

DIAGNÓSTICO FUNCIONAL DO SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DE UM SETOR DE UMA AGROINDÚSTRIA

Alan Adilson Santana¹
Roberto Michatowski²
Maico Fernando Wilges Carneiro³
Simone Merlini⁴

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo elaborar um diagnóstico funcional do sistema de ar comprimido utilizado no setor de embalagem secundário de uma agroindústria em Santa Catarina visando aumentar a eficiência energética do sistema. A investigação foi conduzida ao longo de duas semanas, por meio de observação direta, medições de pressão e monitoramento do fluxo de ar em pontos estratégicos da rede. O diagnóstico permitiu caracterizar o desempenho do sistema em termos de estabilidade da pressão, comportamento da rede do tipo aberta, qualidade do ar disponibilizado aos equipamentos pneumáticos e identificação de eventuais inconsistências de consumo. A análise evidenciou que o sistema opera dentro das condições adequadas para a demanda do processo produtivo, embora tenha sido identificada uma oportunidade de melhoria relacionada ao consumo não produtivo. Diante desse cenário, o estudo aponta a relevância de práticas de acompanhamento sistemático e sugere a utilização de ferramentas simples de monitoramento como estratégia para ampliar o controle operacional e apoiar tomadas de decisão voltadas à eficiência energética do sistema, por meio de manutenção preditiva.

Palavras-chave: Ar Comprimido. Eficiência Energética. Manutenção Preditiva.

1 INTRODUÇÃO

O ar comprimido é um recurso amplamente utilizado na indústria por sua versatilidade, segurança e capacidade de atender a diferentes demandas produtivas, sobretudo em sistemas de automação e processos pneumáticos. Na indústria alimentícia, especialmente em setores como o de embalagem, ele desempenha papel essencial no funcionamento de equipamentos como seladoras, empacotadoras, formadoras e atuadores. No entanto, falhas relacionadas à qualidade do ar, à pressão e aos vazamentos podem comprometer significativamente o desempenho do sistema, elevar o consumo energético e afetar a segurança alimentar (Souza, 2019).

¹ Graduando (a) em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2025). E-mail: aadilson71@gmail.com

² Mestre em Projetos e Processos de Fabricação Mecânica – Universidade de Passo Fundo (UPF) Passo Fundo RS - E-mail: michatowski@uceff.edu.br

³ Docente da UCEFF Faculdades.

⁴ Docente da UCEFF Faculdades.

A norma ABNT NBR ISO 8573-1 (2019) estabelece os padrões de qualidade do ar comprimido, definindo limites para partículas, umidade e óleo residual. Esses parâmetros são especialmente rigorosos em ambientes onde há risco de contaminação do produto. Vazamento é um outro fator crítico: estima-se que entre 20% e 30% do ar produzido possa ser desperdiçado por esse motivo, contribuindo para perdas econômicas e ineficiência operacional (Pacco, 2013).

Considerando a relevância da eficiência energética e da confiabilidade em sistemas pneumáticos, este trabalho propõe uma investigação detalhada da rede de ar comprimido no setor de embalagem secundário de uma agroindústria em Santa Catarina, visando identificar falhas e propor soluções. Perante o exposto, questiona-se: **como a queda de pressão, a qualidade do ar e os vazamentos impactam no desempenho do sistema de ar comprimido do setor de embalagem em uma agroindústria?**

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é elaborar um diagnóstico funcional do sistema de ar comprimido utilizado no setor de embalagem secundário de uma agroindústria em Santa Catarina visando aumentar a eficiência energética do sistema. Para alcançar esse propósito, primeiramente torna-se necessário avaliar a infraestrutura e o *layout* atual da rede, bem como mapear os pontos de consumo e identificar possíveis focos de desperdício de ar, além de verificar parâmetros como pressão e volume de condensado, permitindo assim, compreender o comportamento operacional do sistema. A partir dessas informações, elaborou-se um plano de ação ressaltando as melhorias propostas e o resultado esperado através dessas alterações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AR COMPRIMIDO NA INDÚSTRIA

O ar comprimido representa uma das principais formas de energia secundária utilizadas na indústria, sendo aplicado em operações de limpeza, transporte pneumático, automação e controle de processos. Segundo a Atlas Copco (2015), aproximadamente 10% da energia elétrica industrial global é consumida na geração de ar comprimido, e parte significativa desse consumo é desperdiçada por falhas sistêmicas e operação inadequada.

Estudos setoriais de eficiência energética indicam que os demais 90% da energia elétrica consumida na indústria são distribuídos entre outros sistemas: cerca de 60% são destinados a motores elétricos (utilizados em bombas, ventiladores, misturadores e outros acionamentos), 15% são empregados em aquecimento e refrigeração, 5% em sistemas de iluminação, e

aproximadamente 10% são atribuídos a outros equipamentos e perdas diversas. (PROCEL, 2005).

2.2 COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DE UMA REDE DE AR COMPRIMIDO

Uma rede de ar comprimido é composta por diferentes elementos: compressor, reservatório de armazenamento, sistema de tratamento (secadores e filtros), tubulação de distribuição e pontos de consumo. O dimensionamento e a manutenção de cada um desses componentes afetam diretamente a eficiência e a qualidade do ar entregue (Maldaner, 2018).

2.2.1 Compressor

O compressor é o equipamento responsável pela captação e compressão do ar atmosférico, sendo o ponto de partida de todo o sistema. Sua função é transformar energia elétrica em energia pneumática por meio da elevação da pressão do ar, processo esse que pode ser realizado por diferentes tipos de compressores, conforme a necessidade de aplicação (Atlas Copco, 2015)

Os compressores de deslocamento positivo, como os de pistão, parafuso e palhetas, realizam a compressão reduzindo o volume de ar em câmaras específicas. Já os compressores dinâmicos, como os centrífugos e axiais, promovem a compressão pela conversão da energia cinética em energia de pressão (Parker, 2006).

O compressor de pistão é amplamente utilizado em aplicações industriais de menor escala. Pode operar com lubrificação a óleo ou ser isento, com variações construtivas simples ou de múltiplos estágios. Já o compressor de parafuso, bastante presente na indústria de transformação, destaca-se pela operação contínua, eficiência energética e menores níveis de ruído. Existem ainda os compressores de parafuso de dois estágios, utilizados quando se busca maior eficiência com redução de consumo ao longo do tempo (Atlas Copco, 2015).

Modelos como o compressor scroll, de operação silenciosa e isenta de óleo, são aplicáveis em ambientes onde a pureza do ar é crítica, como na indústria alimentícia. Compressores de palhetas e centrífugos atendem demandas específicas, sendo que os últimos são preferidos em processos que requerem grandes vazões com pressões constantes. O compressor axial, por sua vez, é mais comum em aplicações aeronáuticas ou sistemas de ventilação industrial (Atlas Copco, 2015).

A especificação adequada do compressor requer o levantamento detalhado de dados como demanda de vazão, pressão de operação, qualidade de ar exigida, além das condições ambientais do local de instalação, que influenciam diretamente na eficiência do equipamento (PROCEL, 2009).

A Figura 1 apresenta um modelo convencional de compressor industrial de alto rendimento.

Figura 1 - Compressor Industrial



Fonte: Atlas Copco (2025).

2.2.2 Reservatório de Ar (Pulmão)

O reservatório atua como um pulmão do sistema, armazenando o ar comprimido, estabilizando a pressão, coletando condensado e reduzindo os ciclos de acionamento do compressor (Eletrobrás/PROCEL; Efficientia/Fupai, 2005). Como se trata de um vaso de pressão, deve seguir os critérios da NR-13 quanto à segurança e operação.

Para dimensionamento básico, recomenda-se que o volume do reservatório seja de 10% da vazão para compressores rotativos e de 20% para compressores de pistão (Parker Training, 2006). No entanto, fórmulas mais completas incluem variáveis como taxa de ciclos do motor e pressões mínimas e máximas de operação (Macyntire, 2011).

A Figura 2 apresenta um modelo convencional de reservatório de ar.

Figura 2 - Reservatório de ar



Fonte: Schulz (2025).

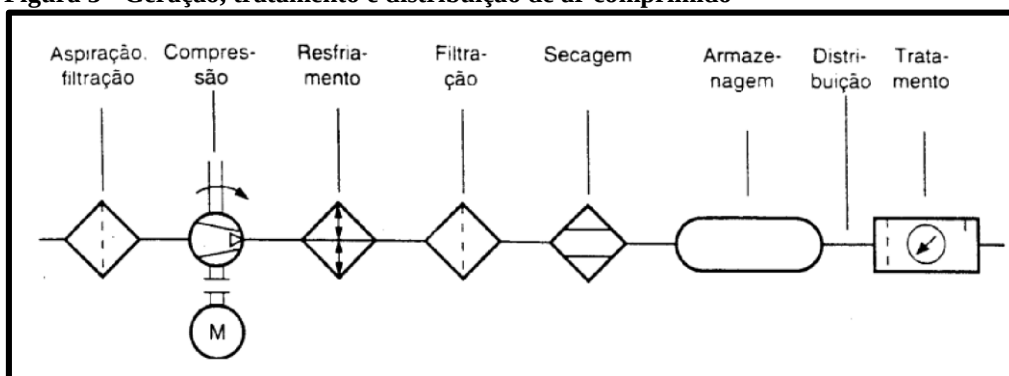
2.2.3 Sistema de Tratamento do Ar

Após a compressão, o ar contém contaminantes que precisam ser removidos para garantir a integridade dos equipamentos e a qualidade dos processos. O tratamento do ar envolve etapas como filtragem, separação de condensado e secagem, conforme a norma ABNT NBR ISO 8573-1 (2019).

Os filtros são responsáveis por reter partículas sólidas e traços de óleo, protegendo os secadores e equipamentos. Os secadores, por sua vez, retiram a umidade residual, seja por refrigeração, adsorção ou absorção (Eletrobrás *et al.*, 2009). A presença de purgadores automáticos ao longo da linha auxilia na eliminação contínua de condensado (Fialho, 2004).

A Figura 3 apresenta uma sequência convencional de um sistema de tratamento de ar.

Figura 3 - Geração, tratamento e distribuição de ar comprimido



Fonte: Silva (2002).

2.2.4 Rede de Distribuição

A rede de distribuição é composta por tubulações, conexões e válvulas responsáveis por conduzir o ar até os pontos de uso. Para evitar acúmulo de condensado e facilitar o escoamento, recomenda-se que as linhas principais sejam levemente inclinadas (entre 0,5% e 2%) no sentido do fluxo de ar (Parker Training, 2006). A Figura 4 apresenta a inclinação recomendada em trechos retos.

Figura 4 - Inclinação recomendada em trechos retos



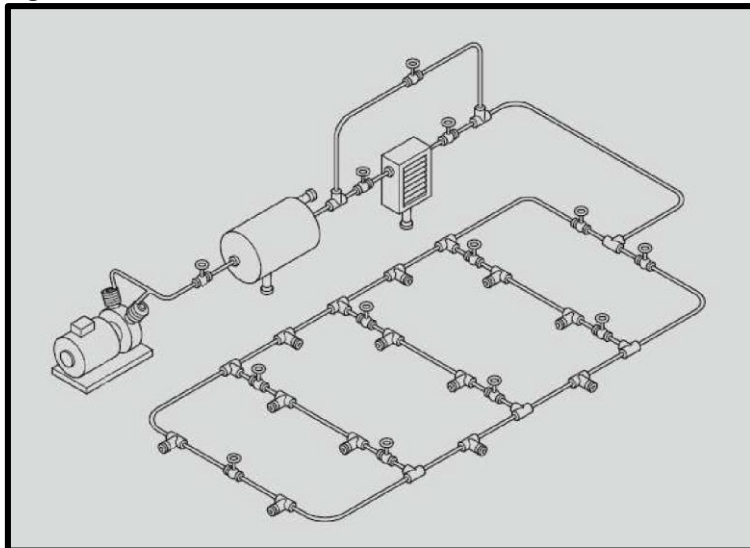
Fonte: Parker Training (2006).

Ademais, as saídas para as linhas de alimentação devem ser feitas pela parte superior da tubulação principal, evitando que o condensado chegue aos equipamentos (Metalplan, 2010). O uso de materiais resistentes à corrosão, como aço galvanizado, alumínio ou plástico técnico, também contribui para a durabilidade da rede (Parker Training, 2006).

Quanto ao *layout* da rede de ar comprimido deve considerar o tipo de circuito — fechado ou aberto —, os comprimentos das linhas, os pontos de consumo e os possíveis pontos de expansão. O circuito fechado proporciona distribuição uniforme da pressão e maior flexibilidade de operação, enquanto o circuito aberto é indicado para instalações pequenas com demanda localizada (Fialho, 2004). A utilização de *softwares* como AutoCAD facilita o

planejamento tridimensional da rede, otimizando os espaços e minimizando perdas de carga. A Figura 5 apresenta uma representação de um circuito fechado.

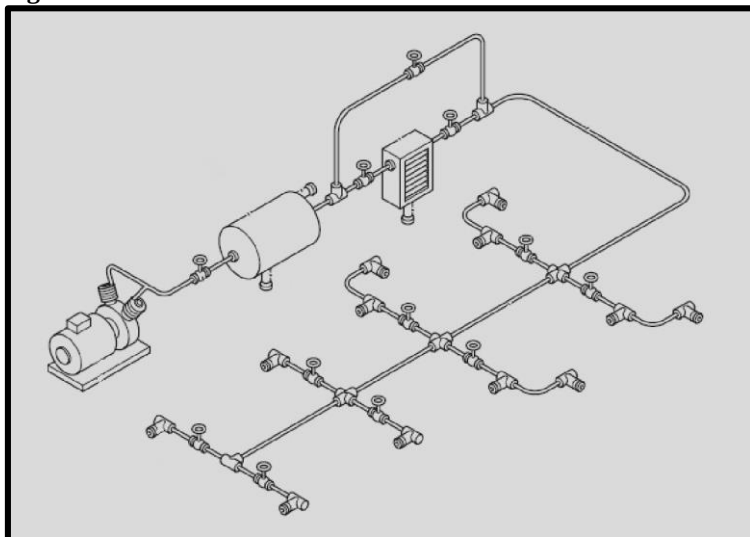
Figura 5 - Circuito Fechado



Fonte: Bosch (2008).

A Figura 6 apresenta uma representação de um circuito aberto.

Figura 6 - Circuito Aberto



Fonte: Bosch (2008).

2.2.5 Pontos de Consumo

Nos pontos de consumo, o ar comprimido alimenta dispositivos como ferramentas pneumáticas, válvulas e cilindros. Para garantir a eficiência e prolongar a vida útil dos

equipamentos, os pontos devem contar com unidades de condicionamento, compostas por filtro, regulador de pressão e lubrificador (Parker Training, 2006).

A correta regulação de pressão, filtragem final e monitoramento da qualidade do ar são essenciais, especialmente em setores que exigem elevado padrão de higiene, como o alimentício. O monitoramento contínuo da pressão e o controle de perdas por vazamento tornam-se indispensáveis para evitar desperdícios e manter o desempenho do sistema (Metalplan, 2010). A Figura 7 apresenta um ponto de consumo de ar comprimido.

Figura 7 - Ponto de Consumo de Ar Comprimido



Fonte: PTF-ESTI (2025).

2.2.6 Unidades de Condicionamento

O conjunto conhecido como Lubrifil é uma unidade de preparação de ar que reúne três componentes principais: filtro, regulador de pressão e lubrificador. Essa unidade é instalada próximo aos pontos de uso e tem como função principal proteger e melhorar o desempenho dos atuadores pneumáticos. O regulador permite o ajuste fino da pressão de trabalho, enquanto o lubrificador adiciona pequenas quantidades de óleo ao fluxo de ar, garantindo a lubrificação interna dos componentes (Parker Training, 2006). A Figura 8 apresenta um sistema de tratamento de ar.

Figura 8 - Unidade de preparação de ar



Fonte: MTI BRASIL (2025).

2.2.7 Secadores de Ar Comprimido

Os secadores de ar comprimido desempenham papel essencial na eliminação da umidade presente no ar após o processo de compressão. A elevada temperatura resultante da compressão faz com que o vapor de água se condense ao longo da rede, favorecendo corrosão, desgaste prematuro de componentes e até falhas em válvulas e atuadores. Para evitar esses problemas, a secagem é incorporada como etapa indispensável do tratamento (ATLAS COPCO, 2015).

Existem diferentes tecnologias de secadores, cada qual adequada a determinados níveis de pureza e aplicações.

Os modelos por refrigeração reduzem a temperatura do ar até o ponto em que o vapor de água condensa, sendo amplamente utilizados por seu custo relativamente baixo e eficiência em condições padrão.

Já os secadores por adsorção utilizam materiais dessecantes, como sílica gel ou alumina ativada, capazes de atingir níveis de pureza muito elevados, sendo aplicados em setores que exigem ar de alta qualidade, como a indústria alimentícia e farmacêutica (Macyntire, 2011).

Secadores por absorção, que empregam soluções químicas higroscópicas, e os de membrana, voltados a aplicações específicas, completam o conjunto de tecnologias disponíveis (Eletrobrás *et al.*, 2009; Metalplan, 2010). A Figura 9 apresenta um sistema de secadores de ar comprimido.

Figura 9 - Secadores de ar comprimido



Fonte: MTI BRASIL (2025).

2.3 QUALIDADE DO AR COMPRIMIDO

A norma ABNT NBR ISO 8573-1 (2019) estabelece uma padronização internacional para a classificação da qualidade do ar comprimido, definindo limites para três parâmetros: concentração de partículas sólidas, teor de umidade e conteúdo de óleo residual. Essa padronização organiza os sistemas em classes de 0 a 9, sendo a classe 0 a mais rigorosa, destinada a processos críticos que não admitem risco de contaminação.

Na indústria alimentícia, por exemplo, as exigências recaem sobre classes mais elevadas de pureza, geralmente 1 ou 2, visto que o ar comprimido pode entrar em contato direto ou indireto com o produto final. O controle rigoroso da umidade, por meio do ponto de orvalho, e do óleo residual, por meio de filtros coalescentes e separadores, é fundamental para atender às normas de segurança e higiene.

Por conseguinte, a classificação definida pela ABNT NBR ISO 8573-1 auxilia na escolha dos equipamentos de tratamento, como secadores e filtros, compatíveis com o nível de qualidade requerido. Dessa forma, garante-se maior confiabilidade operacional e redução de riscos tanto para os processos quanto para a segurança alimentar (Souza, 2019).

2.4 VAZAMENTOS E QUEDAS DE PRESSÃO

Estudos como o de Pacco (2013) mostram que vazamentos podem representar até 30% do ar gerado, sendo comuns em conexões, mangueiras antigas e válvulas com desgaste. Além

disso, a distribuição mal projetada e a falta de manutenção podem gerar quedas de pressão, impactando diretamente o desempenho dos equipamentos.

A presença de vazamentos é um dos principais fatores de desperdício em sistemas de ar comprimido. Estima-se que entre 20% e 30% do ar produzido possa ser perdido devido a vazamentos não detectados, provenientes de conexões mal vedadas, mangueiras deterioradas ou válvulas defeituosas (Metalplan, 2010). De igual modo, curvas, válvulas e trechos longos de tubulação contribuem para perdas de carga, que devem ser minimizadas com dimensionamento adequado e materiais de baixa rugosidade. O funcionamento adequado de cada um desses componentes, aliado a um plano de manutenção preventiva e ao uso de indicadores de desempenho, é essencial para assegurar a eficiência, confiabilidade e longevidade da rede de ar comprimido (Parker Training, 2006).

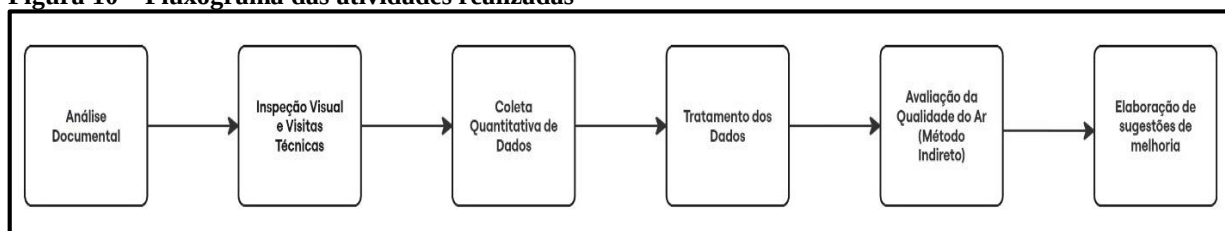
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2008) alerta que o ajuste inadequado da pressão operacional pode aumentar o consumo energético em até 7% por bar excedente. Portanto, a manutenção preventiva, a correção de vazamentos e o monitoramento contínuo são práticas fundamentais para promover a sustentabilidade dos sistemas pneumáticos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido nas instalações da linha de embalagem secundária de uma agroindústria em Santa Catarina do dia 27 de outubro ao dia 7 de novembro de 2025, ambiente caracterizado por operação contínua e alta demanda de ar comprimido. A escolha desse setor se deve à sua representatividade no consumo de ar e à relevância da confiabilidade pneumática para o desempenho dos equipamentos de embalagem. Durante o estudo, foram observados parâmetros funcionais, como quantidade de condensado, regulagens de pressão e possíveis interferências no fluxo de ar.

A Figura 10 apresenta o fluxograma que foi seguido para as atividades realizadas.

Figura 10 – Fluxograma das atividades realizadas

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O levantamento teve início com a análise documental da planta industrial, especialmente dos diagramas pneumáticos e registros técnicos disponíveis. Esse passo permitiu compreender como a rede estava estruturada e quais eram os principais pontos de consumo.

Em seguida, foram realizadas inspeções visuais e visitas técnicas *in loco* para identificar eventuais inconformidades, como vazamentos, falhas de montagem e pontos de acúmulo de condensado. Paralelamente, foram levantados os valores de pressão regulada em cada máquina do setor, permitindo verificar se estavam compatíveis com as especificações recomendadas pelos fabricantes.

A etapa de coleta quantitativa envolveu o uso de instrumentos como manômetros digitais e medidor de fluxo, instalados em pontos estratégicos da rede, de modo a permitir medições sob diferentes condições operacionais. Esses dados possibilitaram a construção de uma tabela de mapeamento de pressão ao longo do sistema e a identificação de trechos com possível perda de eficiência.

No que diz respeito à qualidade do ar, a avaliação foi realizada de forma indireta, especialmente pela verificação de condensado e visualização de resíduos no filtro. Embora a norma ABNT NBR ISO 8573-1 (2019) estabeleça critérios detalhados para análise de partículas, umidade e óleo residual, esse tipo de medida requer instrumentos de alta precisão que não estavam acessíveis no contexto deste trabalho.

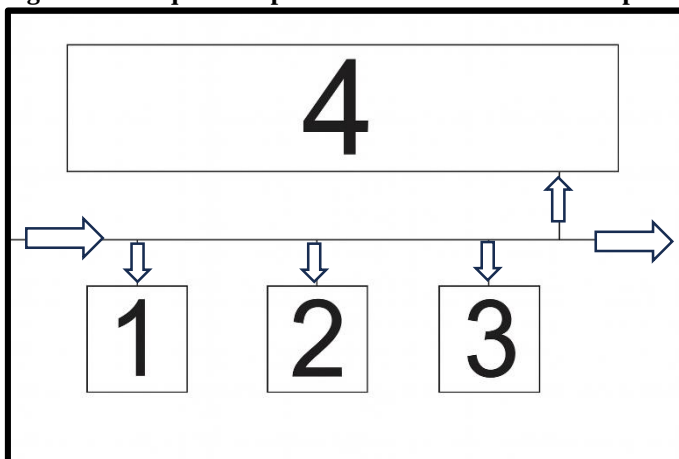
A partir dessa análise, foram identificados os principais gargalos do sistema e elaborada uma sugestão de melhoria voltada à otimização do consumo energético e aumento da confiabilidade operacional.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 CONDIÇÕES OPERACIONAIS E PARÂMETROS DE PRESSÃO

A Figura 11 apresenta o esquema representativo da rede de ar comprimido da linha de embalagem secundária, indicando os principais pontos de consumo e a disposição das ramificações observadas durante o levantamento.

Figura 11 - Esquema representativo da rede de ar comprimido



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O monitoramento da rede de ar comprimido foi realizado durante duas semanas consecutivas, do dia 27 de outubro ao dia 7 de novembro de 2025, totalizando dez dias úteis de observação contínua. As medições ocorreram na linha de embalagem secundária de uma agroindústria, abrangendo o período de operação do setor entre 03h e 22h, enquanto a rede principal de ar permaneceu pressurizada em tempo integral (24 horas por dia).

Durante o diagnóstico, foi elaborado um mapeamento dos pontos de consumo de ar comprimido do setor, abrangendo os equipamentos da linha de embalagem secundária. Observou-se que a rede alimenta diretamente os sistemas pneumáticos das três formadoras de caixas (representadas pelos pontos 1, 2 e 3 no esquema da FIGURA 11) e da esteira transportadora (ponto 4), a qual conta com um sistema que cadências as caixas por meio de um atuador pneumático, responsável por sincronizar o avanço das caixas.

Todos os equipamentos operaram dentro da faixa de pressão entre 6 e 7 bar. O mapeamento confirmou que não há ramificações excessivas nem pontos de uso ociosos, o que contribui para a estabilidade da pressão medida e para a eficiência na distribuição do ar.

A verificação foi realizada com o auxílio de um manômetro digital com faixa de medição de 0 a 10 bar e precisão típica de $\pm 1\%$ da escala cheia, instalado na entrada de cada equipamento, o instrumento apresentou resolução de 0,01 bar, permitindo o registro confiável da pressão de alimentação e a verificação da consistência do fornecimento. Observou-se que, mesmo no último ponto da rede — caracterizada como uma configuração do tipo aberta —, a

pressão manteve-se dentro dos valores ideais, demonstrando eficiência na distribuição e ausência de perdas relevantes de carga ao longo do percurso.

Para reunir os dados coletados, foi elaborada a Tabela 1, que mostra o mapeamento das pressões medidas em cada ponto de consumo identificado no esquema.

Tabela 1 - Mapeamento das pressões aferidas em cada ponto de consumo identificado

Ponto	Equipamento / Função	Pressão (Operação) (bar)	Observações
1	Formadora de caixas 1	6,90	Pressão estável; pequena queda durante demanda.
2	Formadora de caixas 2	6,88	Comportamento similar ao ponto 1; sem oscilações abruptas.
3	Formadora de caixas 3	6,85	Leve queda indicada em regime de operação contínua.
4	Esteira transportadora (cadenciador pneumático)	6,88	Último ponto da linha, dentro da faixa aceitável (≥ 6 bar).

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os dados coletados confirmam que o sistema pneumático da linha funciona de forma coerente com as recomendações da literatura técnica, que estabelecem pressões entre 6 e 7 bar como adequadas para redes de automação industrial (Parker Training, 2006).

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR E DO SISTEMA DE TRATAMENTO

Durante o período de monitoramento, foi avaliada a unidade de preparação de ar localizado na entrada da máquina formadora de caixas. Após duas semanas de acompanhamento, não foi identificada presença de umidade ou óleo residual no sistema, evidenciando a boa eficiência do tratamento de ar. A avaliação foi realizada por meio de inspeção visual do conjunto com verificação periódica da presença de condensado no copo do filtro e observação de resíduos visíveis ao longo do período de operação, caracterizando uma avaliação indireta da qualidade do ar comprimido. Embora as medições diretas de pureza do ar (como partículas, umidade e óleo residual) não tenham sido realizadas por limitações instrumentais, os resultados observacionais sugerem que o ar atende aos padrões de pureza esperados para a aplicação, conforme as recomendações da ABNT NBR ISO 8573-1 (2019), que estabelece as classes de qualidade do ar comprimido.

O compressor principal utilizado no sistema é do tipo parafuso lubrificado, e a rede é composta por tubulações metálicas de aço carbono na área externa e inox nos trechos de interna de fábrica, ambas características comuns em instalações industriais de médio porte. Essas condições por mais que comuns, também exigem manutenção preventiva periódica para evitar contaminação por óleo e oxidação interna.

4.3 DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS

Durante a inspeção visual e o monitoramento com o medidor de vazão instalado na entrada dos equipamentos, foi detectada a presença de fluxo de ar mesmo com o sistema fora de operação, o que confirmou a existência de um vazamento no equipamento 3 (Formadora de Caixas 3). O ponto de perda foi localizado especificamente nas conexões do bloco de válvulas, onde se verificou um escape contínuo de ar. A medição indicou uma perda aproximada de 5 L/min, valor considerado pequeno, porém capaz de gerar impactos cumulativos tanto no consumo energético e na eficiência do sistema ao longo do tempo.

Conforme apontam Pacco (2013) e Metalplan (2010), vazamentos aparentemente insignificantes podem representar custos relevantes ao longo do tempo, sobretudo em ambientes industriais onde a rede permanece pressurizada continuamente — como ocorre na linha avaliada, que mantém disponibilidade de ar comprimido 24 horas por dia. Esses achados reforçam a importância da identificação precoce de vazamentos e da adoção de práticas de manutenção preditiva e inspeção periódica.

4.4 IMPACTO ENERGÉTICO E FINANCEIRO DAS PERDAS

Para estimar o impacto energético do vazamento, considerou-se um fluxo contínuo de 5 L/min (0,005 m³/min) conforme mensurado pelo medidor de fluxo, a uma pressão média de 7 bar conforme levantamento de pressão da entrada do equipamento, durante 24 horas de operação diária.

O cálculo do volume anual perdido é dado pela Equação 1:

$$Q_{anual} = 0,005 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/h} \times 24 \text{ h/dia} \times 365 \text{ dias} \quad (1)$$

$$Q_{anual} = 2.628 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Sabendo que o consumo específico médio de energia para geração de ar comprimido é de aproximadamente 0,1 kWh/m³ (Eletrobrás/PROCEL, 2005), a perda anual de energia elétrica é estimada pela Equação 2:

$$E_{perdida} = 2.628 \times 0,1 = 262,8 \text{ kWh/ano} \quad (2)$$

Com base no custo médio da energia elétrica industrial de R\$ 0,40/kWh, o prejuízo financeiro anual associado ao vazamento é calculado pela Equação 3:

$$C_{perda} = 262,8 \times 0,40 = R\$105,12/ano \quad (3)$$

Sendo 262,8 a quantidade de kWh/ano perdidos multiplicados pelo custo de cada kWh.

Embora o valor absoluto possa parecer baixo, a extrapolação para toda a rede de ar revela o potencial impacto econômico: se dez pontos apresentarem vazamentos semelhantes, o prejuízo pode ultrapassar R\$ 1.051,20 por ano, além de representar desperdício energético e redução da vida útil do compressor.

4.5 DISCUSSÃO TÉCNICA E PROPOSTAS DE MELHORIA

Os resultados obtidos permitem afirmar que o sistema de ar comprimido do setor de embalagem apresenta condições operacionais satisfatórias, com pressão estável, ausência de umidade e desempenho consistente dos equipamentos pneumáticos. Contudo, o vazamento identificado nas conexões do bloco de válvulas demonstra a necessidade de aprimorar as práticas de manutenção preditiva e de intensificar o monitoramento contínuo da rede, especialmente em pontos mais sensíveis do sistema.

Como sugestão de melhoria, recomenda-se a implementação de um monitoramento baseado em medidores de fluxo de ar instalados na entrada de alimentação de cada equipamento da linha de embalagem secundária. Esse tipo de sensor permite identificar variações anormais no consumo e detectar vazamentos de forma indireta, dispensando a utilização de equipamentos mais complexos, como detectores ultrassônicos. A principal vantagem dessa solução está na simplicidade de aplicação e na capacidade de fornecer dados em tempo real, mesmo quando os equipamentos se encontram fora de operação.

Ademais, o monitoramento sistemático do fluxo possibilita a construção de um histórico de consumo do setor, permitindo identificar padrões e antecipar intervenções apenas quando necessárias. Essa abordagem fortalece as estratégias de manutenção preditiva, reduzindo o desperdício de tempo e recursos.

Como resultado das análises realizadas, elaborou-se um plano de ação estruturado, apresentado no Quadro 1, que organiza as principais medidas propostas, seus objetivos e prazos estimados de implementação. Esse plano oferece uma visão integrada das melhorias necessárias, facilitando a execução e o acompanhamento das ações.

Quadro 1 - Plano de ação

Nº	Ação Proposta	Justificativa	Método	Prazo	Impacto Esperado
1	Reparar o vazamento identificado no bloco de válvulas da Formadora de Caixas 3	O vazamento gerou perda de ~5 L/min, aumentando o consumo energético e reduzindo a eficiência do sistema	Substituição ou das conexões;	Imediato (1–2 dias)	Redução do consumo;
2	Implantar rotina de inspeção preditiva com medição de fluxo (medidores de fluxo de ar fixos)	Vazamentos pequenos tendem a aumentar com o tempo e podem não ser percebidos	Instalação de sensores simples de fluxo na entrada dos equipamentos;	Curto prazo	Detecção precoce de vazamentos;
3	Revisar periodicamente a regulagem de pressão dos equipamentos	Pressões acima do necessário aumentam o consumo energético	<i>Check-list</i> semanal pelos operadores;	Contínuo	Estabilização do consumo; menor carga no compressor
4	Registrar e monitorar volume de condensado em pontos estratégicos	Apesar de não ter sido identificada umidade, recomenda-se controle contínuo	Registro em planilha	Médio prazo	Garantia de qualidade do ar;
5	Capacitar a equipe sobre boas práticas de ar comprimido	Evita ajustes incorretos e manipulação inadequada	Treinamento interno	Médio prazo	Redução de falhas operacionais;

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Por fim, destaca-se que as medidas sugeridas contribuem diretamente para a redução do consumo energético e das perdas por vazamento, alinhando o setor aos princípios de eficiência e sustentabilidade recomendados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2008). Assim, reforça-se o compromisso da agroindústria com práticas industriais mais eficientes e energeticamente responsáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar o desempenho do sistema de ar comprimido no setor de embalagem de uma agroindústria, com foco na estabilidade da pressão, qualidade do ar e identificação de perdas por vazamento. A partir do monitoramento realizado durante duas semanas consecutivas, foi possível constatar que a rede de ar apresenta condições operacionais adequadas, atendendo às exigências de pressão e estabilidade necessárias para o funcionamento dos equipamentos pneumáticos da linha de produção.

A pressão de operação manteve-se constante em aproximadamente 7 bar, valor que se enquadra dentro da faixa ideal de trabalho recomendada para sistemas industriais de automação. Mesmo no último ponto da rede, caracterizada por uma configuração do tipo aberta, não foram

registradas perdas significativas de carga, o que evidencia um bom dimensionamento e um sistema de distribuição eficiente.

Durante o monitoramento da unidade de preparação de ar, não foram detectados indícios de umidade ou contaminação, indicando que o processo de secagem e filtragem está atuando de maneira eficaz. Essa condição é essencial para preservar a integridade dos componentes pneumáticos e garantir a conformidade com os requisitos da norma ABNT NBR ISO 8573-1 (2019).

Entretanto, foi identificado um pequeno vazamento nas conexões do bloco de válvulas, que, embora de baixa magnitude, representa uma fonte de desperdício contínuo de energia e recursos. Com base em estimativas técnicas, o vazamento implica em perdas que, se não corrigidas, podem resultar em custos energéticos acumulados significativos ao longo do tempo.

Como sugestão de melhoria, recomenda-se a adoção de monitoramento preditivo por meio de medidores de fluxo de ar, capaz de detectar variações anormais no consumo e antecipar intervenções de manutenção. Essa medida, aliada a inspeções periódicas e a um plano de manutenção preditiva estruturado, pode reduzir perdas, otimizar o uso de energia e aumentar a confiabilidade do sistema.

Em síntese, conclui-se que o sistema de ar comprimido analisado opera em boas condições técnicas, apresentando apenas ajustes pontuais a serem realizados. O estudo reforça a importância do diagnóstico contínuo e da gestão eficiente do ar comprimido como elementos fundamentais para a sustentabilidade energética e a competitividade industrial, em consonância com os princípios do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2008).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6493: Emprego de cores para identificação de tubulações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 8573-1: Ar comprimido — Parte 1: Contaminantes e classes de pureza**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ATLAS COPCO. **Imagem – Compressor ZR series cover square**. Disponível em: [https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/ZR+cover+square?\\$landscape800&fmt=png-alpha](https://atlascope.scene7.com/is/image/atlascope/ZR+cover+square?$landscape800&fmt=png-alpha). Acesso em: 22 set. 2025.

ATLAS COPCO. **Manual de ar comprimido**. São Paulo: Atlas Copco, 2015.

BOSCH. **Sistemas de ar comprimido: guia de dimensionamento**. São Paulo: Bosch, 2008.

ELETROBRÁS/PROCEL; EFFICIENTIA/FUPAI. **Manual de eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/PROCEL, 2005.

ELETROBRÁS; EFFICIENTIA; FUPAI. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

FIALHO, F. A. P. **Redes de ar comprimido: dimensionamento e instalação**. Belo Horizonte: Ed. do Autor, 2004.

MACYNTIRE, A. J. **Dimensionamento de reservatórios e redes de ar comprimido**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

MALDANER, J. R. **Sistemas de ar comprimido: geração, tratamento e distribuição**. 2. ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2018.

METALPLAN. **Guia prático de ar comprimido**. São Paulo: Metalplan, 2010.

MTI Brasil. **Imagem – Tipos de secadores de ar comprimido**. Disponível em: https://mtibrasil.com.br/_wp-content/uploads/2024/03/tipos-de-secadores-de-ar-comprimido.jpg. Acesso em: 22 set. 2025.

MTI Brasil. **Imagem – Unidade de preparação de ar**. Disponível em: https://mtibrasil.com.br/_wp-content/uploads/2024/02/unidade-lubrifil-partes.jpg. Acesso em: 22 set. 2025.

PACCO. **Instalações pneumáticas industriais**. São Paulo: Pacco, 2013.

PARKER TRAINING. **Manual técnico de ar comprimido e pneumática**. São Paulo: Parker Hannifin, 2006.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2009.

PTF-ESTI. **Imagem – Ponto de consumo de ar comprimido**. Disponível em: [https://www.ptf-esti.pt/fotos_artigos/images/DSCN0221\(1\).JPG](https://www.ptf-esti.pt/fotos_artigos/images/DSCN0221(1).JPG). Acesso em: 22 set. 2025.

SCHULZ S/A. **Reservatório vertical de ar comprimido SCS 1800, 13 bar – imagem de produto**. Disponível em: https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/1152603/180_reservatorio_vertical_ar_comprimido_schulz_scs_1800_13_bar_1559_1_dd26d74dfb5510d5f33f9492baa5f665.jpg. Acesso em: 22 set. 2025.

SILVA, José Carlos da. **Pneumática industrial: princípios básicos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2002.

SOUZA, Guilherme Oliveira de. **Monitoramento da qualidade do ar comprimido através da medição da umidade**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí, 2019.