



FILIPE REIS RIBEIRO
IGOR PONTES COSTA

**MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO
MEDICINAL**

LAVRAS – MG
2023

FILIPPE REIS RIBEIRO
IGOR PONTES COSTA

MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO
MEDICINAL

TCC apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Vinicius M. Pacheco Orientador

LAVRAS – MG
2023

**FILIPPE REIS RIBEIRO
IGOR PONTES COSTA**

**MONITORAMENTO REMOTO PARA SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO
MEDICINAL**

REMOTE MONITORING FOR MEDICINAL COMPRESSED AIR SYSTEMS

APROVADA em: 10/03/2023

Prof. Vinicius M. Pacheco Orientador

Prof. Danton Diego Ferreira

Fernando Elias de Melo Borges

LAVRAS – MG

2023

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e irmãos, pelo esforço e empenho em nos manter neste curso de graduação. Dedicamos também ao Naruto por nos ensinar a nunca desistir.

- Filipe e Igor.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, por não nos deixar desistir nos momentos difíceis da graduação e por nos mostrar que por mais tortuoso que seja o caminho, ser engenheiro vale todos os esforços e provações.

Um agradecimento especial aos nossos pais, Anderson e Regina, Minercy e Márcia pelo encorajamento em começar, continuar e em finalizar o curso. Aos nossos irmãos, Gabriel, Beatriz e Luísa, por todo o carinho, palavras de encorajamento, amizade e compreensão em todos os anos de graduação. Obrigada por nos motivar sempre a buscar mais, por vibrar por todas as nossas conquistas e vitórias.

Um agradecimento mais que especial a Jessica (esposa do Igor) pelo amor, carinho e companheirismo dedicados no período de conclusão do curso, bem como à dedicação a este trabalho. Principalmente por compreender os momentos de nervosismo e concentração de esforços e por apoiar cada passo dado do início ao fim.

Aos companheiros de morada e irmãos de coração Thoru, Mohama, Thiaguinho, Cesão, Will, Buchecha, Julius, Guilherme e Zardo, pelo companheirismo durante todos esses anos juntos. E a todos os companheiros de jornada.

Aos nossos colegas de trabalho, em especial Luciano, Nathan, Rodrigo e Mauro, pelos ensinamentos sobre os temas que não tínhamos nenhum conhecimento.

「逃走中の生活には意味がありません。」

"N3o h3 vantagem alguma em viver a vida correndo."

Masashi Kishimoto.

RESUMO

O ar comprimido medicinal é um insumo fundamental em ambientes hospitalares, sendo amplamente utilizado para fins terapêuticos, diagnósticos e cirúrgicos. O uso inadequado ou a distribuição de ar comprimido de baixa qualidade pode ocasionar danos aos equipamentos médicos, afetar a saúde de pacientes e profissionais de saúde além de comprometer o funcionamento de todo o sistema hospitalar. Dessa forma, é imprescindível garantir que o ar comprimido medicinal utilizado nos hospitais atenda aos requisitos de qualidade e segurança, por meio da adoção de medidas adequadas de monitoramento, controle e manutenção dos equipamentos envolvidos na sua produção e distribuição. O presente trabalho apresenta um estudo para implementação de um sistema de monitoramento remoto para módulos de ar comprimido medicinal, com o intuito de reduzir custos com manutenções preventivas e aumentar a confiabilidade do equipamento. Com a meta de reduzir no mínimo 66% o número de visitas de manutenções preventivas ao equipamento, foi realizado um estudo de duas alternativas para capturar variáveis de processo, enviar dados via redes celulares e visualizá-los em um sistema supervisorio. Foram aplicados três indicadores econômicos (VPL, *Payback* e TIR) para avaliar a viabilidade econômica de duas alternativas, sendo a alternativa 1 o *Sigma Air Manager*, produto desenvolvido pelo próprio fabricante dos compressores para aquisição dos dados levantados pelo projeto, sendo que essa alternativa ainda seria necessário um painel de aquisição adicional para coletar os sinais que o SAM 4.0 não fosse capaz, já a alternativa 2 é composta por um painel de aquisição de dados que por meio de um CLP coleta e processa sinais de sensores instalados no sistema de ar comprimido medicinal. Desse modo, a alternativa 2 mostrou-se mais vantajosa.

Palavras-chave: Ar Comprimido Medicinal. Módulo de ar medicinal. Monitoramento Remoto.

ABSTRACT

Medical compressed air is a fundamental input in hospital environments, widely used for therapeutic, diagnostic, and surgical purposes. Inadequate use or distribution of low-quality compressed air can cause damage to medical equipment, affect the health of patients and healthcare professionals, and compromise the functioning of the entire hospital system. Thus, it is essential to ensure that the medical compressed air used in hospitals meets quality and safety requirements, through the adoption of appropriate measures for monitoring, control, and maintenance of the equipment involved in its production and distribution. This paper presents a study for the implementation of a remote monitoring system for medical compressed air modules, aimed at reducing costs with preventive maintenance and increasing equipment reliability. With the goal of reducing at least 66% of preventive maintenance visits to the equipment, a study of two alternatives was carried out to capture process variables, send data via cellular networks, and visualize them in a supervisory system. Three economic indicators (NPV, Payback, and IRR) were applied to evaluate the economic viability of the two alternatives, with alternative 1 being the Sigma Air Manager, a product developed by the compressor manufacturer itself for acquiring the data collected by the project, and with the need for an additional acquisition panel to collect signals that the SAM 4.0 could not. Alternative 2 consists of a data acquisition panel that collects and processes signals from sensors installed in the medical compressed air system through a PLC. Thus, alternative 2 proved to be more advantageous.

Keywords: Compressed Medical Air. Medical Air Module. Remote Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Distribuição de custo de uma instalação de ar comprimido	16
Figura 2- Pressões absoluta e manométrica relativas aos níveis de referência.	17
Figura 3- Composição do ar seco ao nível do mar	20
Figura 4- Layout módulo AMS	25
Figura 5- Compressor à parafuso modelo SK22, Kaeser Compressores.....	27
Figura 6 - Filtro Coalescente	28
Figura 7- Diagrama de Funcionamento do Secador de Adsorção	29
Figura 8- Sensor de pressão.....	31
Figura 9- Sensor de temperatura PT100	32
Figura 10- Sensor e transmissor de ponto de orvalho DPT145	32
Figura 11- IHM MT8071iP2	33
Figura 12- Controlador Lógico Programável LOGO!.....	34
Figura 13- Esquemático módulo AMS	35
Figura 14- Plano de substituição de peças Kaeser.....	36
Figura 15- SIGMA Air Manager 4.0	38
Figura 16- Esquemático aquisição de dados.....	39
Figura 17-Diagrama tráfego de dados	40
Figura 18- Diagrama pareto custo manutenção	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Condição padrão da atmosfera ao nível do mar.	18
Tabela 2- Presença de água no ar atmosférico.	20
Tabela 3- Requisitos de qualidade do ar distribuído por central de suprimentos com dispositivo de mistura.	23
Tabela 4- Comparação entre processos de separação de gases	23
Tabela 5- Ponto de ebulição dos gases	24
Tabela 6- Requisitos de qualidade do ar distribuído por central de suprimentos de ar comprimido medicinal com compressor.	24
Tabela 7- Materiais necessários para a alternativa 1	41
Tabela 8- Materiais necessários para a alternativa 2	41
Tabela 9- Custo de aquisição dos equipamentos alternativa 1	43
Tabela 10- Custo de aquisição dos equipamentos para a alternativa 2.	44
Tabela 11- Custo de desenvolvimento da aplicação WEB.	45
Tabela 12- Diagrama de pareto para custos de manutenção.	46
Tabela 13-Comparação dos custos atuais e com o projeto implantado.	47
Tabela 14-Fluxo de caixa estimado ao longo de cinco anos para os dois cenários propostos. ...	48
Tabela 15-Resultados obtidos a partir da aplicação dos três métodos de viabilidade econômica apresentados sobre as duas alternativas propostas anteriormente.	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas ⁷
CLT	Controlador Lógico-Programável
MG	Minas Gerais
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UFLA	Universidade Federal de Lavras
VPL	Valor Presente Líquido
2G	2nd <i>Generation</i>
3G	3rd <i>Generation</i>
4G	4nd <i>Generation</i>
AMS	Sistema de Ar Medicinal
CLP	Controle Lógico Programável
IHM	Interface Homem Máquina
ONA	Organização Nacional de Acreditação
ANVISA	Agência Nacional de Acreditação
RDC50	Resolução da Diretoria Colegiada de número 50
NBR12188	Norma Brasileira 12188
SAM 4.0	SIGMA Air Manager 4.0
TRC	Tempo de Recuperação do Capital
aC	Antes de Cristo
ASU	Unidade de Separação Ar
ITM	Membrana de Transporte de Íons
RDT	Resistência Térmica do Detector

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>PMT</i>	Fluxo estimado de caixa
r^*	Taxa interna de retorno
n	Número de anos de análise de investimento
I	Taxa mínima de atratividade
PV	Investimento inicial
@	Alcance
P	Pressão
ρ	Massa específica
G	Gravidade
h	Altura
T	Temperatura
γ	Peso específico
μ	Viscosidade
n	Número de mols
R	Constante de Avogrado
V	Volume
φ	Umidade relativa
f	Umidade
g	Gramas
m^3	Metro Cúbico
k	Kilo
Pa	Pascal
N_2	Nitrogênio
O_2	Oxigênio
ppm	Parte por milhão
v/v	Concentração
m^3	Metro Cúbico
vol	volume
bar	unidade de pressão bar
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
SO ₂	Dióxido de Enxofre

NOx

Óxido de Nitrogênio

ur

Umidade Relativa

ua

Umidade Absoluta

SÚMARIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Ar Comprimido: Contexto Histórico e Econômico	14
2.2	Conceitos e Propriedades Físicas do Ar	16
2.2.1	Pressão.....	16
2.2.2	Gás Ideal.....	18
2.2.3	Umidade	19
2.3	Gases Medicinais	21
2.4	Sistemas Centralizados de Ar Medicinal Comprimido.....	22
2.4.1	Ar Sintético Medicinal	23
2.4.2	Ar Comprimido Medicinal	24
2.5	Módulos de ar comprimido medicinal.....	25
2.6	Sistema supervisorio e monitoramento remoto de equipamentos	29
2.7	Sensores	30
2.8	Interface Homem Máquina (IHM)	33
2.9	Controlador Lógico Programável (CLP)	33
3	DESENVOLVIMENTO.....	35
3.1	Identificação do Problema	35
3.2	Análise de Alternativas	36
3.2.1	Alternativa 1: Monitoramento por meio de painel de aquisição de dados e SIGMA Air Manager 4.0	37
3.2.2	Alternativa 2: Monitoramento por meio de um painel de aquisição de dados e duplicação de sinais	39
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA	42
4.1	Métodos para estimar a viabilidade econômica.....	42
4.2	Levantamento dos custos do projeto.....	43
4.2.1	Materiais necessários	43
4.2.2	Horas de engenharia	44
4.3	Levantamento de benefícios.....	45
4.3.1	Benefícios do monitoramento remoto dos módulos AMS.....	45
4.3.2	Estimativa de economia em visitas preventivas.....	45
4.4	Resultados referentes a análise econômica.....	47

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O ar desempenha um papel fundamental na evolução da sociedade, desde a sua utilização como auxílio na geração de fogo até a fundição de metais como prata, ferro, chumbo e estanho. Hoje, o ar comprimido possui papel importante em diversas indústrias, sendo utilizado principalmente na conversão de energia pneumática em energia mecânica. Entretanto, as aplicações do ar comprimido não se limitam apenas a operações de controle.

Condições clínicas e doenças de natureza variável podem causar mudanças do corpo e prejudicar a capacidade natural de um indivíduo de respirar, podendo ocasionar perda parcial ou completa da função pulmonar. Como resultado, o metabolismo do paciente é diretamente afetado, impedindo ou limitando a captação de oxigênio essencial à sua sobrevivência. Diante dessa realidade, o ar respirável passou a ser considerado como um medicamento pela indústria médica.

Gerado por equipamentos próprios, o ar sintético medicinal é utilizado na preservação da respiração fisiológica dos pacientes por meio de aplicações como: terapia respiratória (ventilação mecânica), anestésias e reanimações, nebulizadores, ressuscitações e tratamentos via inalação que utilizam o ar como veículo de medicamentos (AIR LIQUIDE, 2022).

Este trabalho visa alterar o número de visitas de manutenção preventivas mensais, que são realizadas para preenchimento de um formulário de funcionamento do sistema de ar comprimido medicinal, ao torná-las quadrimestrais conforme indicação do fornecedor dos compressores, logo, resultando numa diminuição de 66% no número das visitas e conseqüentemente no custo que elas ocasionam.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ar Comprimido: Contexto Histórico e Econômico

A ampla utilização do ar comprimido na indústria resultou no desenvolvimento de máquinas e equipamentos para diversas finalidades, desde o transporte de insumos até o acondicionamento de produtos. Entretanto, operações médicas impõem novas demandas à qualidade do ar quando usadas como remédios. Logo, as normas e padrões de qualidade e segurança devem ser rigorosamente cumpridos desde a geração, distribuição e consumo final de pacientes e dispositivos médicos.

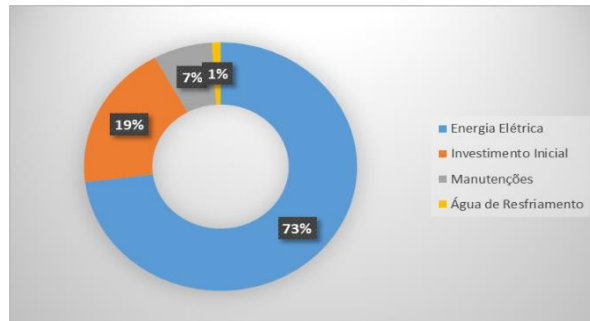
Gerar fogo, transportar e produzir peças, nada disso seria possível sem o ar em que a sociedade vive. Seu uso em forma comprimida antecedeu o desejo de Leonardo Da Vinci de voar e contribuiu para o papel crescente do ar comprimido na indústria após a primeira metade do século XIX. Parker (2006) relembra referências bíblicas ao uso do ar comprimido na fundição de metais como prata, ferro e chumbo, demonstrando a relevância na construção de máquinas pneumáticas. Este último, originalmente equipado com cilindros e êmbolos de madeira, reaproveitando a energia criada pela expansão do ar aquecido. Ainda no século III a.C. Alexandria teve a primeira Academia Mecânica, fundada por Ctesibios, um pioneiro na tecnologia de ar comprimido.

Rocha e Monteiro (2009) afirmam que o ar comprimido pode ser discutido e estudado em três partes: geração, distribuição e consumo. A primeira refere-se à captação, compressão, tratamento e armazenamento do ar. A segunda envolve a entrega do ar comprimido ao seu ponto de consumo. Finalmente, esta última parte pode abranger múltiplos setores industriais. Como as aplicações são limitadas apenas pela imaginação dos engenheiros de hoje, algumas se tornaram referências: a conversão de energia pneumática em energia mecânica, em ferramentas como martelos demolidores ou martelos pneumáticos; e a automação de estações de montagem, tais quais o controle de válvulas e pistões pneumáticos, permitindo a integração de linhas de produção com atuadores de precisão e velocidade controladas.

Diversas aplicações de ar comprimido podem ser encontradas na indústria, tais como na produção de eletrônicos, na utilização em processos que separam, prensam, perfuram e posicionam componentes, na indústria têxtil, comprime-se o ar para pintar e texturizar tecidos, no segmento alimentício ele pode ser empregado em várias etapas como empacotamento e transporte de carga. O ar comprimido também está presente em momentos de lazer, brinquedos de parques de diversões, como a montanha-russa, o utiliza para alimentar os portões, os freios e outros recursos de segurança importantes, como o sistema de retenção dos passageiros. Por último, mas não menos importante, a indústria medicinal também se aproveita das aplicabilidades do ar comprimido, chegando ele a ser utilizado com insumo a ser consumido por pacientes e sendo considerado essencial a manutenção da vida em alguns casos.

Segundo Atlas Copco (2019), após 10 anos de sua implantação, um módulo de ar comprimido medicinal tem cerca de 73% de suas despesas causadas pelo consumo de energia elétrica, 19% pelo investimento inicial, 7% em custos de manutenção preventiva e corretiva, por último, 1% em água de resfriamento, conforme ilustra a figura a seguir.

Figura 1- Distribuição de custo de uma instalação de ar comprimido



Fonte: Adaptado de Atlas Copco (2019).

2.2 Conceitos e Propriedades Físicas do Ar

Entender como a energia mecânica é transformada durante a compressão do ar é tão importante quanto as próprias propriedades físicas que o compõe. Para a engenharia, o conceito de fluido faz-se relevante a esse estudo, no qual, segundo Fox et al. (2009, p. 03):

um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importando o quão pequeno seja o seu valor. Como o movimento do fluido continua sobre a aplicação dessa, definimos o fluido também como uma substância que não pode sustentar uma tensão de cisalhamento quando em repouso.

Segundo Magee e Tooley (2011), fluidos são líquidos e gases, nos quais suas propriedades físicas alteram o seu comportamento quando percorrem diferentes geometrias de tubulações e dutos além também do regime de pressão em que o fluido é submetido.

2.2.1 Pressão

A pressão é tratada como uma característica macroscópica de um sistema e avaliada por Moran et al. (2014) como sendo ela uma propriedade relevante para o entendimento do comportamento de um sistema devido a capacidade de se atribuir um valor, em um dado tempo, sem a necessidade de um conhecimento prévio do comportamento daquele sistema.

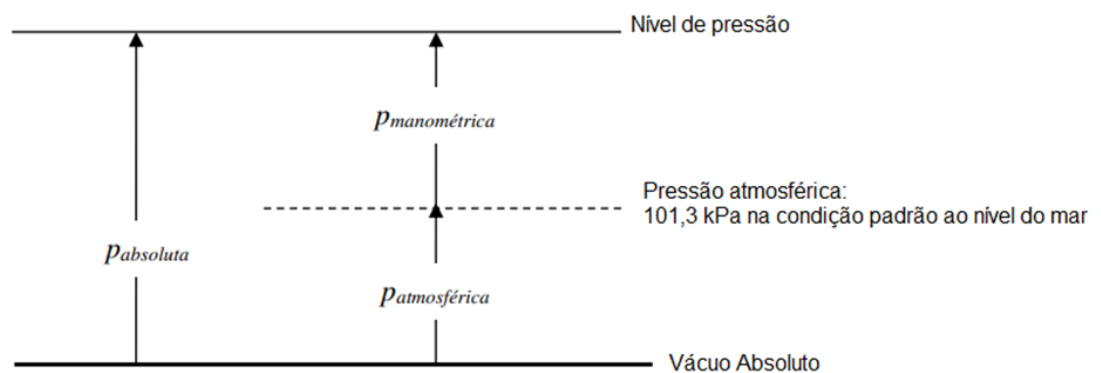
De acordo com entendimento de Gaffney e Marley (2018), é possível prever o comportamento de uma massa fixa de um gás apenas pela sua pressão, temperatura e volume.

Preso em um recipiente, as moléculas de um gás estão em constante colisão com as paredes deste recipiente, logo, essas colisões exercem uma força sobre essa superfície, quanto maior for o número dessas colisões por área dessa superfície, maior será a pressão do gás.

Entretanto, a determinação da pressão de um fluido não é tão trivial. Fox et al. (2010) recorda que devem ser levados em consideração também, como única força de campo do sistema a gravidade, além do eixo de referência na mesma direção gravitacional. Faz-se necessário determinar níveis de referência para valores de pressão para evitar divergências nos cálculos (FOX et al, 2010).

A pressão absoluta estabelece o vácuo absoluto (pressão zero) como nível de referência, enquanto a pressão manométrica utiliza a pressão atmosférica como ponto de referência, conforme se pode depreender da Figura 2.

Figura 2- Pressões absoluta e manométrica relativas aos níveis de referência.



Fonte: Adaptado de Fox et al. (2010).

Sendo assim, considerando a Figura 2, tem-se a validade da equação 1, a seguir:

$$P_{manométrica} = P_{absoluta} - P_{atmosférica} \quad (1)$$

Torricelli provou que a pressão atmosférica sobre a superfície de um fluido, seria capaz de guiá-lo por um tubo vazio até certa altura ao sugerir que o ar atmosférico possuía peso (GAFFNEY; MARLEY, 2018). Unindo as considerações anteriores de Fox et al (2010) para hidrostática, tem-se a equação 2. De acordo com Magee e Tooley (2011), a pressão atmosférica é o peso da atmosfera sobre as pessoas ou sobre um determinado ponto na superfície, gerada pela aceleração da gravidade e comporta-se como um ambiente pressurizado. Logo, percebe-se que a pressão atmosférica muda de acordo com a altitude do local que ela está sendo medida, além do peso específico do ar atmosférico. A Tabela 1 indica a condição padrão da atmosfera ao nível do mar.

$$P = \rho g h \quad (2)$$

Tabela 1- Condição padrão da atmosfera ao nível do mar.

Propriedade	Simbolo	SI
Temperatura	T	15°C
Pressão	P	101,3 kPA
Massa especifica	ρ	1,125 kg/m ³
Peso específico	γ	-
Viscosidade	μ	1,78 x 10 ⁻⁵ kg/(m.S)(Pa . S) (conclusão)

Fonte: Adaptado de Fox et al. (2010).

2.2.2 Gás Ideal

Segundo as leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac, o comportamento dos gases pode ser descrito em três propriedades, sendo elas: pressão, volume e temperatura.

Gaffney e Marley (2018) definiram que as leis, se combinadas em uma única, é capaz de encontrar as propriedades de um gás quando ocorre mudança em mais de uma propriedade. Essa lei resulta em uma equação geral dos gases, a qual tem-se a razão entre o produto da pressão e volume e a temperatura absoluta de uma massa de gás fixa, em Kelvin, constante. Porém, se limitada a uma massa de gás constante, a lei combinada dos gases não é capaz de descrever o comportamento destes.

Avogrado propôs que, a uma pressão e temperatura constantes, volumes iguais de gases contêm o mesmo número de moléculas, independentemente da natureza química e propriedades físicas dos gases (GAFFNEY; MARLEY, 2018). Portanto, a uma determinada pressão e temperatura, há proporcionalidade entre o volume e o número de mols (n) de um gás. Ao combinar as três leis e a hipótese de Avogrado, chegamos à lei dos gases ideais (Equação 3), a qual R é a constante universal dos gases ideais e o produto entre a pressão e o volume de um gás ideal é igual ao produto da temperatura absoluta do gás, a quantidade do gás e a constante universal dos gases (FOX et al., 2010; GAFFNEY; MARLEY, 2018).

$$PV = nRT \therefore P = \rho RT \quad (3)$$

É importante lembrar que o ar atmosférico é uma mistura de vários gases e cada gás da mistura tem uma pressão parcial, como se ele ocupasse o mesmo volume que a mistura a uma determinada temperatura. Portanto, a pressão total da mistura é a soma das pressões parciais dos gases presentes na mistura. Na pneumática, entretanto, gases ideais e gases reais são tratados de maneiras diferentes. Eletrobrás et al. (2009) afirmam que, quando há uma elevação significativa da pressão, uma grande queda de temperatura ou o gás é difícil de ser liquefeito, o comportamento desse gás se afasta do ideal. No entanto, é possível tratar gases reais como ideais em muitos casos, exceto em combinações de propriedades extremas.

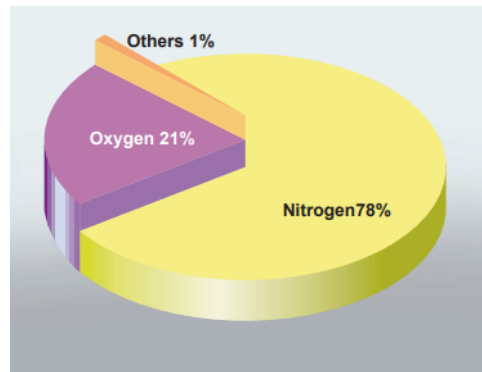
2.2.3 Umidade

A turbulência atmosférica permite considerar o ar seco como uma mistura de gases quase inalterável, tendo sua composição padronizada com cerca de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases, conforme apresentado na Figura 3.

Porém, localização geográfica e condições climáticas possuem impacto direto na concentração de vapor de água na atmosfera. Portanto, o ar atmosférico deve ser tratado como uma mistura de ar seco e vapor de água, resultando em ar úmido. A umidade é uma propriedade relevante para os estudos de transferência de calor, viscosidade e densidade do ar, pois pode afetar essas propriedades de diversas maneiras.

Ademais, a presença de umidade no ar comprimido pode gerar problemas, como a corrosão de equipamentos e a redução da vida útil de componentes pneumáticos. Telles (2001) enfatiza o problema da água condensada que se forma ao resfriar o ar úmido durante o processo de compressão em tubulações de ar comprimido industriais. Na indústria farmacêutica, o vapor de água é considerado um dos contaminantes do ar que podem causar problemas, como a redução da velocidade do ar comprimido, danos no compressor, queda de pressão e obstrução dos acessórios de saída para o consumo, além da oxidação de componentes.

Figura 3- Composição do ar seco ao nível do mar.



Fonte: Atlas Copco, 2019.

Sparks e Chase (2016) inferem que além da composição já mencionada, o ar também pode conter vapor de água, cuja capacidade de absorção pelo ar depende da temperatura ambiente. Quando essa capacidade é ultrapassada, o excesso de vapor de água se condensa e se precipita sob a forma de neblina ou gotas d'água.

A umidade máxima do ar ($f_{m\acute{a}x}$) é a quantidade máxima de vapor de água que pode ser contida em um volume de ar a uma temperatura específica. A umidade absoluta é a quantidade efetiva de vapor de água presente em um volume de ar. A umidade relativa é então dada pela seguinte equação 4:

$$\varphi = \frac{f}{f_{m\acute{a}x}} 100\% \quad (4)$$

Além disso, f_{max} varia com a temperatura de orvalho, também conhecida como ponto de vapor, que é a temperatura do gás em que ocorre a condensação do vapor de água, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2- Presença de água no ar atmosférico.

Ponto de vapor (°C)	Umidade Máxima (g/m ³)
-20	0,880
-10	2,156
0	4,868
10	9,356
20	17,148
30	30,078

40	50,672
50	82,257
60	129,020
70	196,213
80	290,017
90	417,935

Fonte: Adaptado de Bosch, 2008.

Como observado, f_{max} varia com a temperatura, então é comum expressar a umidade máxima em função da temperatura correspondente, chamada de temperatura de orvalho. O ponto de orvalho é também definido como a temperatura em que um gás deve ser resfriado para que se possa obter vapor de água condensado.

O ar comprimido é o ar atmosférico condensado que armazena energia de pressão, podendo realizar trabalho. No processo de compressão, é produzido calor, enquanto no processo de expansão, o ar perde calor.

A O ponto de orvalho é a temperatura na qual a umidade relativa (UR) é de 100% e a umidade absoluta (UA) é igual à quantidade de vapor de água presente no ar. A umidade relativa é a relação entre a quantidade de vapor de água presente no ar em relação à quantidade máxima que o ar pode conter naquela temperatura. A umidade absoluta é a quantidade de vapor de água presente no ar.

Quando a temperatura cai abaixo do ponto de orvalho, o vapor de água presente no ar condensa-se, formando nuvens ou orvalho. Quanto mais baixa for a temperatura de orvalho, menor será a umidade relativa do ar. Dessa forma, a medida do ponto de orvalho fornece informações sobre a umidade relativa do ar.

2.3 Gases Medicinais

Com a crescente necessidade de novas tecnologias e aplicações hospitalares, a engenharia clínica garante o fornecimento de gases medicinais a um estabelecimento de saúde de forma ininterrupta e adapta o uso desses gases a cada setor hospitalar.

A ANVISA (2008) classifica os gases de acordo com as condições de armazenamento em: "gás comprimido, qualquer gás ou mistura de gases que exerça uma pressão absoluta de

pelo menos 280 kPa a 20°C no recipiente; gás liquefeito, gás embalado sob pressão que é parcialmente líquido (gás sobre um líquido) acima de -50°C; gás ou líquido criogênico, gás refrigerado e liquefeito com ponto de ebulição de até -150°C na pressão absoluta de 101,3 kPa". Por ser um processo industrial específico, cujo a produção não é realizada em laboratórios farmacêuticos convencionais, a produção desses produtos é regulamentada pela ANVISA (2008) e pela ABNT NBR 12188 (2016) para garantir qualidade e segurança. De acordo com a RDC 70/2008, os gases medicinais são aqueles que têm uso clínico conhecido há mais de uma década e cujas propriedades clínicas, pré-clínicas e farmacêuticas são confirmadas por materiais bibliográficos (ANVISA, 2008). Ainda nessa resolução são listados como gases medicinais o ar medicinal, ar medicinal sintético, dióxido de carbono medicinal, nitrogênio medicinal, óxido nitroso medicinal e oxigênio medicinal.

O ar medicinal corresponde a um medicamento regulamentado e produzido sob controle, obtido ao se misturar oxigênio e nitrogênio estéreis ou por meio de filtragem e limpeza do ar externo. O seu uso é feito de forma gasoterápica, podendo ser ilustrado com a ventilação pulmonar e inalação, transporte de medicamentos, ventilação mecanizada e até mesmo como diluidor de anestésico. Ainda como insumo hospitalar, o ar medicinal chega a ser utilizado em ferramentas pneumáticas médicas, como, martelos, serras e furadeiras cirúrgicas, além de ser usado na sala de limpeza para desinfetar e limpar equipamentos e acessórios médico-cirúrgicos. Devido à ampla gama de aplicações, diversas formas de fornecimento de ar medicinal foram criadas, levando em conta a variedade de tamanho e finalidade dos estabelecimentos de saúde. Os principais modos de armazenamento e distribuição incluem: por meio de geração e distribuição por compressores e uso de central de cilindros.

2.4 Sistemas Centralizados de Ar Medicinal Comprimido

A central de suprimento é o conjunto formado pelos suprimentos primários e secundários ou reservas para cada tipo de gás medicinal, que estão conectados entre si para fornecer continuamente a rede de distribuição de uma instalação de gases medicinais (ABNT, 2016). O sistema centralizado nada mais é do que um agrupamento entre a central de distribuição e os postos de consumo medicinais. O ar medicinal pode ser fornecido de formas diferentes, para centros que exigem maior complexidade são utilizados centrais de suprimento de ar sintético medicinal e centrais de ar comprimido medicinal. O que diferencia o ar sintético medicinal do ar comprimido medicinal é o dispositivo em que eles são fornecidos, o ar sintético

medicinal é distribuído por meio de uma mistura especial, enquanto o ar comprimido medicinal é distribuído por meio de compressores.

2.4.1 Ar Sintético Medicinal

A norma brasileira exige uma pureza mínima de 99% do nitrogênio e de 99% de oxigênio medicinal na mistura de ar sintético medicinal. Para produzir o ar medicinal sintético, é necessário entender a separação do nitrogênio e oxigênio do ar.

Neste contexto, esses gases são armazenados em tanques criogênicos estacionários, que são vaporizados antes de passar pelo processo de mistura. De acordo com a ABNT NBR 12188 (2016) a fabricação do ar sintético medicinal deve seguir os requisitos de qualidade da tabela 3.

Tabela 3- Requisitos de qualidade do ar distribuído por central de suprimentos com dispositivo de mistura.

Componentes	Simbologia	Concentração permitida (v/v)
Nitrogênio medicinal	N2	Balanço
Oxigênio medicinal	O2	19,95% a 23,63%
Vapor de água	-	67 ppm máximo

Fonte: Adaptado de ABNT, 2016.

Segundo Smith e Klosek (2001), o processo de separação de gases é dividido em processos não-criogênicos e processos criogênicos. Processos criogênicos como uma unidade de separação de gases (ASU) convencional, utiliza várias colunas criogênicas para separar os gases, enquanto processos não-criogênicos incluem métodos de adsorção, processos químicos, membranas poliméricas e membrana de transporte de íons (ITM). Segundo Smith e Klosek (2001), a Tabela 4 resume os fatores considerados na tomada de decisão.

Tabela 4- Comparação entre processos de separação de gases

Processo	Status	Capacidade e de Produção	Pureza (vol %)
Adsorção	Semi-aperfeiçoado	Baixa	95 +99
Processos químicos	Em desenvolvimento	Baixa	
Membranas poliméricas	Semi-Aperfeiçoado	Baixa	~40

ITM	Em desenvolvimento	Baixa	+99
Criogênico	Aperfeiçoado	Excelente	+99

Fonte: Adaptado de Smith e Klosek, 2001.

O processo de separação de gases utilizando técnicas criogênicas é a escolha mais adequada em escala industrial. Esse processo é geralmente resumido em filtragem, compressão e resfriamento do ar atmosférico (SANTOS, 2002). A destilação fracionada criogênica pode produzir nitrogênio, oxigênio e, em plantas de separação mais avançadas, argônio. Esse processo utiliza o ponto de ebulição de cada componente para controlar e separar os gases por meio da liquefação como indica a tabela 5.

Tabela 5- Ponto de ebulição dos gases.

Gases Presentes na Atmosfera	Temperatura de ebulição a 1 bar	Temperatura de ebulição a 1,55 bar	Temperatura de ebulição a 6,2 bar
Oxigênio	-183,0°C	-178,6°C	-162,3°C
Argônio	-185,9°C	-181,6°C	-164,4°C
Nitrogênio	-195,8°C	191,9°C	-176,4°C

Fonte: Linde, 2017.

2.4.2 Ar Comprimido Medicinal

De acordo com a norma ABNT NBR 12188 (2016), para fornecer ar medicinal usando compressores como fonte principal, é necessário seguir vários requisitos relacionados à especificação dos equipamentos, segurança do fornecimento contínuo e principalmente a qualidade do ar. Fornecer ar comprimido medicinal usando compressores como fonte principal envolve vários passos, incluindo a produção, tratamento e distribuição do ar.

Para garantir um alto nível de qualidade no produto final, é preciso se adequar às especificações da Tabela 6, visto que o ar comprimido é utilizado como medicamento. (ABNT, 2016).

Tabela 6- Requisitos de qualidade do ar distribuído por central de suprimentos de ar comprimido medicinal com compressor.

Componentes	Simbologia	Concentração Permitida
Nitrogênio medicinal	N ₂	Balanco
Oxigênio medicinal	O ₂	20,4% a 21,4%
Monóxido de carbono	CO	5µg/g
Dióxido de carbono	CO ₂	500µg/g
Dióxido de enxofre	SO ₂	1µg/g

Óxido de nitrogênio	NOx	2µg/g
Óleos e partículas sólidas	-	0,1 mg/m ³
Vapor de água	-	67 µg/g

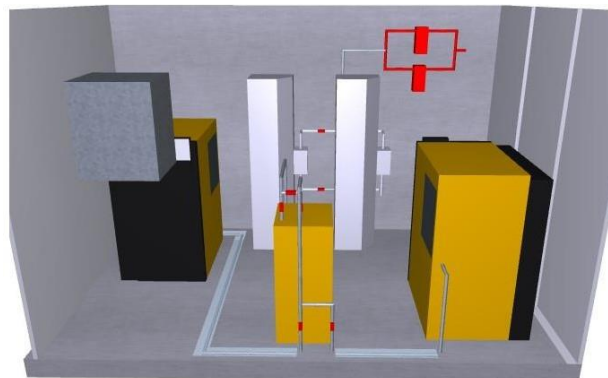
Fonte: Adaptado de ABNT, 2016.

2.5 Módulos de ar comprimido medicinal

Os módulos de Ar Medicinal são projetados para produzir ar respirável dentro das especificações exigidas para uso médico. Livres de umidade, microrganismos e resíduos poluentes, em conformidade com os rígidos padrões de qualidade exigidos pela Anvisa, por meio da norma RDC50 e pela ABNT segundo a norma NBR12188.

O sistema é composto por dois grupos de equipamentos idênticos, sendo um deles principal e o outro de reserva. Esses grupos incluem equipamentos como compressores de ar, secadores de adsorção, filtros coalescentes e reguladores de pressão, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4- Esquemático módulo AMS.



Fonte: Dos autores (2021).

O ar ambiente é capturado e comprimido pelos compressores, que são, então, encaminhados para um reservatório de separação de condensado. Na segunda etapa, a qualidade do ar é garantida por meio de filtragem e secagem, utilizando filtros coalescentes de 1 a 0,1 micron, secador por refrigeração, filtro de carvão e secadores por adsorção. Na terceira e última etapa, o ar medicinal gerado é armazenado e distribuído após passar por análise e regulagem de pressão (DINATEC, 2011).

Os compressores são elementos fundamentais para o funcionamento dos módulos de ar comprimido medicinal. Nestes equipamentos, geralmente refrigerados a óleo e do tipo parafuso, o ar a ser comprimido passa pelo filtro de entrada e entra na unidade compressora. Em seguida o compressor é acionado por um motor elétrico de alta eficiência. O óleo de

resfriamento injetado para fins de resfriamento. O ar comprimido flui por meio do cartucho separador de óleo de 2 estágios, depois é resfriado no pós-arrefecedor de ar comprimido. Após o resfriamento, qualquer condensado acumulado é removido do ar comprimido pelo separador centrífugo integrado. Por fim, o ar comprimido sai do sistema na estação conexão de ar. (KAESER, 2009).

Um compressor de ar comprimido a parafuso funciona por meio de dois rotores parafusados que se movem juntos para comprimir o ar. O ar é aspirado pelo compressor por meio de uma entrada e é então comprimido entre os rotores antes de ser liberado para o reservatório de armazenamento por meio de uma saída.

A compressão do ar é feita pela ação dos rotores parafusando juntos, diminuindo o volume de ar no interior do compressor. Esse tipo de compressor é comumente utilizado em aplicações industriais, como na produção de ar comprimido para ferramentas pneumáticas, processos de fabricação e sistemas de ar-condicionado. Os compressores de ar comprimido a parafuso são amplamente utilizados na indústria farmacêutica para fornecer ar comprimido de alta qualidade e pureza para aplicações médicas. Alguns exemplos de usos incluem:

Produção de oxigênio: os compressores de parafuso são utilizados para comprimir o ar e separar o oxigênio da mistura de gases, fornecendo oxigênio puro para uso em hospitais e clínicas.

Sistemas de ventilação: os compressores de parafuso são utilizados para fornecer ar comprimido para sistemas de ventilação de pacientes em unidades de terapia intensiva e outros ambientes hospitalares.

Terapia de oxigênio: os compressores de parafuso são utilizados para fornecer ar comprimido para sistemas de administração de oxigênio, como câmaras hiperbáricas e cilindros de oxigênio.

Esterilização: os compressores de parafuso são utilizados para fornecer ar comprimido para sistemas de esterilização de equipamentos médicos, como autoclaves.

Nebulização: os compressores de parafuso são usados para fornecer ar comprimido para nebulizadores, que são usados para fornecer medicamentos para pacientes com problemas respiratórios.

Além disso, os compressores de parafuso para ar comprimido medicinal geralmente são projetados e fabricados com materiais e componentes de alta qualidade para garantir a segurança e eficácia dos tratamentos médicos.

Figura 5- Compressor à parafuso modelo SK22, Kaeser Compressores.



Fonte: Kaeser (2023).

Filtros Coalescentes são dispositivos usados basicamente para remover aerossóis de água e óleo que contaminam o ar comprimido. Esses contaminantes são oriundos de óleos lubrificantes para compressores (PNEUMATIC, 2018).

Os filtros coalescentes geralmente consistem em uma série de camadas de material filtrante, como poliéster ou fibra de vidro, que são projetadas para atrair e coletar as gotas de água. A água é então drenada para um reservatório ou para a drenagem.

Estes equipamentos são comumente usados em conjunto com filtros secadores e filtros de ar para remover uma variedade de contaminantes do ar comprimido, incluindo água, óleo e outras impurezas. Eles são amplamente utilizados em aplicações industriais, como na produção de ar comprimido para ferramentas pneumáticas, processos de fabricação e sistemas de ar-condicionado. (ATLAS, 2023)

Além disso, os filtros coalescentes também podem ser usados em sistemas de ar comprimido médicos, para garantir que o ar comprimido fornecido aos pacientes seja livre de contaminantes líquidos, garantindo a segurança e eficácia do tratamento médico.

Figura 6 - Filtro Coalescente.



Fonte: Atlas Copco. (2023)

A adsorção é o processo pelo qual moléculas de um gás ou líquido são atraídas e se aderem à superfície de um material sólido. O material sólido utilizado na adsorção é conhecido como adsorvente. A adsorção é diferente da absorção, que é o processo pelo qual um líquido ou gás é incorporado dentro de um material sólido.

Existem dois tipos de adsorção: a adsorção física e a adsorção química. A adsorção física é baseada na atração entre as moléculas de gás ou líquido e a superfície do adsorvente. Já a adsorção química é baseada na formação de ligações químicas entre as moléculas de gás ou líquido e o adsorvente. Existem várias aplicações para a adsorção, incluindo:

Remoção de impurezas: a adsorção é amplamente utilizada para remover impurezas de gases e líquidos, como água, óleo e outros contaminantes.

Armazenamento de gases: a adsorção é utilizada para armazenar gases, como hidrogênio e metano, em materiais adsorventes especiais.

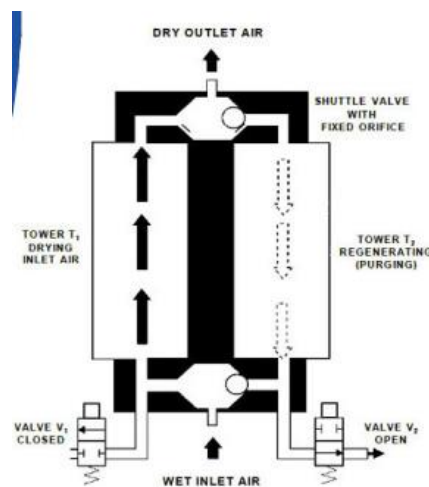
Tratamento de efluentes: a adsorção é utilizada para remover contaminantes tóxicos de efluentes líquidos.

Purificação de ar: a adsorção é utilizada para purificar o ar, removendo impurezas, como óleo, humidade e gases tóxicos.

Filtração: a adsorção é utilizada em filtros para remover impurezas de líquidos e gases, como água, óleo e partículas sólidas.

Esse material, com imensa área superficial, é capaz de reter as moléculas d'água presentes no ar comprimido e quando o adsorvedor satura-se, precisa ser regenerado. O processo de regeneração consiste em um fluxo de ar extremamente seco e de baixa pressão passa em sentido contrário removendo para a atmosfera o vapor d'água acumulado no material adsorvedor, permitindo, assim, que a torre esteja pronta para realizar esse ciclo novamente. Nos modelos com regeneração a quente, utiliza-se uma fonte externa ou interna de aquecimento para reduzir o consumo do ar de regeneração. (ATLAS, 2023). Pode-se observar este processo na Figura 7.

Figura 7- Diagrama de Funcionamento do Secador de Adsorção.



Fonte: Atlas Copco (2023).

Um tanque reservatório de ar comprimido medicinal é um recipiente que armazena ar comprimido para uso em aplicações médicas, como ventilação artificial, administração de medicamentos e outras terapias. Estes são projetados para atender aos requisitos específicos de segurança e pureza exigidos pelas aplicações médicas.

2.6 Sistema supervisório e monitoramento remoto de equipamentos

Um sistema supervisório é um tipo de sistema de *software* que é projetado para monitorar e controlar uma variedade de processos e equipamentos. Ele pode ser usado em uma variedade de indústrias, incluindo manufatura, geração de energia, transporte e construção. O funcionamento básico de um sistema supervisório é coletar dados de sensores e dispositivos conectados, processar esses dados e, em seguida, tomar medidas automatizadas ou alertar os operadores humanos se algo estiver fora do esperado. (MOTT, 2021)

Ele pode incluir recursos como: interface de usuário gráfica, capacidade de gerenciar e controlar dispositivos remotamente, capacidade de configurar alertas e alarmes, capacidade de armazenar e recuperar dados históricos. Em resumo, o objetivo de um sistema supervisório é automatizar a monitoração e o controle de processos e equipamentos, aumentando a eficiência e a segurança operacional.

O monitoramento remoto de equipamentos é uma técnica que permite que os operadores acompanhem e gerenciem os equipamentos a partir de uma localização remota. Ele é realizado por meio de sensores conectados aos equipamentos, que coletam dados sobre as condições de funcionamento e transmitem esses dados para um sistema supervisório.

O monitoramento remoto traz diversos benefícios, como aumento da eficiência operacional, redução de custos de manutenção, melhora da segurança e tomada de decisão.

Para implementar o monitoramento remoto de equipamentos, é necessário ter um sistema supervisório, sensores e dispositivos de comunicação, como *modems* ou redes sem fio, para permitir a transmissão de dados. Além disso, é importante ter uma equipe de suporte técnico capacitada para instalar, configurar e manter os equipamentos e o sistema supervisório em pleno funcionamento.

2.7 Sensores

De acordo com Gonzalez e Woods (2008), sensores são dispositivos ou sistemas que convertem uma grandeza física em uma grandeza elétrica. Eles são amplamente utilizados em diversas áreas, como automação industrial, robótica, medicina, transporte, entre outras, para medir e detectar uma variedade de grandezas físicas, como temperatura, pressão, umidade, luz, som, movimento, dentre outros.

Segundo Webster (2011) um sensor de pressão é um dispositivo que mede a força aplicada sobre uma área específica e gera uma resposta elétrica proporcional a essa força. Eles são usados para medir a pressão absoluta, relativa ou diferencial, e podem ser encontrados em uma variedade de aplicações, como automotivo, aeronáutico, processos industriais, medicina, entre outras. Existem vários tipos de sensores de pressão, sensores de pressão absoluta, sensores de pressão diferencial, sensores de pressão capacitivos, sensores de pressão piezoelétricos, sensores de pressão de deformação, etc.

Figura 8- Sensor de pressão.



Fonte: LEFOO (2023).

Um sensor de temperatura é um dispositivo ou sistema que mede a temperatura de um corpo ou meio e gera uma resposta elétrica proporcional a essa medida. Existem vários tipos de sensores de temperatura, como termistores, termopares, RTDs (resistência térmica do detector), termômetros infravermelhos, entre outros. Eles são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, como automotivo, aeronáutico, processos industriais, medicina, entre outras (GONZALEZ E WOODS, 2008).

O PT-100 é um tipo de RTD (resistência térmica do detector) utilizado como sensor de temperatura. Ele é composto por um fio de platina de 100 ohms de resistência a 0°C, enrolado em forma de espiral ou bobina. A resistência elétrica do fio aumenta linearmente com a elevação da temperatura.

O funcionamento do PT-100 é baseado na lei de Ohm, que diz que a resistência elétrica de um material é diretamente proporcional à sua temperatura, sendo essa relação linear. Para medir a temperatura, é aplicada uma corrente elétrica constante ao PT-100 e medida a diferença de potencial (tensão) nos terminais do sensor. A partir da lei de Ohm, é possível calcular a resistência do sensor e, portanto, a temperatura.

O PT-100 pode ser usado em uma ampla gama de temperaturas, desde -200°C até 650°C, e é amplamente utilizado em aplicações industriais, como monitoramento de processos, medição de temperatura em equipamentos de processamento de alimentos, entre outras.

Figura 9- Sensor de temperatura PT100



Fonte: Liohm (2023).

Um sensor de ponto de orvalho é um dispositivo utilizado para medir a temperatura a qual a umidade relativa é saturada e a condensação começa a se formar". Ele é também conhecido como sensor de temperatura de orvalho ou sensor de orvalho, e é usado para medir a umidade relativa do ar (GARRAT, 1994).

Figura 10- Sensor e transmissor de ponto de orvalho DPT145.



Fonte: Vaisala (2023).

2.8 Interface Homem Máquina (IHM)

Segundo Groover (2007) Interface Homem-Máquina (IHM) é a interface entre um sistema automatizado e o operador humano, por meio da qual o operador interage com o sistema, monitora o seu desempenho e toma decisões. Elas podem ser físicas ou virtuais, e geralmente incluem dispositivos de entrada, como teclado, mouse, touch screen, entre outros, e dispositivos de saída, como tela, alto-falante, impressoras, entre outros.

IHM's são projetadas para facilitar a comunicação entre o operador e o sistema, permitindo que o operador acesse informações relevantes, execute tarefas específicas e monitore o desempenho do sistema. Elas são amplamente utilizadas em processos industriais, automação, transporte, entre outras.

Além disso, as IHMs estão cada vez mais sendo projetadas para serem mais intuitivas e fáceis de usar, com interfaces gráficas de usuário, menus, ícones, etc. Essas interfaces tornam mais fácil para os operadores entenderem e controlarem as operações, melhorando assim a eficiência do sistema.

Figura 12- IHM MT8071iP2



Fonte: WEG (2023).

2.9 Controlador Lógico Programável (CLP)

Um controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo eletrônico programável que é usado para automatizar processos industriais e outros tipos de processos de controle. Ele é projetado para realizar operações lógicas, cálculos matemáticos e outras operações relacionadas ao controle, usando programas armazenados em sua memória (Bolton, 2010).

Os CLPs são projetados para lidar com entradas e saídas digitais, e possuem a capacidade de controlar vários dispositivos, como motores, válvulas, sensores, entre outros. Eles são programados usando uma linguagem de programação específica, como o *Ladder Logic* ou o *Structured Text*, e podem ser programados para executar uma variedade de tarefas, como monitoramento de sensores, controle de fluxo, controle de temperatura, entre outras. Os CLPs são amplamente utilizados em processos industriais, automação, transporte, entre outros e são muito populares devido à sua flexibilidade, precisão e confiabilidade.

Figura 12- Controlador Lógico Programável LOGO.



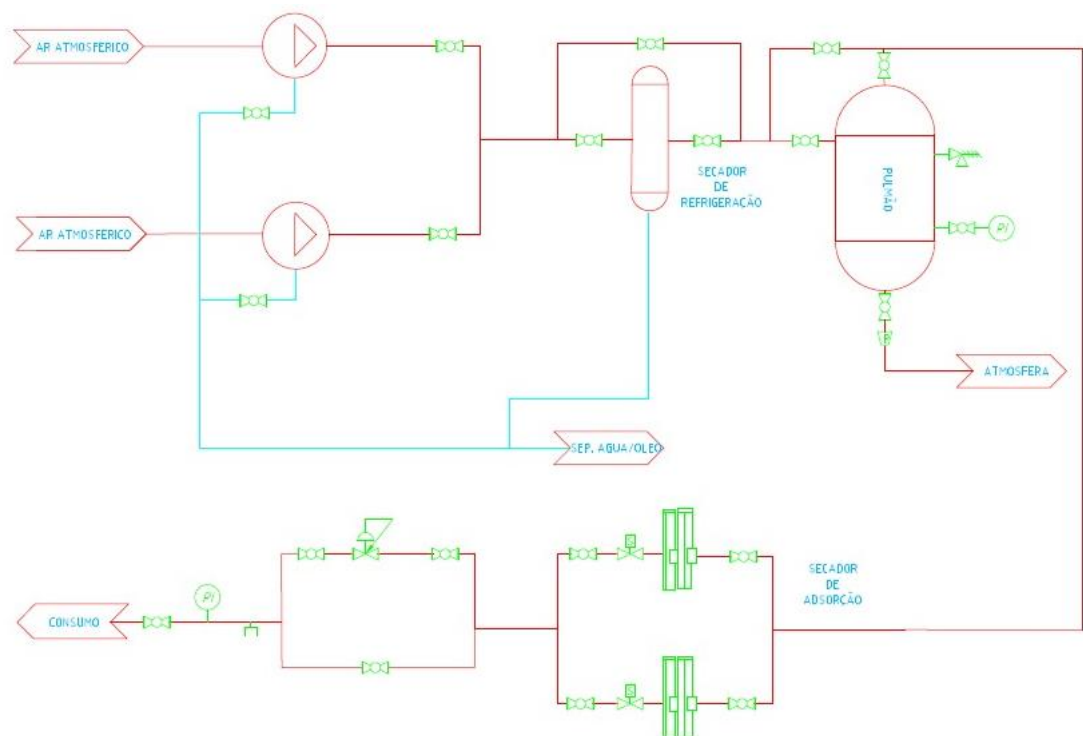
Fonte: Siemens (2023).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Identificação do Problema

Por se tratar de um item crítico para o funcionamento do hospital, faz-se necessário a garantia do funcionamento 24 horas durante 7 dias por semana do Sistema de Ar Comprimido Medicinal (AMS) para que o fornecimento contínuo do produto não seja interrompido. O AMS tem todos os seus componentes, com exceção do reservatório de ar, em duplicidade, conforme figura 13. Tal funcionamento serve para que o sistema funcione em ciclos, evitando, assim, a sobrecarga dos equipamentos, o descumprimento da norma e também assegurando a qualidade para os usuários do ar comprimido medicinal.

Figura 13- Esquemático módulo AMS



Fonte: Dos Autores (2022).

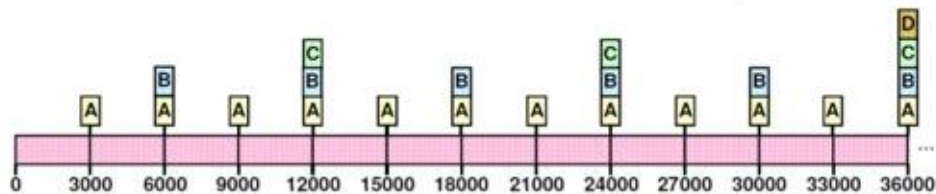
Para verificar as funcionalidades dos módulos, são alocadas mensalmente equipes técnicas que realizam uma inspeção visual nos componentes e preenchem uma lista com o valor dos parâmetros de operação no momento da visita. Os parâmetros tomados são: *status* de funcionamento do compressor (Ligado ou Desligado), *status* de alarmes do compressor (Operando ou Alarmado) e *status* do relé de sobre temperatura (Operando ou Alarmado), temperatura dos compressores, tempo de funcionamento dos compressores e pressão do ar comprimido gerado e temperatura de ponto de orvalho.

A cada 3000 horas, aproximadamente 4 meses de operação dos compressores, as manutenções preventivas são realizadas para a reposição de peças de acordo com o plano de manutenção do fabricante dos compressores, como indica a Figura 14 (SE, K. K. Rotary Screw Compressors, 2009).

Figura 14- Plano de substituição de peças Kaeser

Descrição das Peças	PART Nº	INTERVALO PARA TROCA	PREÇO UNIT. c/ ICMS s/ IPI
FILTRO DE ÓLEO	6.3461.1	6000 HORAS	R\$ 153,65
FILTRO DE AR	6.4212.0	3000 HORAS	R\$ 158,92
FILTRO MANTA	5.3398.0	3000 HORAS	R\$ 38,21
FILTRO SEPARADOR	6.4334.0	6000 HORAS	R\$ 333,57
TROCA DE ÓLEO 5 LITROS	ANS460-55T	6000 HORAS	R\$ 60,00
JG CORREIAS/ACOPLAMENTO	6.4307.0	12000 HORAS	R\$ 164,37
KIT VÁLV. ADMISSÃO	400771.0	12000 HORAS	R\$ 488,21
KIT VÁLV. CARGA/ALÍVIO	400707.0	12000 HORAS	R\$ 521,41
KIT VALV. PRESSÃO MÍNIMA	402140.0	12000 HORAS	R\$ 248,00
UNIDADE SIGMA	1.6956E0	32000 HORAS	R\$ 5.437,68

Vista total dos Intervalos de Serviço



Fonte: Adaptado de SE, K. K. Rotary Screw Compressors(2009).

Este modelo de planejamento de assistência técnica tem como problemas a ocupação do tempo do técnico em visitas não produtivas, imprecisão na tomada dos parâmetros, custos das visitas técnicas para preenchimento de *checklist*, baixa confiabilidade do equipamento e lentidão em reagir aos problemas do módulo.

Pensando nisso, um sistema de monitoramento remoto permitiria que, tanto, a manutenção hospitalar, quanto o fornecedor do AMS, possua os parâmetros de funcionamento do sistema em tempo real, antecipando assim paradas inesperadas, tendo ganho no tempo de envio de técnicos para manutenções corretivas e também proporcionando um melhor planejamento de manutenções preventivas substituindo as visitas mensais pelo preenchimento remoto do *checklist*, mantendo apenas as visitas quadrimestrais orientadas pelo fabricante, ocasionando, assim, uma redução de 66% nos custos gerados por essas visitas.

3.2 Análise de Alternativas

Para o projeto proposto, espera-se que a solução encontrada cumpra certos requisitos, sendo eles o acompanhamento via aplicação em rede de internet das variáveis mencionadas no

tópico anterior, reportar rapidamente as falhas por meio de alarmes, reduzir os custos de visitas de manutenção preventiva ao eliminar as visitas para preenchimento de *checklist* tornando-as remotas, aumentar a confiabilidade do equipamento.

Ao propor uma opção de monitoramento remoto dos módulos, faz-se necessário uma análise criteriosa no que tange as limitações identificadas no atual sistema. Sendo assim, foram levantadas todas as variáveis de processo consideradas essenciais para o bom funcionamento da máquina. A partir da seleção das variáveis, foi possível verificar a quantidade dos sensores a serem utilizados e quais os melhores métodos de aferição. As variáveis consideradas indispensáveis são:

Variáveis digitais:

- *Status* de funcionamento do compressor (Ligado ou Desligado)
- *Status* do relé de sobre temperatura (Operando ou Alarmado)
- *Status* de Alarmes do compressor (Operando ou Alarmado)

Variáveis analógicas:

- Temperatura dos compressores
- Tempo de funcionamento dos compressores
- Pressão do ar comprimido gerado
- Temperatura de ponto de orvalho

Portanto, é necessário analisar a viabilidade técnica e econômica de todos os recursos necessários para implantação do sistema de monitoramento, levando em consideração seus benefícios diretos e indiretos.

Para atender todos os requisitos listados, foram propostas duas alternativas. Sendo a alternativa 1, o Sigma Air Manager, produto desenvolvido pelo próprio fabricante dos compressores para aquisição dos dados levantados pelo projeto, junto a um painel de aquisição adicional para coletar os sinais que o SAM 4.0 não fosse capaz, e a alternativa 2 sendo composta por um painel de aquisição de dados que por meio de um CLP coleta e processa sinais de sensores instalados no sistema de ar comprimido medicinal e disponibiliza essas informações via web.

3.2.1 Alternativa 1: Monitoramento por meio de painel de aquisição de dados e SIGMA Air Manager 4.0

O SIGMA Air Manager 4.0 (SAM), Figura 15, é composto por um controlador programável integrado responsável por adquirir, registrar e enviar os valores aferidos pelos

sensores integrados ao compressor. Dentre as variáveis coletadas, pode-se citar: informações da curva de pressão do sistema, como os valores atuais da pressão, bem como o histórico desses valores.

Além delas, tem-se o consumo de ar comprimido, a temperatura do óleo dos compressores e o *status* dos componentes elétricos. Por meio de um servidor web integrado ao SAM 4.0, todas essas informações são enviadas e podem ser visualizadas em tempo real a partir de uma página HTML (KAESER, 2020).

Figura 15- SIGMA Air Manager 4.0 –



Fonte: KAESER KOMPRESSOREN SE (2020).

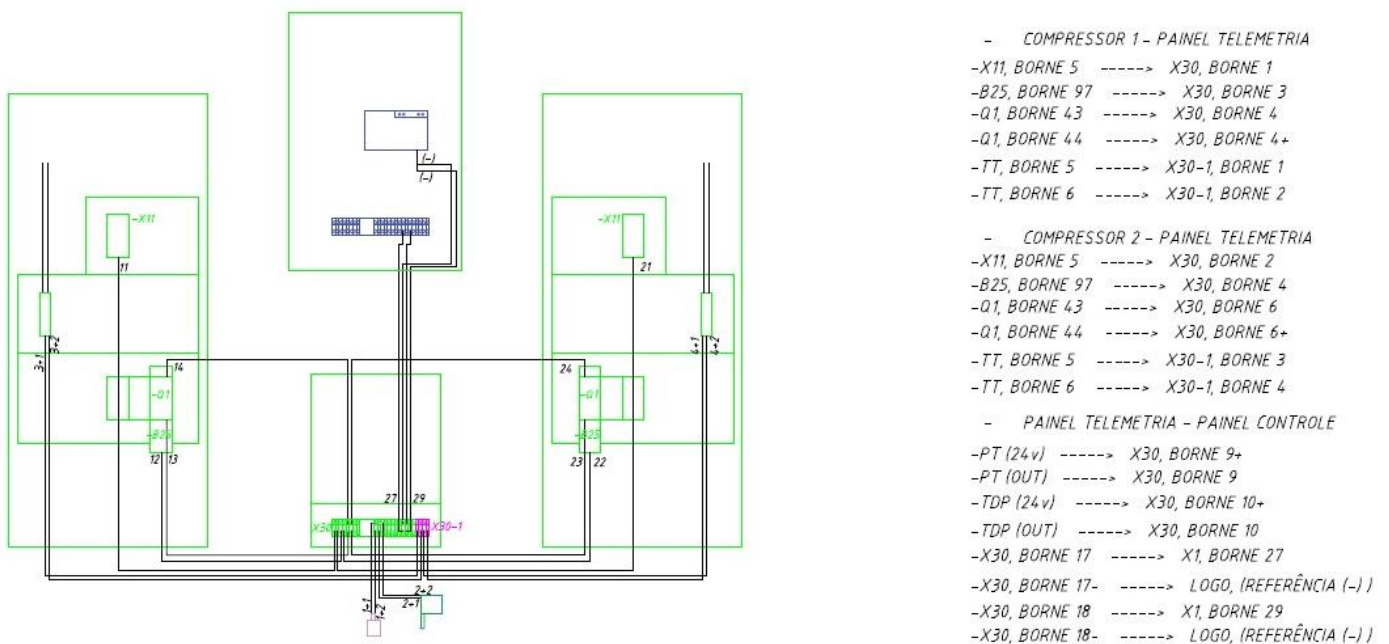
Por se tratar de um produto cujo o desenvolvimento é proprietário de uma empresa privada, quaisquer alterações, no que tange a aparência do sistema supervisorio e aquisição de variáveis de processo do compressor que não estavam pré-estabelecidas, estariam sujeitas a análises e custos adicionais.

Além do SAM 4.0, faz-se necessário, o desenvolvimento de um painel de aquisição para as variáveis aferidas no secador de adsorção, como o ponto de orvalho. Esse painel seria constituído por um Controlador Lógico Programável (CLP) e um modem 4G para envio das informações para o sistema supervisorio. A alternativa do SAM 4.0 junto ao painel de aquisição de dados cumpre todos os requisitos estipulados.

3.2.2 Alternativa 2: Monitoramento por meio de um painel de aquisição de dados e duplicação de sinais

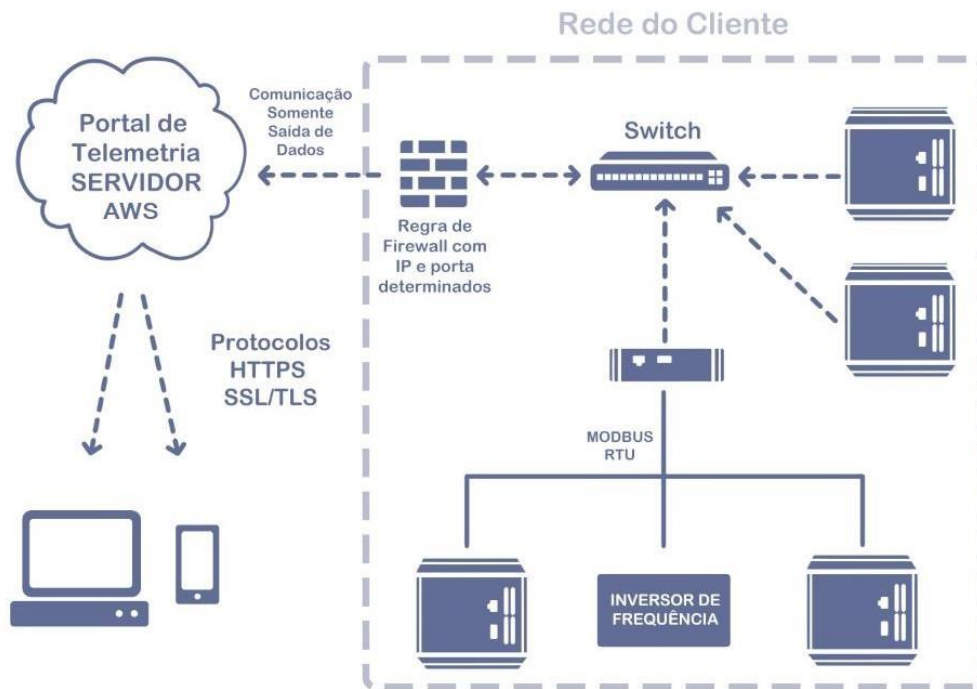
O sistema para o monitoramento deve ser composto por um painel elétrico, contendo um CLP que recebe os sinais analógicos provenientes de sensores e transmissores inseridos em duplicidade com os já existentes para funcionamento normal do AMS, além de receber as variáveis digitais provenientes do painel de controle do AMS, junto a uma IHM instalada no painel de aquisição que projetaria todos os valores das variáveis pré-estabelecidas. A Figura 16 mostra um esquemático de conexões do sistema. Estaria também vinculado a um modem compatível com tecnologias 4G, 3G e 2G que realiza a transmissão dos dados a um sistema supervisor, conforme Figura 17.

Figura 16- Esquemático da aquisição de dados



Fonte: Dos autores (2019).

Figura 17-Diagrama tráfego de dados.



Fonte: Dos autores (2022)

Os componentes duplicados seriam os sensores de temperatura dos compressores, instalados no elemento compressor, o sensor de pressão, instalado em duplicidade no reservatório de ar comprimido, e o sensor de ponto de orvalho. Todos os sensores necessitam de um transmissor para que suas medidas de grandezas físicas sejam convertidas para uma grandeza elétrica e assim adquiridas pelo painel de monitoramento, por último as variáveis de processo adquiridas são tratadas pelo CLP.

Com este painel, as variáveis de processo seriam as mesmas da alternativa anterior, porém, o *design* do supervisório, configuração dos alarmes e exportação dos dados para análises, seriam desenvolvidos em conjunto com o fornecedor do sistema. Sendo assim esta alternativa também cumpre todos os requisitos.

Para a alternativa 1, os materiais necessários para a implementação estão listados na Tabela 7, enquanto que para alternativa 2, os materiais necessários para a implementação estão listados na Tabela 8.

Tabela 7- Materiais necessários para a alternativa 1

Equipamento	Quantidade
SIGMA Air Manager	02 unidades
CLP	01 unidade
Modem 4G	01 unidade
IHM	01 unidade
Transmissor Ponto de Orvalho	01 unidade
Painel	01 unidade

Fonte: Dos autores (2022).

Tabela 8- Materiais necessários para a alternativa 2

Equipamento	Quantidade
Painel Elétrico	01 unidade
CLP	01 unidade
Modem 4G	01 unidade
IHM	01 unidade
Transmissor Ponto de Orvalho	01 unidade
PT100 (-50@250°C)	02 unidades
Transmissor de temperatura	02 unidades
Cabos multivias	10 m

Fonte: Dos autores (2022).

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA

4.1 Métodos para estimar a viabilidade econômica

Foram escolhidos três métodos responsáveis para se estimar a viabilidade financeira do sistema proposto neste trabalho: o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o período de retorno do capital (*Payback*).

Segundo Ross et al. (2015), o método VPL envolve o cálculo da diferença entre a soma dos valores presentes de todos os fluxos de caixa futuros e o pagamento inicial do projeto. De acordo com as regras do VPL, se o resultado da Equação (5) for maior que zero, o projeto deve ser aceito, caso contrário deve ser abandonado.

(5)

$$VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+i)^k} \right] - PV$$

Em que:

PMT: Fluxo estimado de caixa;

n: número de anos de análise de investimento;

i: Taxa mínima de atratividade;

PV: Investimento inicial;

Como contraponto ao método do VPL, a metodologia TIR possui similaridades com o VPL, a taxa interna de retorno busca zerar o valor presente líquido. A partir de uma comparação entre a taxa mínima de atratividade e a TIR, pode-se afirmar a viabilidade de um projeto. (Ross et al.,2015).

(6)

$$VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+r^*)^k} \right] - PV = 0$$

Em que:

PMT: Fluxo estimado de caixa;

n: número de anos de análise de investimento;

*r**: Taxa interna de retorno.

PV: Investimento inicial;

O *Payback* ou Tempo de Recuperação do Capital (TRC) é um método para a análise de investimentos onde se verifica o tempo necessário para a reintegração do capital investido.

O valor encontrado de *payback* é importante, pois, segundo Weise (2013) permite que o investidor avalie o risco por meio do período de recuperação do capital.

$$\textit{payback} = \text{capital investido} / \text{Receita estimada} \quad (7)$$

4.2 Levantamento dos custos do projeto

4.2.1 Materiais necessários

Considerando as alternativas propostas, foi consultado o fornecedor da primeira alternativa acerca dos valores para a aquisição dos materiais do projeto, por se tratar de uma extensão do módulo fornecido foi oferecido um valor único para o que foi denominado componente eletrônico SAM 4.0. Esse componente contém todo o sistema embarcado utilizado na captação dos sinais descritos no capítulo 2.2.1. O custo do sistema supervisor e do modem foram levantados por cotações com diferentes fornecedores e escolhidos aqueles que apresentaram a melhor relação custo-benefício. Segue a tabela 9 com os custos levantados para a alternativa 1.

Tabela 9- Custo de aquisição dos equipamentos alternativa 1

Equipamento	Quantidade	Custo unitário	Custo total
SIGMA Air Manager	02 unidades	R\$ 10.450,00	R\$ 20.900,00
CLP	01 unidade	R\$ 1.080,34	R\$ 1.080,34
Modem 4G	01 unidade	R\$ 450,00	R\$ 450,00
IHM	01 unidade	R\$ 1.249,18	R\$ 1.249,18
Transmissor Ponto de Orvalho	01 unidade	R\$ 700,00	R\$ 700,00
Painel	01 unidade	R\$ 1.519,87	R\$ 1.519,87
Total de investimentos:			R\$ 25.899,39

Fonte: Dos autores (2022).

Para a alternativa 2, foi levantada a instrumentação e o material necessário para a confecção do projeto, assim, como na primeira alternativa, todos esses materiais foram cotados em quatro fornecedores, sendo escolhidos aqueles que apresentaram a melhor relação custo-benefício. A Tabela 10 apresenta com os custos levantados para essa alternativa.

Tabela 10- Custo de aquisição dos equipamentos para a alternativa 2.

Equipamento	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Painel Elétrico	01 unidade	R\$ 1.519,87	R\$ 1.519,87
CLP	01 unidade	R\$ 1.080,34	R\$ 1.080,34
Modem 4G	01 unidade	R\$ 450,00	R\$ 450,00
IHM	01 unidade	R\$ 1.249,18	R\$ 1.249,18
Transmissor Ponto de Orvalho	01 unidade	R\$ 700,00	R\$ 700,00
PT100 (-50@250°C)	02 unidades	R\$ 125,00	R\$ 250,00
Transmissor de temperatura	02 unidades	R\$ 194,93	R\$ 389,86
Cabos multivias	10 m	R\$ 30,00	R\$ 300,00
Total de investimento:			R\$ 5.939,25

Fonte: Dos autores (2022).

4.2.2 Horas de engenharia

Após a compra de todo o material necessário para a implementação do sistema, ainda é preciso contabilizar as horas de engenharia necessárias para a conclusão do projeto. Para ambas as alternativas existirá um custo de desenvolvimento da aplicação WEB e de código para o controlador lógico programável. Segue Tabela 11 com o total horas necessárias para desenvolvimento dos códigos da aplicação WEB e do CLP, além do custo dessas horas trabalhadas.

Tabela 11- Custo de desenvolvimento da aplicação WEB.

Equipamento	Quantidade	Custo Hora	Custo total
Aplicação WEB e código do CLP	414 horas	R\$ 150,00	R\$ 62.110,00
Total de investimentos:			R\$ 62.110,00

Fonte: Dos autores (2022).

4.3 Levantamento de benefícios

4.3.1 Benefícios do monitoramento remoto dos módulos AMS

O sistema de monitoramento *on-line* de equipamentos de geração de ar comprimido é capaz de trazer inúmeros benefícios para os portadores do AMS, pois atende requisitos normativos no auxílio da acreditação nível 2 proporcionada pela Organização Nacional de Acreditação (ONA) (ONA,2023). Além desta acreditação, o sistema envia notificações de alarmes via aplicativo, monitora os parâmetros operacionais da máquina e proporciona substituição da visita para preenchimento do *checklist* por um preenchimento *on-line*.

A tecnologia desenvolvida agrega funcionalidades da Indústria 4.0 e possibilita o monitoramento em tempo real de forma simples e fácil, garantindo a agilidade na detecção de anormalidades ao disponibilizar o acesso via internet para análises, além do recebimento de notificações via e-mail ou mensagens de textos na medida que as variáveis monitoradas apresentarem alterações.

Esse conceito de gerenciamento de equipamentos, possibilita aumentar a confiabilidade no equipamento intervindo de forma preventiva e preditiva. O sistema foi idealizado para propiciar uma transição simples e rápida sem a necessidade de interrupção de suprimento de ar.

4.3.2 Estimativa de economia em visitas preventivas

Com a instalação dos painéis de aquisição de dados será possível reduzir as visitas de manutenção preventivas antes feitas mensalmente para um regime quadrimestral, correspondendo a uma redução de 66% dos custos. Muito utilizado na identificação de

problemas nas empresas, o diagrama de Pareto é uma ferramenta importante pois permite uma melhor visualização dos dados (TELES, 2022). Ele é baseado no Princípio de Pareto, que afirma que cerca de 80% dos efeitos são causados por 20% das causas. O diagrama é composto por barras que representam a frequência ou impacto de cada problema ou causa, ordenadas em ordem decrescente. Ele é útil para direcionar esforços de melhoria e otimizar recursos para obter melhores resultados. Portanto, utilizando dessa ferramenta para o caso em questão tem-se a Tabela 12.

Tabela 12- Diagrama de Pareto para custos de manutenção.

Manutenção	Custo	Somatória	%	Somatória %
Preventiva Mensais	R\$ 2.288.444,00	R\$ 2.288.444,00	38,60%	38,60%
Corretivas	R\$ 2.122.059,00	R\$ 4.576.888,00	35,79%	74,40%
Troca de Peça	R\$ 1.351.482,00	R\$ 5.928.370,00	25,80%	100,00%

Fonte: Dos autores (2022).

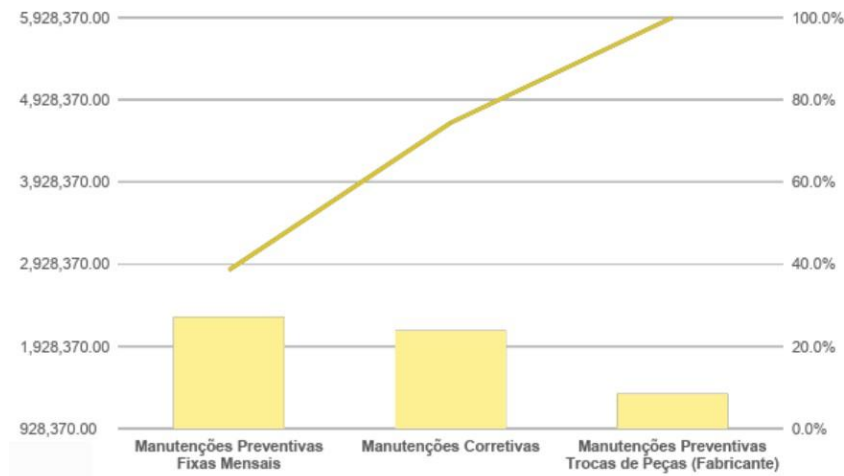
A tabela 12 é uma análise de custos de manutenção do AMS, onde descreve os custos de três tipos de manutenção: preventiva mensal, corretiva e troca de peça.

A primeira coluna indica o tipo de manutenção, a segunda coluna indica o custo total de cada tipo de manutenção, a terceira coluna mostra a porcentagem do custo total de manutenção atribuída a cada tipo de manutenção, a quarta coluna mostra a soma acumulada das porcentagens de custo de cada tipo de manutenção.

Analisando a tabela 12, podemos ver que a manutenção preventiva mensal custou R\$ 2.288.444,00 e corresponde a 38,60% do custo total de manutenção. A manutenção corretiva teve um custo total de R\$ 2.122.059,00 e corresponde a 35,79% do custo total de manutenção. A troca de peças teve um custo total de R\$ 1.351.482,00 e corresponde a 25,80% do custo total de manutenção.

Além disso, a coluna "%" mostra a porcentagem de cada tipo de manutenção em relação ao custo total acumulado até aquele momento. Portanto, a manutenção preventiva mensal corresponde a 38,60% do custo total, a manutenção corretiva corresponde a 35,79% e a troca de peça corresponde a 25,80%. A última coluna, "Somatória %", indica a soma acumulada das porcentagens de cada tipo de manutenção. No final, a soma acumulada das porcentagens de custo de cada tipo de manutenção é de 100%.

Figura 18- Diagrama Pareto custo manutenção



Fonte: Dos autores (2022).

Com o diagrama da Figura 18 fica evidente que os maiores custos de manutenção são relacionados com as preventivas mensais, nas quais um colaborador de uma empresa terceirizada se encaminha ao cliente para cumprir um *checklist* de manutenção.

De acordo com o fabricante dos compressores é necessário a visita nos módulos a cada 3000 horas trabalhadas, o que equivale ao período de 4 meses. Entretanto, como boa prática as visitas eram mensais. Cada visita tem o valor equivalente a 450,00 reais.

Com o monitoramento remoto é possível realizar esse *checklist* de forma automática. Portanto, a instalação proporciona uma redução de 66% na periodicidade das visitas, como pode ser vista na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação dos custos atuais e com o projeto implantado.

Número de módulos	Custo/ano Sem monitoramento	Custo/ano Com Monitoramento	Redução
423	R\$ 2.288.444,00	R\$ 762.814,66	66%

Fonte: Dos autores (2022).

4.4 Resultados referentes a análise econômica

O monitoramento é capaz de gerar economias de 66% nos custos de manutenção preventiva, como já foi descrito, e também economias relacionadas a mão de obra. Sendo assim, a Tabela 14 apresenta o fluxo de caixa gerado por essas economias no decorrer de cinco anos.

Tabela 14 - Fluxo de caixa estimado ao longo de cinco anos para os dois cenários propostos.

Intervalo entre atuação	Economia SAM 4.0	Economia Painei de aquisição
Ano 0	-R\$ 11.017.551,97	-R\$ 2.574.412,75
Ano 1	R\$ 1.525.625,34	R\$ 1.525.625,34
Ano 2	R\$ 1.525.625,34	R\$ 1.525.625,34
Ano 3	R\$ 1.525.625,34	R\$ 1.525.625,34
Ano 4	R\$ 1.525.625,34	R\$ 1.525.625,34

Fonte: Dos autores (2022).

A partir dos fluxos de caixa estimados ao longo de cinco anos, foram aplicados os métodos de valor presente líquido, *Payback* e taxa interna de retorno para a conclusão da análise econômica. As taxas mínimas de atratividade (TMA), isto é, o correspondente ao mínimo que um investidor espera ganhar ao final de um projeto, foram escolhidas com base nas taxas utilizadas pelo setor financeiro e de produtividade da empresa em questão. Sendo a taxa 3%. A Tabela 15, mostra os valores obtidos pelos métodos de análise de viabilidade econômica utilizados.

Tabela 15 – Resultados obtidos a partir da aplicação dos três métodos de viabilidade econômica apresentados sobre as duas alternativas propostas anteriormente.

Análise econômica					
Alternativa	Tempo de análise do investimento	Economia Financeira Anual	VPL (TMA = 3%)	TIR	<i>Payback</i> (Anos)
SAM 4.0	5 anos	R\$ 1.525.625,34	-R\$ 5.346.652,46	-20%	7,22
Painei de aquisição	5 anos	R\$ 1.525.625,34	R\$ 3.096.486,76	46,34%	1,68

Fonte: Dos autores (2022).

Os resultados apresentados indicam que, a alternativa SAM 4.0, não se torna rentável para o TMA de 3% solicitado pela empresa, além de possuir um *payback* de mais de 7 anos, o que também foge ao tempo pré-estabelecido para justificar o investimento. Em contrapartida, a alternativa do Painei de aquisição apresentou um desempenho satisfatório, para uma TMA de 3%, o seu VPL atingiu impressionantes 3,1 milhões de reais, além de um *payback* menor que 2 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, foi possível concluir que existem benefícios oriundos do monitoramento remoto de módulos de ar comprimido medicinal, especialmente quando esse for realizado de forma remota, podendo auxiliar tanto a empresa fornecedora do gás, quanto o cliente que o utiliza. Também foi possível atingir o objetivo de conceber um sistema de monitoramento remoto para módulos de ar comprimido medicinal.

De acordo com as análises das alternativas propostas e de viabilidade econômica, fica explícito que a alternativa com o Painel de aquisição de dados tornou-se a opção mais apropriada para meios empresariais, visto que, essa possui mais sinais monitorados bem como um tempo de retorno de investimento 4,3 vezes menor que o da alternativa SAM 4.0. O sistema, além de seu retorno financeiro possibilita ao usuário uma melhor gestão do seu produto e as empresas donas dos módulos uma melhor gestão das suas horas homem e eficácia das suas manutenções preventivas.

REFERÊNCIAS

- AB, A. C. **Secagem do ar comprimido usando secagem de ar por absorção e dessecante**. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/wiki/compressed-air-articles/absorption-adsorption>. Acesso em: 30/10/2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Regularização de Produtos – Medicamentos: Informações Gerais**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/registros-eautorizacoes/medicamentos/produtos/gases-medicinais/informacoes-gerais>. Acesso em: 8 jun. 2022.
- AIRLIQUIDE. **Ar Sintético Medicinal**. 2012. Disponível em:. Acesso em: 8 jun. 2022.
- AIRLIQUIDE. **Nitrogênio Medicinal**. 2012. Disponível em:. Acesso em: 28 ago. 2022.
- AIRLIQUIDE. **Oxigênio Medicinal**. 2012. Disponível em:. Acesso em: 28 ago. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12188: **Sistemas centralizados de suprimentos de gases medicinais de gases para dispositivos médicos e de vácuo para uso em serviço de saúde**. Rio de Janeiro, 2016. 33p.
- ATLAS COPCO. **Compressed Air Manual**. Bélgica: Atlas Copco Airpower NV, 2019. 9 ed. 74p. ISBN: 9789081535809.
- BOLTON, J. W. **Programação de CLPs**. São Paulo: Érica, 2010.
- COSTA, I. P. Manual AMS. Jundiaí, 2019.
- DKRO. **Monitoramento remoto**: acompanhe sua equipe de campo do início ao fim. Disponível em: <https://dkro.com.br/monitoramento-remoto/>. Acesso em: 30/10/2021.
- FOX, R.W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P.J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- GAFFNEY, J.; MARLEY, N. **General chemistry for engineers**. 1. ed. 638p. Elsevier, 2014. ISBN: 978-9-081-53580-9.
- GARRATT, J.R. **The Atmospheric Boundary Layer**. Earth-Science Reviews,1994.
- KAESER COMPRESSORES DO BRASIL (org.). **Sistema de Gerenciamento de Ar Comprimido: SIGMA AIR MANAGER® 4.0** Tecnologia chave para a Indústria 4.0 Para compressores e sopradores. São Paulo, SP. 2020. *E-book* (20p.) color. Disponível em: <https://br.kaeser.com/download.ashx?id=tcm:44-3422>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- LINDE. **Air-separation-plants-history-and-technological-progress**. Linde AG, 2019.
- MAGEE, P.; TOOLEY, M. **Fundamentals of anaesthesia for the FRCA - physics, clinical measurement and equipment**. 2 ed. 404p. Oxford, 2011. ISBN: 978-0-199-59515-0.
- MORAN, M. J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro:

MOTT, A. **O que são Sistemas Supervisórios?** 02/06/2021. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>. Acesso em: 30/10/2021.

PNEUMATIC. **Filtro Coalescente** | Entenda Facilmente O Que E As Suas Vantagens. 07/05/2018. Disponível em: <https://pneumaticsolucoes.com/filtro-coalescente-entenda/>. Acesso em: 30/10/2021.

R.C. GONZALEZ e R.E. WOODS. **Fundamentos de Sistemas de Sensores**, 2008.

ROCHA, C. A.; MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2005. 208p.

ROSS, Stephen A. et al. **Administração financeira**. AMGH Editora, 2015.

SANTOS, R. A. L. **Sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais** – Uma abordagem para o gerenciamento da tecnologia médico hospitalar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SE, K. K. Rotary Screw Compressors: **ASD Series**. Coburg, 2009. Disponível em: <https://www.kaeser.com/int-en/download.ashx?id=tcm:17-5923>. Acesso em: 30/10/2021.

SMITH, A. R.; KLOSEK, J. **A review of air separation technologies and their integration with energy conversion processes**. Fuel Processing Technology, v. 70, p. 115-134, 2001.

SPARKS, T.; CHASE, G. **Filters and filtration Handbook**. 6 ed. 444p. ButterworthHeinemann, 2016. ISBN: 978-00-809-9396-6.

TELES, Jhonata. **Diagrama de Pareto na manutenção**: Uma ferramenta poderosa! Disponível em: <https://engeteles.com.br/diagrama-de-pareto-namanutencao/> Acesso em: 05 abr. 2022.

WEISE, A. D. **Engenharia econômica**: polígrafo disciplina engenharia econômica. Santa Maria: Pós-graduação em Engenharia Produção, 2013.