, 1 ago. 2017. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/noticias/negocios/7-beneficios-da-automacao-deprocessos/120576/>. Acesso em: 16 maio 2025.

SANTOS, Leomir Francisco dos. **Estudo dos tipos de sensores de controle de vazão utilizados na instrumentação**. 2018. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Centro Universitário Anhanguera Niterói, Niterói, 2018. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/24810/1/LEOMIR_DEFESA.pdf. Acesso em: 14 abril 2025.

SILVA, Carlos Henrique; OLIVEIRA, Mariana. **Automação industrial: uma revisão sobre os sistemas e tecnologias**. Revista Eletrônica de Engenharia, v. 15, n. 2, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ree/article/view/72036>. Acesso em: 14 abril 2025.

SILVA, João Paulo Pereira da. **Mecanismo de ação do silicato de sódio como depressor em flotação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) —



Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em:
<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5088>. Acesso em: 14 abril 2025.

SILVA, J. F. **O papel da automação industrial na modernização do parque fabril brasileiro**. Revista Brasileira de Automação, 2020; 18(4): 233-240.

SILVA, Ricardo M.; SANTOS, Lucas F.; OLIVEIRA, Pedro R. **Aplicações de sensores na automação industrial: fundamentos e avanços recentes**. Revista Brasileira de Engenharia de Controle e Automação, v. 10, n. 3, p. 45–59, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeca/a/6V7YxL9/>. Acesso em: 28 abril 2025.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Sensor de Nível: 10 Tipos Diferentes para Aplicar na Indústria**. Citisystems, 31 maio 2018. Disponível em:
<https://www.citisystems.com.br/sensor-de-nivel>. Acesso em: 13 maio 2025.

SONNTAG, R. E.; BORGNACKE, C.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da termodinâmica**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 576 p. Disponível em:
<https://www.perlego.com/book/3967162/fundamentos-da-termodinmica-pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

SUAREZ, Mauro Paipa; SILVA, Maria Eduarda Leandra; SILVA, Vanbasten Fernandes; MARTINS, João Fernando Neves. **Automação de processos industriais: impactos na eficiência, qualidade e segurança operacional**. In: ENCONTRO DE ATIVIDADES CIENTÍFICAS, 27., 2024, Online. Anais [...]. Disponível em:
<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/69314/1/2024-trabalho-24751.pdf>. Acesso em: 16 maio 2025.

TROMBINI, V.; BRESSIANI, A. H. A.; PALLONE, E. M. J. A.; TOMASI, R. **Otimização dos processos de moagem e secagem do pó de alumina/TiC obtido por moagem reativa**. Cerâmica, São Paulo, v. 57, n. 344, p. 416–421, dez. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000400007>. Acesso em: 19 maio 2025.

WARNOCK, I. G. **Programmable Controllers – Operation and Application**. Prentice Hall Europe, 1997.

ZHANG, X. et al. **Desenvolvimento da tecnologia de medição de nível de líquido: uma revisão**. Journal of Process Control, v. 114, p. 1–14, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955598622001704>. Acesso em: 5 maio 2025.