

ANÁLISE FUNCIONAL DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Anderson Crimarosti Dalo¹
Roberto Carlos Michatowski²
Bruno Turmina Guedes³

RESUMO

O estudo realizado teve o propósito de avaliar a conformidade de um sistema de geração e distribuição de ar comprimido através de uma análise funcional. O objetivo foi a identificação de melhorias, adequações e redução de custos com energia elétrica. Foram descritos no decorrer do trabalho os requisitos necessários para garantir maior eficiência do sistema pneumático em relação a qualidade do ar gerado e redução de custos. Com base na avaliação do sistema estudado, foram comparados itens conformes de acordo com literaturas específicas e solucionados os pontos não conformes. Estimou-se um custo anual com energia elétrica com base nos vazamentos encontrados, resultando em um total de R\$241.889,00. Concluiu-se que o sistema está de acordo com sua aplicação, sendo sugeridas algumas melhorias para garantir o funcionamento eficaz.

Palavras-chave: Ar comprimido. Sistema pneumático. Custos com energia elétrica. Conformidades.

1 INTRODUÇÃO

No cenário global podemos notar grande concorrência entre empresas, desde indústrias alimentícias a tecnológicas. Todos os centros de produção, tem como similaridade a busca por fornecimento de produtos padronizados, com qualidade e agilidade na fabricação, para poder suprir a demanda de consumo e obter novos clientes, mantendo os já existentes.

Para toda e qualquer classe de fabricação de produtos, é necessário o implemento de equipamentos no processo de produção. Ao observar a parte interna de uma indústria, é possível visualizar o emprego de máquinas que utilizam motores elétricos, inversores de frequência, *soft starter*, bombas centrífugas, bombas dosadoras, componentes hidráulicos e pneumáticos.

Certos equipamentos têm função fundamental no processo, atingindo diretamente a produção, que terá no resultado final o espelhamento entre qualidade e custo, sendo de extrema importância garantir o pleno funcionamento. Esse é o caso dos equipamentos pneumáticos.

¹ Acadêmico de Engenharia Mecânica UCEFF, 2021. E-mail: andersondalo27@gmail.com.

² Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF. E-mail: michatowski@uceff.edu.br.

³ Docente do curso de Eng. Mecânica. E-mail: brunoguedes@uceff.edu.br.

Os sistemas de ar comprimido têm predominância por se tratar de componentes que exercem trabalho mecânico utilizando a fonte mais abundante na natureza para funcionamento, o ar. Para garantir que o uso seja eficiente, é necessário ter precauções, mantendo um ar de qualidade para exercer os trabalhos, procurando manter pressões adequadas, executando manutenções preventivas, substituições de componentes ao final da vida útil e verificação de possíveis vazamentos no sistema.

Todos os sistemas de ar comprimido estão sujeitos a vazamentos e não são raras perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido. Portanto, identificar, eliminar e reduzir os vazamentos de ar comprimido é uma das maneiras mais simples e eficientes de economizar energia (METAPLAN, 2010).

Perante o contexto, questiona-se: **Como manter pressões adequadas no sistema de distribuição, evitar paradas de fábrica e diminuir consumo desnecessário de ar comprimido?** O objetivo geral da pesquisa é identificar necessidades de melhoria e de redução de custos de energia elétrica através da análise funcional de um sistema de ar comprimido. De forma específica, os objetivos serão: Avaliar a conformidade do sistema afim de identificar pontos de vazamento de ar comprimido e a sua representatividade, mapear os pontos críticos de consumo, identificar pontos de consumo que apresentam queda de pressão e sugerir necessidades de adequação e reparos.

Diante da importância dessa tecnologia e todos atributos concedidos, é justo analisar a fundo possíveis soluções afim de otimizar e sanar problemas frequentes em sistemas de ar comprimido. É do interesse de instituições e empresas o assunto abordado, pois através desse estudo, será possível observar causas e soluções para vazamentos de ar, quedas de pressões no sistema e o uso inteligente do ar comprimido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ar comprimido não está ligado somente ao uso industrial, antes de existir tecnologia suficiente para aplicações em trabalhos e processos que exigem pressões elevadas, já era utilizado pela humanidade. No Brasil por exemplo, povos indígenas utilizavam o ar comprimido pelos pulmões para fazer fogo através do atrito de dois gravetos e sopros, também utilizado para caçar, soprando projéteis em zarabatanas.

Em aplicações industriais, o fole foi o primeiro equipamento de compressão de ar a ser utilizado. Tinha como finalidade aumentar a temperatura de funcionamento da forja em

processos de fundição de metais. A primeira utilização do ar comprimido em grande escala foi em 1861, na perfuração de um túnel nos Alpes suíços, onde foi reduzido o tempo de execução da obra em 23 anos comparado a perfuração braçal (SANTOS; SILVA, 2014).

A pneumática é o estudo dos movimentos e fenômenos dos gases, conhecida desde a antiguidade, entretanto, foi somente a partir de meados de 1950 que obteve maior aplicação industrial (MOREIRA, 2008).

Hoje em dia o uso do ar comprimido nas indústrias é voltado para diversas operações, entre elas estão os atos de furar, roscar, prensar, cortar, empurrar, puxar, levantar, pintar, etc. (SANTOS; SILVA, 2014). Para que o sistema seja ideal, é necessário garantir uma série de cuidados. Moreira (2008) cita a importância de manter um sistema íntegro e livre de vazamentos, para que não haja gasto desnecessário de energia elétrica que acarreta em custos financeiros elevados.

Com base nas citações de Santos e Silva (2014) e Moreira (2008), é possível identificar a importância da pneumática para inúmeras aplicações, em especial o uso industrial. Sendo necessário dispor de um sistema adequado, que possa possibilitar confiança, segurança e eficácia. Todos os atributos trazem impactos diretos a custos excessivos como o de energia elétrica e parada de produção.

2.1 AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é responsável por todos os trabalhos executados em componentes pneumáticos. É muito utilizado, principalmente em indústrias por se tratar de um elemento abundante e gratuito no meio ambiente. As propriedades físicas do ar contribuem para diversas aplicações. Fialho (2015) comenta sobre as características do ar comprimido, sendo elas: expansibilidade, compressibilidade e elasticidade.

O ar é capaz de adquirir o formato do recipiente onde se encontra, é suscetível a compressão em temperatura constante e possui a capacidade de retornar ao seu volume inicial após exercer o trabalho. Segundo Moreira (2008) o ar comprimido é essencial na indústria, podendo ser aplicado nos mais diversos processos de fabricação.

2.2 PNEUMÁTICA

De forma geral, a pneumática trata-se da empregabilidade do ar comprimido como elemento transmissor de energia, onde através de componentes pneumáticos é utilizado para exercer movimentos de cortar, prensar, puxar, empurrar, levantar, abaixar, entre outros (SANTOS; SILVA 2014).

2.2.1 Sistema Pneumático

O sistema pneumático é composto por diversos equipamentos, desde a admissão e compressão do ar, até o tratamento, armazenagem e distribuição. No Quadro 1 é possível verificar a relação entre componentes e funções exercidas no sistema.

Quadro 1 – Dispositivos e funções que compõe um sistema de geração e distribuição de ar comprimido

Dispositivos	Função
Compressor	Transformar energia elétrica em energia pneumática, comprime o ar atmosférico elevando a pressão ou velocidade do elemento.
Resfriador	Reduzir a temperatura do ar após saída do compressor até níveis de temperatura ambiente, a fim de condensar contaminantes gasosos.
Filtro	Remover partículas contaminantes presente no ar comprimido, garantindo ao sistema ar limpo e de qualidade para os equipamentos.
Secador	Remover a umidade presente no ar através da secagem, assegurando ar seco no reservatório e rede de distribuição.
Reservatório	Armazenar o ar comprimido que é gerado para garantir reserva de emergência e manter o sistema em pressão estável.

Fonte: adaptado de Santos e Silva (2014); Fialho (2015).

2.2.2 Compressores de Ar

Os compressores de ar são fundamentais para o sistema pneumático, como já diz o nome, são equipamentos utilizados para comprimir o ar aspirado da atmosfera, elevando o mesmo a pressões de trabalho de até 8 bar. Em aplicações industriais, devido à alta demanda, é priorizado dois tipos de compressores, do tipo dinâmico que são classificados em centrífugos e axiais e empregados em operações que necessitam atingir velocidades altas, e compressores do tipo volumétrico que são classificados em rotativos e alternativos com finalidade de comprimir o ar visando aumento de pressão (SANTOS; SILVA, 2014).

2.3 MELHORIAS DO SISTEMA

Todo sistema está sujeito a melhorias, o sistema pneumático não é diferente. São vários os fatores que podem desencadear efeitos positivos no quesito redução de gastos por consumo de energia elétrica.

2.3.1 Temperatura de Aspiração

A temperatura do ar está diretamente relacionada a quantidade do fluido que poderá ser aspirado pelo compressor, pois quanto mais baixa a temperatura maior será a quantidade de massa de ar aspirada. Segundo Eletrobrás (2005) para cada 4°C de aumento de temperatura do ar aspirado, o consumo de energia aumenta em 1%.

O Quadro 2 correlaciona as temperaturas do ar aspirado e os percentuais de potência, tendo como base a temperatura de 21°C.

Quadro 1: Correlação temperatura e potência

Temperatura do ar de aspiração (°C)	Potência economizada ou incrementada Temperatura de referência 21°C
-1,0	7,5% (economizado)
4,0	5,7% (economizado)
10,0	3,8% (economizado)
16,0	1,9% (economizado)
21,0	0,0
27,0	1,9% (incrementado)
32,0	3,8% (incrementado)
38,0	5,7% (incrementado)
43,0	7,6% (incrementado)
49,0	9,5% (incrementado)

Fonte: Eletrobrás (2005).

Em utilização industrial os valores de economia de energia são significativos, maiores ainda quando a operação do sistema de ar comprimido é interrompida.

2.3.2 Pressão de trabalho

A pressão de trabalho do sistema deve ser tratada com atenção por afetar diretamente o consumo de energia. Em uma planta que disponibiliza de diversos equipamentos dos mais variados modelos, marcas e aplicações, deve se manter a regulagem correta da pressão de trabalho. Desta forma, é importante respeitar as especificações solicitadas pelos fabricantes.

Os equipamentos com regulagem incorreta de pressão de trabalho, geram consumo desnecessário do ar comprimido. Quando diversos equipamentos estão fora dos parâmetros requeridos, causam oscilações na pressão da rede, resultando no maior esforço dos compressores na etapa de geração de ar comprimido e quando não suprem a demanda necessária, ocorre o desarme dos equipamentos devido a pressão baixa de ar comprimido no sistema (ELETROBRÁS, 2005).

2.3.3 Quedas de pressão

A queda de pressão na rede de ar comprimido está associada aos elementos estranguladores presentes na rede. São inúmeros componentes que causam perda de carga, como válvulas, tê, curvas, entre outros. Devido ao uso necessário desses itens, é tolerável uma perda de carga de até 0,3 bar para redes de até 500m e 0,5 bar para redes superiores a 500m (SANTOS; SILVA, 2014).

Os valores de perda de carga são tabelados, segundo Fialho (2015) os itens descritos no Quadro 3 representam as respectivas perdas de carga equivalente ao comprimento da rede em linha reta.

Quadro 3 - Elementos estranguladores de ar comprimido

Elemento	Comprimento Equivalente [m]
Tê roscado com fluxo em derivação	3,9
Tê roscado com fluxo em linha	2,8
Válvula do tipo gaveta	0,52
Curva de 90° de raio longo	1,1

Fonte: Adaptado de Fialho (2015).

É indicado analisar a planta e os pontos de consumo existentes, a fim de evitar utilização desnecessária desses elementos. Por menor que seja a perda de carga em cada item, quando utilizados em plantas que requerem diversos pontos de consumo e grandes distâncias entre setores, o valor das perdas de cargas se torna alto, muitas vezes ultrapassando o valor tolerável.

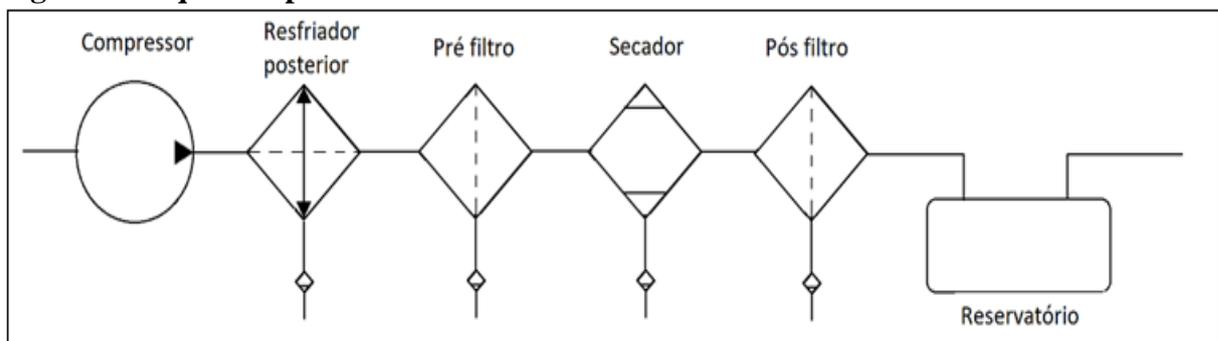
2.4 TRATAMENTO

Para garantir maior durabilidade, eficiência e confiabilidade de equipamentos pneumáticos, é preciso exercer o trabalho utilizando ar limpo e de qualidade. Segundo Festo

(2015) 1 m³ de ar comprimido não tratado contém quase 200 milhões de partículas de sujeira, sendo elas: água, óleo, chumbo, cádmio e mercúrio.

Os contaminantes presentes no ar não tratado são os principais causadores de falhas em um sistema, reduzindo drasticamente a vida útil dos componentes. A norma regulamentadora da qualidade do ar comprimido é a ISO 8573-1, que determina classes de qualidade através de parâmetros quantitativos. As classes são divididas em cinco, indicando valores máximos de partículas sólidas, água e óleo aceitos para cada uma. A norma ISO 8573-1 estabelece uma sequência padrão de equipamentos de tratamento de ar (SANTOS; SILVA, 2014).

Figura 1: Sequência padrão



Fonte: Adaptado de Metaplan (2010).

2.4.1 Filtros

Conforme analisado anteriormente, todos os dispositivos são de extrema importância para que o ar comprimido seja de qualidade, isento de contaminantes e umidade. Fialho (2015) cita a importância da preparação do ar comprimido, sendo adepto ao uso de filtros e purgadores para o processo. A sequência padrão indica os componentes básicos para que as atividades de geração, tratamento e distribuição sejam eficientes. Para empregabilidade em indústrias alimentícias e farmacêuticas pode e deve ser utilizado maior quantidade e diversidade de filtros e purgadores na linha, para assegurar que o ar comprimido seja livre de impurezas.

Os filtros têm grande gama de aplicações, sendo designado tipos específicos conforme a aplicação exigida para o processo (SANTOS; SILVA, 2014). As formas de identificação dos filtros e suas respectivas aplicações são baseadas na quantidade de partícula por milhão (ppm) de remoção de óleo e a micra (μ) para remoção de partículas do ar.

Quadro 4 - Modelo de filtros

Tipo de filtro	Finalidade	Remoção de óleo (ppm)	Remoção de partículas (μ)
DD	Filtro coalescente para proteção geral	0,1	1
DDp	Filtro de partículas para proteção contra poeiras	-	1
PD	Filtro coalescente de grande eficiência	0,01	0,01
PDp	Filtro de partículas de grande eficiência para proteção contra poeiras	-	0,01
QD	Filtro de carvão ativado para remoção de vapores de óleo e odores	0,003	-

Fonte: Atlas Copco (2016).

2.5 MANUTENÇÃO

O sistema de ar comprimido dispõe de diversos componentes e equipamentos, em virtude disso, é necessária a realização de manutenção preventiva.

2.5.1 Componentes Consumíveis

No caso de utilização de componentes com vida útil pré-definida, deve ser considerado a verificação periódica das horas de trabalho e caso disponibilizem de manômetro verificar o percentual de saturação.

Segundo Moreira (2008), devem ser verificados:

- Filtros de ar comprimido (avaliar necessidade de substituição);
- Reguladores de pressão de ar comprimido (examinar integridade);
- Lubrificador de ar comprimido (verificar nível de óleo).

2.5.2 Manutenção dos Compressores de Ar

A manutenção preventiva do compressor de ar deve ser seguida conforme especificações dos fabricantes, respeitando a periodicidade. Segundo Parker (2007) deve ser elaborado um plano semanal de manutenção, contemplando verificação do nível de lubrificação nos mancais, motor e cárter. Deve ser realizada a limpeza do filtro de ar e verificação do tensionamento das correias nesse mesmo período.

2.5.3 Manutenção da Rede

Além dos equipamentos e componentes, é de extrema importância averiguar a integridade da rede de distribuição de ar comprimido, checando possíveis vazamentos e pontos de oxidação. Caso seja necessário, em eventuais vazamentos ou corrosões, a rede de distribuição de ar comprimido deve ser reparada ou parcialmente ou substituída completamente.

2.6 VAZAMENTOS

Todos os sistemas pneumáticos estão sujeitos a vazamentos, não são raros os casos de perda de até 40% de todo o ar comprimido produzido (METAPLAN 2010). Dessa forma, é necessário tomar precauções para evitar desperdício de energia. Através de processos simples de verificação da integridade da rede e componentes, é possível identificar pontos de fuga de ar comprimido em tubos, válvulas, mangueiras e conexões (SANTOS; SILVA, 2014).

Quadro 5 - Representatividade de vazamentos

Diâmetro do furo [mm]	Escape de ar [m ³ /s]	Potência necessária para compressão [kW]
1	0,001	0,3
3	0,010	3,1
5	0,027	8,3
10	0,105	33

Fonte: Santos e Silva (2014).

Levando em consideração que o valor médio do kWh para tarifa convencional de demais classes está em torno de R\$ 0,53 no estado de Santa Catarina, em um prazo de um ano com um sistema pneumático apresentando vazamentos, o valor gasto com energia elétrica para gerar o ar comprimido e manter a pressão na rede torna-se muito significativa. Em aplicações industriais, o desperdício de ar comprimido pode atingir níveis astronômicos e o custo alcançar centenas de milhares de reais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em um sistema pneumático utilizado para alimentação de ar comprimido em equipamentos de uma agroindústria localizada no Oeste de Santa Catarina, onde avaliou-se a integridade dos equipamentos e da rede de distribuição de ar comprimido.

Através da instalação de um *fieldlogger* (equipamento registrador de dados) em pontos

estratégicos, possibilitou-se o registro da pressão na rede de ar comprimido. O equipamento realizou a coleta registrando os dados de dez em dez segundos, durante alguns dias em cada ponto escolhido.

Realizou-se uma verificação da integridade dos dispositivos pneumáticos e rede de distribuição de ar comprimido, identificando condições de uso, regulagens de pressão, vazamentos nas redes de distribuição e conexões, componentes danificados e consumíveis com final de vida útil atingida. A etapa a seguir, foi a interpretação dos dados coletados pelo *fieldlogger*, de forma a delimitar os locais que apresentam maiores quedas de pressão.

Através de bloqueio de linha de distribuição de ar comprimido foi possível estipular o consumo de ar comprimido parcialmente. A próxima etapa consistiu em solucionar problemas de vazamento de ar comprimido, regulando equipamentos na pressão correta de trabalho, substituindo componentes danificados e/ou com final de vida útil atingida, substituindo em pontos específicos mangueiras de distribuição de ar comprimido existentes por mangueiras de maior qualidade e que supram a demanda em condições atípicas.

Realizou-se uma estimativa de custo com desperdício de ar comprimido com base em vazamentos encontrados em conexões e furos em mangueiras de distribuição. Foi elaborado um cálculo tendo como base os dados tabelados da representatividade de vazamento, as horas trabalhadas diariamente, os dias de trabalho no ano e o valor do kW/h. Através dos resultados obtidos na análise, foram sugeridas algumas melhorias no sistema pneumático.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O sistema pneumático disposto para estudo é utilizado para aplicação industrial, sendo empregado em uma agroindústria localizada no Oeste de Santa Catarina, tendo como principal função a alimentação de ar comprimido em dispositivos pneumáticos que atuam diretamente no processo de fabricação. O estudo realizou-se através da análise do sistema pneumático, onde foi possível observar e avaliar as condições de uso de equipamentos, componentes e redes de distribuição de ar comprimido.

O sistema é composto por um compressor da marca Schulz modelo SRP 5100 com motor de 100 hp e capacidade de compressão de até 13.507 l/min de ar trabalhando a 7 bar de pressão. Atualmente, o compressor trabalha com a pressão de 7 bar e a vazão entre 80% e 100%, conforme a necessidade de consumo. O equipamento está em boas condições de operação. São efetuadas substituições de componentes e óleo conforme o manual de operação

indica, contendo preventiva de verificação periódica de integridade e das horas de operação em carga pelo setor de manutenção. O local de instalação é arejado e protegido contra qualquer condição climática passível de danos ao equipamento.

Figura 2: Interface compressor



Fonte: Autor (2021).

Figura 3: Compressor de ar



Fonte: Autor (2021).

Após o compressor de ar estar conectado a um secador de ar comprimido da marca Fargon modelo FDH 1200 com dupla coluna de adsorção, onde cada coluna é capaz de secar até 10.987 l/min (388 PCM) de ar comprimido. O secador encontra-se em boas condições de operação, suprimindo a demanda de secagem.

Figura 4: Secador de ar



Fonte: Autor (2021)

Figura 5: Especificações secador de ar



Fonte: Autor (2021).

Na saída do secador de ar, estão instalados dois elementos filtrantes da marca Puro, ambos de grau A1, com remoção de partículas de até 1 μ (micra), inclusive água e óleo condensados. A capacidade de filtragem de cada elemento filtrante é de 25.796 l/min (911 PCM) de ar comprimido.

Figura 6: Elementos filtrantes



Fonte: Autor (2021).

Figura 7: Especificações elementos filtrantes



Fonte: Autor (2021).

Existe também um reservatório de ar comprimido da marca Arxo com capacidade de armazenamento de 2.000 l, que está disposto logo após ao secador de ar comprimido. O reservatório encontra-se em boas condições de operação.

Figura 8: Reservatório de ar



Fonte: Autor (2021).

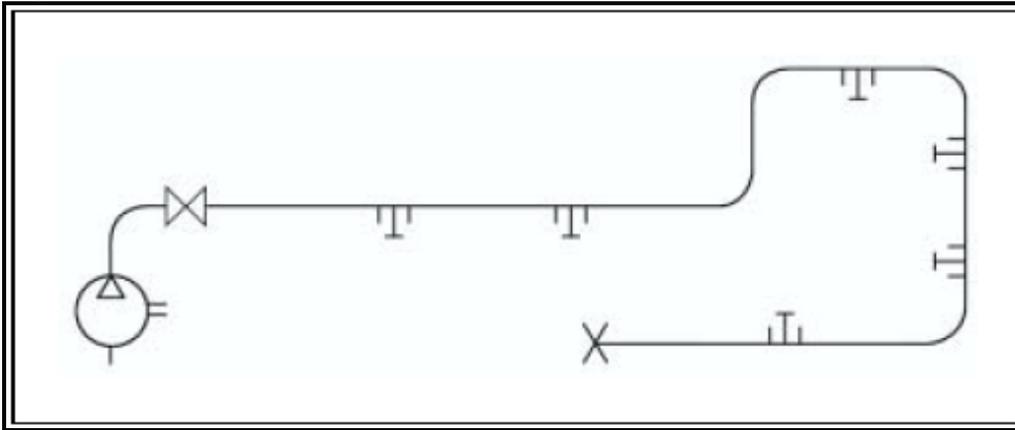
Figura 9: Especificações reservatório de ar



Fonte: Autor (2021).

O compressor, o secador e o reservatório de ar comprimido estão instalados em uma sala específica, denominada sala dos compressores. Por se tratar de uma fábrica relativamente antiga (23 anos), passou por diversas alterações em sua planta, desde adequações a ampliações, por este motivo não foi possível encontrar um projeto atualizado contendo todo o sistema pneumático e linhas de distribuição. A rede de distribuição de ar comprimido é do tipo circuito aberto, ou seja, inicia a distribuição na saída dos compressores e finaliza no último ponto de consumo, conforme a Figura 10.

Figura 10: Rede em circuito aberto



Fonte: Moreira (2008).

Na verificação em campo, possibilitou-se estimar a dimensão das tubulações de distribuição de ar comprimido com auxílio de trena a laser.

A distribuição do ar comprimido parte da sala dos compressores, onde a tubulação primária de 2" em aço inoxidável passa pelo setor de manutenção, posteriormente área central, se prolonga até o setor do moinho e se ramifica entre os setores com tubulações de 1" em aço inoxidável. Há uma ramificação de 1" em aço inoxidável na sala dos compressores que é destinada para a área dos calados.

Na sala dos compressores os equipamentos são interligados por tubulações de 2" em aço inoxidável, com comprimento de 24 metros e contendo 16 curvas de ângulo 90° raio longo até a tubulação de saída principal para a fábrica e uma linha secundária composta por tubulação de 1" em aço inoxidável com 20 metros e 5 curvas de ângulo 90° raio longo que distribui ar comprimido até a área dos calados.

No setor da manutenção contabilizou-se 10 metros de tubulação primária de 2" em aço inoxidável. Na área central há 20 metros de tubulações de 2" em aço inoxidável e ramificações de 1" em aço inoxidável que contabilizam 180 metros contendo 30 curvas de ângulo 90° raio longo.

A distribuição de ar comprimido até o setor do moinho é realizada através da tubulação primária de 2" em aço inoxidável, tendo 152 metros contendo 18 curvas de ângulo 90° raio longo e ramificações de 1" em aço inoxidável que contabilizam 46 metros contendo 15 curvas de ângulo 90° raio longo.

Deve-se considerar uma tolerância dimensional de 5 metros na tubulação primária e 5 metros na tubulação secundária referente as medidas coletadas. Toda rede de distribuição de

ar comprimido em aço inoxidável encontra-se conforme e dentro dos padrões sugeridos por Moreira (2008), contendo tomadas de ar e declive na direção do fluxo.

Em todos os setores há a presença de purgadores de condensado, para garantir proteção extra aos componentes e equipamentos, eliminando ao máximo a presença de condensado.

Figura 11: Purgador de condensado



Fonte: Autor (2021).

São dispostos filtros de ar comprimido entre as linhas de distribuição, instalados antes dos equipamentos pneumáticos. Os filtros são coalescentes para proteção geral, onde cada filtro remove até 0,1 ppm (partícula por milhão) de óleo e 1μ (micra) de partículas presentes no ar comprimido.

Figura 12: Filtro de ar comprimido



Fonte: Autor (2021).

Em alguns locais estão instalados lubrificadores de ar comprimido (lubrifil), a fim de aumentar a vida útil dos componentes que necessitem de lubrificação interna.

Figura 13: Lubrifil



Fonte: Autor (2021).

O sistema pneumático dispõe de itens como purgadores e filtros, que segundo Fialho (2015) são necessários para a preparação do ar comprimido, garantindo um ar isento de impurezas e umidade.

Os pontos de consumo e equipamentos geralmente são interligados através de mangueiras de ar comprimido e foi onde constou-se grande quantidade de vazamentos, sendo proveniente de furos nas mangueiras ou más conexões entre o ponto de consumo/equipamento. As mangueiras de distribuição são de dois materiais diferentes, em alguns locais são de poliamida e em outros locais são de poliuretano tendo em ambos os materiais os diâmetros de 6 milímetros, 8 milímetros e 10 milímetros para atender a necessidade de consumo de ar dos equipamentos.

Figura 14: Mangueira poliuretano



Fonte: Autor (2021).

Figura 15: Mangueira poliamida



Fonte: Autor (2021).

Foram encontrados cerca de 19 vazamentos em todo o perímetro da fábrica, conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Quantidade de vazamentos

Quantidade	Diâmetro equivalente do furo [mm]	Local
6	1	Área central
8	3	Área central
1	5	Área central
2	1	Calados
2	5	Calados

Fonte: Autor (2021).

Realizou-se um cálculo estimando o custo anual com energia elétrica desperdiçada baseando-se na quantidade de vazamentos encontrados. Por se tratar de uma empresa que trabalha todos os dias do ano em período integral, considerou-se um regime de trabalho de 24 horas diárias, um total de 365 dias no ano e o valor do kWh em torno de R\$ 0,53. Multiplicou-se a quantidade de furos, potência necessária para compressão [kW], horas trabalhadas, dias trabalhados e valor do kW/h.

Quadro 7 – Estimativa de custo por vazamentos

Diâmetro dos furos [mm]	Quantidade de furos	Potência necessária para compressão [kW]	Horas trabalhadas	Dias trabalhados	Valor kW/h [R\$]	Custo com vazamento por furo [R\$]
1	8	0,3	24	365	0,53	11.142,72
3	8	3,1	24	365	0,53	115.141,44
5	3	8,3	24	365	0,53	115.605,72

Fonte: Autor (2021).

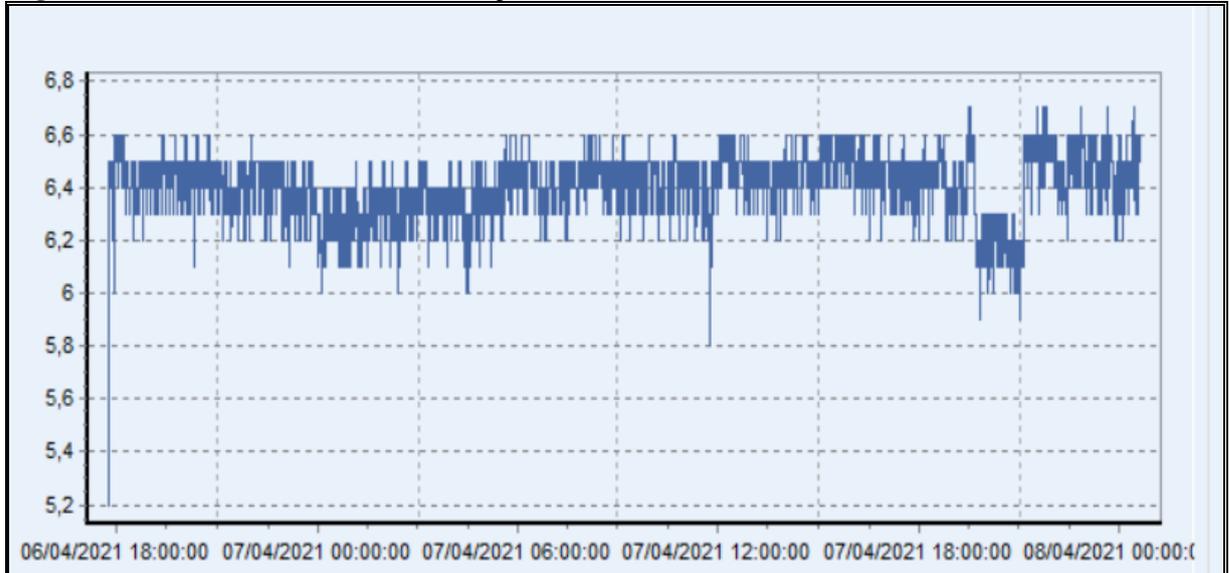
Obteve-se uma estimativa de custo total anual com vazamentos (somando todos os custos) de aproximadamente R\$ 241.889,00. Além dos vazamentos em mangueiras e conexões também foram identificados vazamentos de ar em atuadores pneumáticos. Não foi possível estimar a proporção devido o problema ser nos reparos/vedações internas.

Observou-se que existiam equipamentos com regulagem de pressão fora das especificações sugeridas pelo fabricante, o que gera maior desperdício de ar comprimido.

Através da instalação de um *fieldlogger* da marca Novus acoplado com um transmissor de pressão da marca IFM no setor do moinho, área central e manutenção, foi possível mapear a pressão do ar comprimido. O equipamento foi instalado nesses três pontos estratégicos a fim de possibilitar melhor visualização da pressão da rede. Nas imagens abaixo

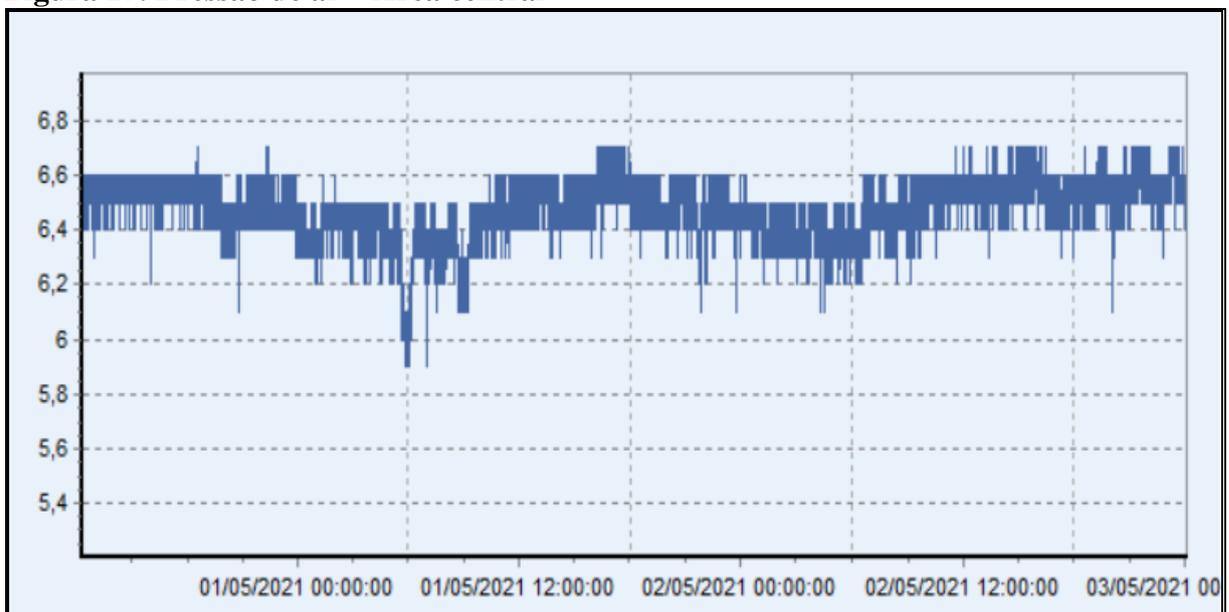
é possível identificar a pressão da rede, onde o eixo vertical equivale a pressão em bar e o eixo horizontal equivale a data e hora dos registros.

Figura 16: Pressão de ar - Manutenção

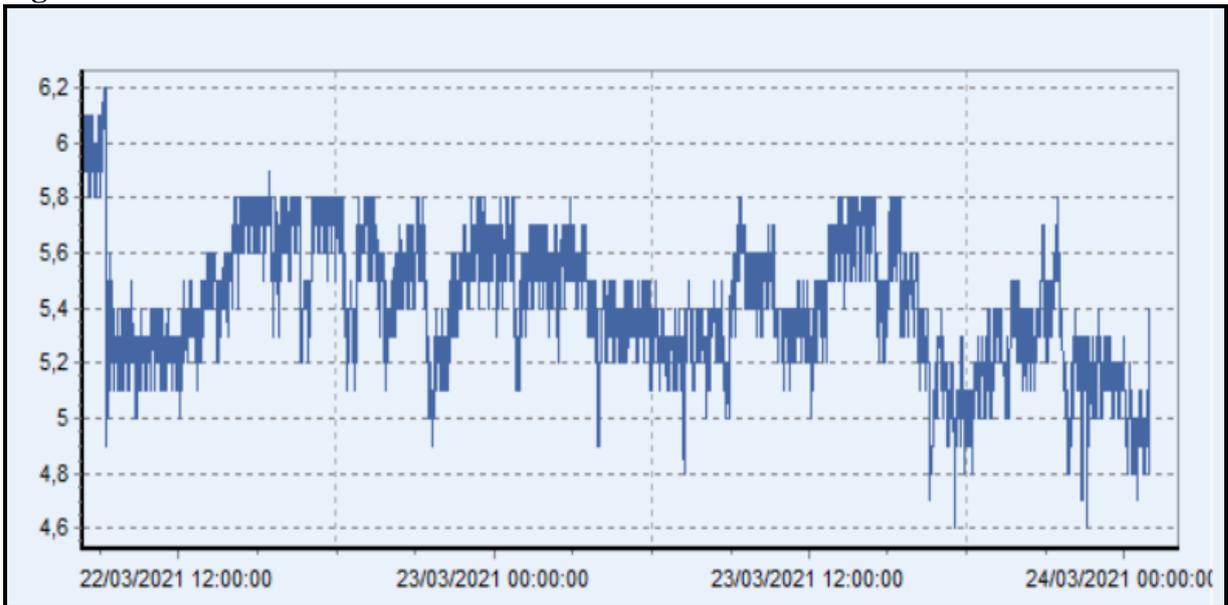


Fonte: Autor (2021).

Figura 17: Pressão de ar – Área central



Fonte: Autor (2021).

Figura 18: Pressão de ar – Moinho

Fonte: Autor (2021).

Identificou-se que há diferença de 1 a 2 bar de pressão entre a saída do compressor até o último ponto de consumo. A diferença de pressão é resultante da perda de carga que ocorre entre o compressor de ar e o último ponto de consumo. Além disso, a linha de distribuição de ar comprimido sofre diversas ramificações do início ao fim do seu perímetro.

As oscilações na pressão do ar comprimido são decorrentes de regulagens incorretas da pressão de trabalho de equipamentos, vazamentos em conexões, mangueiras de distribuição e vedações de componentes pneumáticos. A oscilação na pressão do ar comprimido é um problema no processo, pois gera o desarme de equipamentos e consequentemente paradas de fábrica por perda de produção.

Com finalidade de estimar o consumo de ar comprimido na fábrica, executou-se a manobra de bloqueio da distribuição de ar comprimido. Foi fechada a válvula que alimenta o setor do Moinho, que contém a pressão mais instável da fábrica e maior reincidência em desarme de equipamentos pneumáticos devido à baixa pressão do ar.

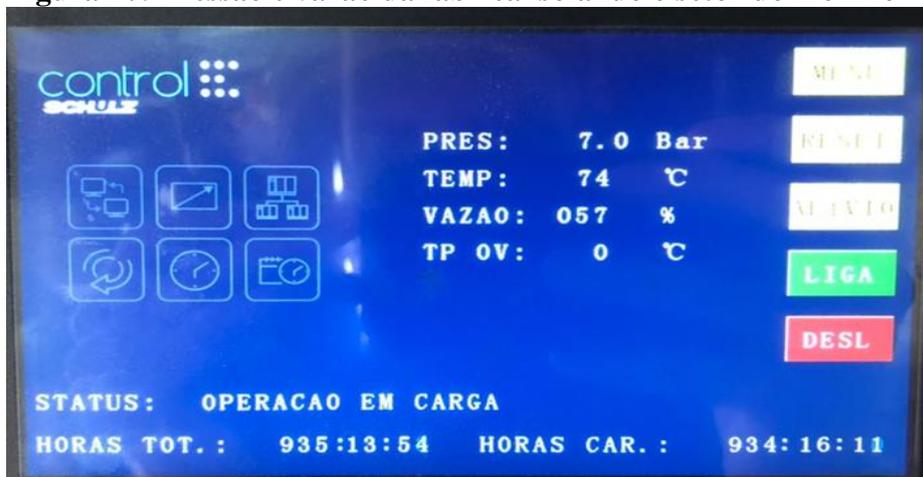
Figura 19: Pressão e vazão da fábrica



Fonte: Autor (2021).

A Figura 19 representa o consumo total da fábrica no dia do teste, tendo a pressão de 7 bar e vazão de 80%, que convertida utilizando o manual do compressor, equivale a vazão de 10.806 l/min. A Figura 20 representa o consumo da fábrica isolando o setor do moinho. O compressor mantém a pressão de 7 bar e reduz a vazão para 57%, que convertida utilizando o manual do compressor, equivale a vazão de 7.699 l/min.

Figura 20: Pressão e vazão da fábrica isolando o setor do moinho



Fonte: Autor (2021)

Constou-se que o setor do moinho consome cerca de 23% (3.107 l/min) de todo o ar comprimido produzido. Para os demais setores não foi possível determinar o consumo de ar comprimido devido a indisponibilidade de tempo para executar a manobra. De qualquer forma possibilitou-se estimar o consumo do ponto mais crítico em relação a distribuição e equalização de pressão de ar comprimido devido estar localizado no final da rede e ser o último ponto de consumo do sistema.

Após a identificação da presença de vazamentos e sua representatividade, juntamente com a interpretação dos dados coletados pelo *fieldlogger*, iniciou-se os reparos e ajustes necessários no sistema pneumático. As mangueiras de ar comprimido de poliamida foram removidas do estoque e substituídas por mangueiras de poliuretano da marca Festo, que conta com uma linha de material com maior resistência para a aplicação em específico, suportando temperaturas maiores e mantendo as características de flexibilidade e resistência.

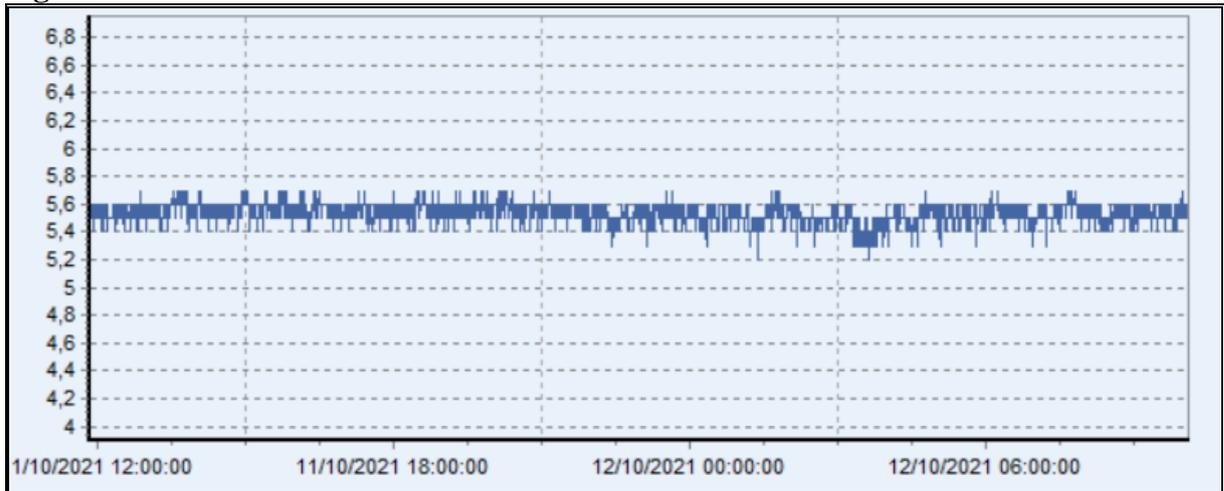
Os equipamentos foram regulados na pressão adequada para a aplicação, seguindo as especificações do fabricante. Realizou-se a substituição dos reparos de alguns atuadores que estavam apresentando vazamentos durante a atuação e dando passagem enquanto estavam parados. Substituíram-se os filtros de ar comprimido que se encontravam saturados ou com algum dano a integridade. Foi instalado o *fieldlogger* novamente nos mesmos pontos a fim de visualizar se houve alguma mudança no comportamento da pressão da rede de ar comprimido. O equipamento realizou coletas da mesma forma que anteriormente, durante alguns dias em cada ponto.

Figura 21: Pressão de ar – Manutenção



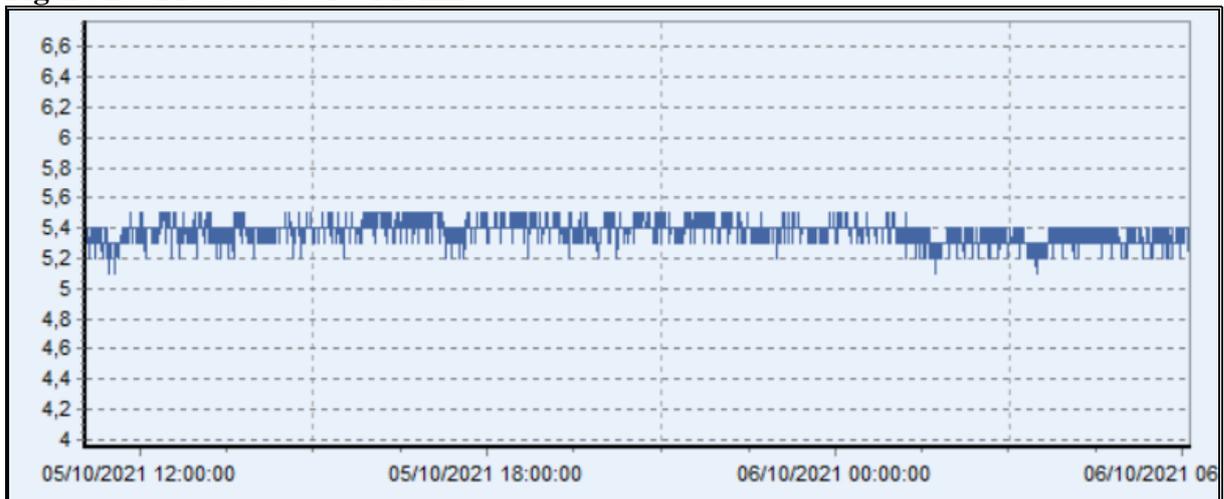
Fonte: Autor (2021).

Figura 22: Pressão de ar – Área central



Fonte: Autor (2021).

Figura 23: Pressão de ar – Moinho



Fonte: Autor (2021).

Após os reparos nas mangueiras de distribuição de ar comprimido, atuadores e regulagens de pressão em equipamentos, foi possível verificar que há maior estabilidade na pressão de ar do sistema, e por consequência houve redução na reincidência de desarme dos equipamentos pneumáticos por baixa pressão do ar.

A pressão de ar comprimido está equalizada nos pontos de consumo, levando em consideração que trata-se de um sistema do tipo rede de circuito aberto. De qualquer forma sugere-se que seja realizado uma melhoria na rede, que consiste em transformar em circuito fechado ou combinado, a fim de distribuir o ar comprimido uniformemente nos dois sentidos e tornar a pressão da rede o mais próximo possível da pressão de saída do compressor, conforme Moreira (2008) cita. Além das melhorias na rede de distribuição, sugere-se a

elaboração e implementação de um plano de manutenção preventivo contemplando verificações nas tubulações, mangueiras, componentes pneumáticos e regulagens de equipamentos. Desta forma será possível evitar vazamentos no sistema que possam acarretar em paradas de fábrica por desarme de equipamentos que utilizam ar comprimido para exercer suas funções.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho foi realizado com o propósito de avaliar a conformidade do sistema de geração e distribuição de ar comprimido de uma agroindústria. A pesquisa teve como objetivos a identificação de pontos contendo vazamento de ar comprimido, representatividade dos vazamentos, pontos críticos de consumo, pontos de consumo contendo quedas de pressão e sugestões de adequações e reparos no sistema.

Através da análise realizada constou-se que o sistema pneumático estudado contém os dispositivos necessários para garantir a qualidade do ar comprimido gerado. De forma geral está de acordo com a aplicação e semelhante aos sistemas pneumáticos ideais conforme citam os autores, com ressalva em alguns pontos que apresentaram vazamentos em mangueiras e conexões, e além disso equipamentos e componentes com regulagem da pressão de trabalho incorreta. A representatividade dos vazamentos identificados foi estimada através de cálculos, e o resultado encontrado considera-se um custo elevado e significativo.

Realizando manobra de bloqueio da linha de distribuição de ar, buscou-se identificar os pontos críticos de consumo com base na diferença de vazão de ar do compressor, comparando o momento em que a linha se encontrava bloqueada e desbloqueada.

Utilizando um equipamento registrador de dados conectado a um transmissor de pressão observou-se de forma detalhada o comportamento da pressão do ar comprimido em pontos específicos do sistema, o que possibilitou a análise das quedas de pressão existentes.

Após a verificação e coleta dos dados, foram realizados reparos no sistema pneumático. Realizou-se novo registro de dados, onde observou-se que os reparos realizados foram eficientes em termos de equalização da pressão no sistema, e melhoraram a confiabilidade dos equipamentos em relação a desarme por oscilação e baixa pressão de ar comprimido no sistema.

Além dos reparos realizados, sugeriu-se algumas melhorias no sistema, como adequações da rede de distribuição de ar comprimido e implementação de planos de manutenção preventiva.

REFERÊNCIAS

ATLAS COPCO. **Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido.**

Lisboa – Portugal. Adene. 2016. Disponível em:

<http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20acesso%20remoto/Manual-de-eficiencia-em-sistemas-de-ar-comprimido.pdf>. Acesso em 30 mar. 2021.

CELESC. **Tarifas e taxas de energia.** 2021. Disponível em:

<https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>. Acesso em 25 set. 2021.

ELETROBRÁS. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido.** 2005. Disponível em: <https://static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/ManualArComprimido.pdf>. Acesso em 30 mar. 2021.

FESTO. **Air preparation for perfect compressed air quality.** 2021. Disponível em:

https://www.festo.com/cms/pt-br_br/54359.htm. Acesso em 30 mar. 2021.

FIALHO, Arivelto Bistamante. **Automatismos pneumáticos: princípios básicos, dimensionamentos de componentes e aplicações práticas.** 1.ed. São Paulo-SP. Ed. Erica, 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6.ed. São Paulo-SP. Ed. Atlas, 2008.

INTERNATIONAL STANDARD ISO-8573-1- First edition 1991-12-15. **Compressed air for general use Part 1: contaminants and purity classes.**

METALPLAN, Airpower. **Manual de ar comprimido.** 4.ed. 2010

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas Pneumáticos.** São Paulo-SP. Senai-SP Editora. 2008. (Apostila)

PARKER. **Tecnologia Pneumática Industrial.** 2021. Disponível em:

https://www.parker.com/literature/Brazil/apostila_M1001_1_BR.pdf. Acesso em 6 abr. 2021.

SANTOS, Adriano Almeida; SILVA, Antonio Ferreira da. **Automação Pneumática.** 3.ed. Porto-Portugal. Publindústria. 2014.