

CYRO FRANÇA FERRAZ

**Desenvolvimento de uma metodologia para estimativa de redução dos custos com a
geração de ar comprimido**

Guaratinguetá - SP
2017

Cyro França Ferraz

Desenvolvimento de uma metodologia para estimativa de redução dos custos com a geração de ar comprimido

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

Guaratinguetá - SP
2017

Ferraz, Cyro França
F381d Desenvolvimento de uma metodologia para estimativa de redução dos custos com a geração de ar comprimido / Cyro França Ferraz – Guaratinguetá, 2017.
50 f : il.
Bibliografia: f. 39

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

1. Ar comprimido. 2. Compressores. 3. Software – Desenvolvimento.
I. Título

CDU 621.54


Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

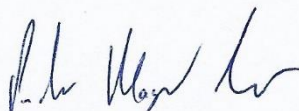
CYRO FRANÇA FERRAZ

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

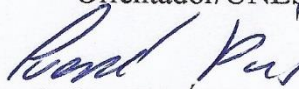
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

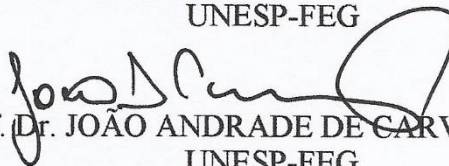
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Orientador/UNESP-FEG



Profa. Dra. IVONETE ÁVILA
UNESP-FEG



Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JR
UNESP-FEG

Dezembro de 2017

dedico este trabalho
de modo especial, à minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus pela força depositada em mim durante todo o período do curso,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho*, por toda a atenção, uma vez que sem esse auxílio o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível,

aos meus pais *Helio e Ana* e à minha avó *Léa*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos e depositaram muita confiança em mim,

aos funcionários da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá por toda a assistência,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá por todo o atendimento.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.
Mas o que seria o oceano se não infinitas gotas?”

Isaac Newton

RESUMO

Com a redução do consumo de ar comprimido numa planta industrial, são reduzidos os gastos com energia elétrica e com manutenção de compressores, que passam a trabalhar com uma carga menor. Também são obtidos inúmeros ganhos ao meio ambiente. Uma das maneiras de se diminuir o consumo do ar comprimido é por meio da eliminação de vazamentos na linha de ar comprimido. Com a detecção dos orifícios através dos quais ocorrem tais vazamentos, é obtida a vazão de ar comprimido através de cada um destes. Neste trabalho foi desenvolvido um *software* para realizar o cálculo do custo total por dia dos vazamentos nas linhas de ar comprimido em uma planta industrial e, com isso, estimar potenciais de redução no consumo de ar comprimido. Por meio de um estudo de caso realizado com o uso do referido *software*, foi possível observar como vazamentos de ar comprimido podem causar consideráveis prejuízos financeiros para a empresa ao longo do tempo, o que mostra a grande importância de se eliminar tais vazamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Ar comprimido. Vazamento. Compressor. Redução de consumo. *Software*. Custo total por dia.

ABSTRACT

With the reduction of the consumption of compressed air in an industrial plant, the expenses with electrical energy and with maintenance of compressors, that will work with smaller loads, are reduced. Several gains to the environment are also obtained. One of the ways to reduce the consumption of compressed air is by eliminating leaks in the compressed air lines. With the detection of the orifices through which such leaks occur, the flow of compressed air through each orifice is obtained. In this project, a software was developed to calculate the total daily cost of the leaks in the compressed air lines in an industrial plant and with that the potential reduction in the consumption of compressed air is estimated. After a case study made with the software, it was possible to observe that compressed air leaks can cause considerable financial losses to the company over time, which shows the great importance of eliminating such leaks.

KEYWORDS: Compressed air. Leak. Compressor. Reduction of consumption. Software. Total daily cost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema com as despesas financeiras de um sistema de ar comprimido	13
Figura 2 – Sistema de produção e tratamento de ar comprimido	14
Figura 3 – Compressor axial.....	15
Figura 4 – Compressor centrífugo	16
Figura 5 – Compressor alternativo de pistão	17
Figura 6 – Seção transversal de um compressor de palhetas.....	18
Figura 7 – Vista em corte de um compressor de parafusos sincronizados	18
Figura 8 – Seção transversal de um compressor de lóbulos	19
Figura 9 – Pressões e vazões volumétricas para alguns compressores.....	20
Figura 10 – Secadores por refrigeração	22
Figura 11 – Secador por adsorção	22
Figura 12 – Secador por absorção	23
Figura 13 – Secador de membrana	24
Figura 14 – Filtros de ar comprimido	24
Figura 15 – Tela inicial do programa	29
Figura 16 – Interface do programa com a parte superior preenchida	33
Figura 17 – Interface do programa com a tabela sendo preenchida	34
Figura 18 – Interface do programa após a realização dos cálculos	35
Figura 19 – Relatório dos cálculos	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação do consumo com a temperatura de aspiração.....	25
Tabela 2 – Variação de consumo com a pressão de desarme.....	26
Tabela 3 – Fugas de ar comprimido e perdas de potência.....	27
Tabela 4 – Dados dos compressores utilizados.....	33
Tabela 5 – Perda em volume de ar comprimido ao longo do tempo.....	36
Tabela 6 – Custo dos vazamentos de ar comprimido ao longo do tempo.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	12
2	SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO	13
2.1	DEFINIÇÃO DE AR COMPRIMIDO	13
2.2	INSTALAÇÕES	13
2.3	COMPRESSORES	14
2.3.1	Compressores dinâmicos ou turbocompressores	14
2.3.1.1	Compressores axiais	15
2.3.1.2	Compressores centrífugos ou radiais	15
2.3.2	Compressores volumétricos	16
2.3.2.1	Compressores alternativos	16
2.3.2.2	Compressores rotativos	17
2.3.2.2.1	<i>Compressores de palhetas</i>	17
2.3.2.2.2	<i>Compressores de parafusos</i>	18
2.3.2.2.3	<i>Compressores de lóbulos ou roots</i>	19
2.3.3	Outros compressores	19
2.3.3.1	Compressores sem pistão	19
2.3.3.2	Compressores de diafragma	19
2.3.3.3	Compressores de anel líquido	20
2.3.4	Pressões e vazões volumétricas dos compressores	20
2.4	RESFRIADORES OU ARREFECEDORES DE AR	21
2.5	RESERVATÓRIOS DE AR	21
2.6	SECADORES DE AR	21
2.6.1	Secador por refrigeração	21
2.6.2	Secador por adsorção	22
2.6.3	Secador por absorção	23
2.6.4	Secador de membrana	23
2.7	FILTROS DE AR COMPRIMIDO	24
3	POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA	25
3.1	NA GERAÇÃO DO AR COMPRIMIDO	25
3.1.1	Temperatura elevada no ar aspirado pelo compressor	25

3.1.2	Sujeira no filtro de aspiração	25
3.1.3	Pressão de desarme muito elevada	26
3.2	NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO	26
3.2.1	Vazamentos nas linhas de ar comprimido	26
3.2.2	Linhas de distribuição de ar comprimido muito sinuosas	27
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	INTERFACE DO PROGRAMA	28
4.2	DADOS REFERENTES AOS VAZAMENTOS	29
4.3	CÁLCULO DO CUSTO TOTAL POR DIA	29
5	ESTUDO DE CASO	32
5.1	COMPRESSORES UTILIZADOS	32
5.2	DETECÇÃO DOS FUROS	32
5.3	APLICAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	33
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
6.1	REALIZAÇÃO DOS CÁLCULOS	35
6.2	RELATÓRIO DOS CÁLCULOS	35
6.3	VAZÃO VOLUMÉTRICA TOTAL	36
6.4	CUSTO TOTAL	37
7	CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A – Manual do <i>software</i>	40
	APÊNDICE B – Relatório dos cálculos	49

1 INTRODUÇÃO

A maior parte dos custos durante a vida útil de um compressor são relativos à energia elétrica e, por isso, é de fundamental importância realizar estudos para a redução do consumo de ar comprimido.

Tais estudos podem ser realizados com a detecção de vazamentos nas linhas de ar comprimido de uma planta industrial. Com a detecção dos furos através dos quais ocorrem tais vazamentos nas linhas de ar comprimido, são obtidos o diâmetro de cada orifício e a pressão do ar através deste. A partir destes dois dados, a vazão de ar comprimido através de cada furo é obtida por meio de tabelas.

Por meio de um *software*, desenvolvido neste trabalho de graduação (TG), calcula-se o custo total por dia devido aos referidos vazamentos e, assim, é realizado o estudo dos potenciais de redução do consumo de ar comprimido.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo dos potenciais de redução do consumo de ar comprimido numa planta industrial por meio do cálculo do custo total por dia dos vazamentos nas linhas de ar comprimido.

Como resultado, obtém-se a redução dos gastos com energia elétrica e com a manutenção dos compressores, já que estes passam a trabalhar com cargas menores.

Além disso, com menor consumo de energia elétrica, são obtidos inúmeros ganhos ao meio ambiente.

2 SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

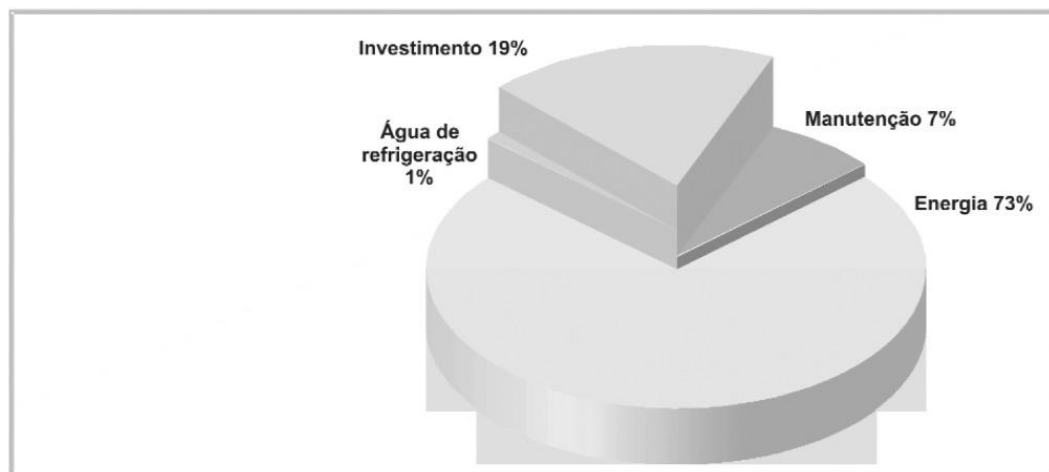
2.1 DEFINIÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Segundo Novais (1995) o ar comprimido é a segunda energia na indústria de transformação, porém é também a mais cara e a mais deficientemente tratada.

Segundo Santos e Silva (2009) é necessário comprimir o ar para que este possa ser usado como fonte de energia, isto é, é preciso fornecer trabalho ao ar para aumentar a sua energia interna para que esta depois a mesma seja transformada em energia mecânica.

Segundo Rocha e Monteiro (2005) 73% dos custos envolvidos na produção do ar comprimido são relativos à energia elétrica, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema com as despesas financeiras de um sistema de ar comprimido



Fonte: Rocha e Monteiro (2005)

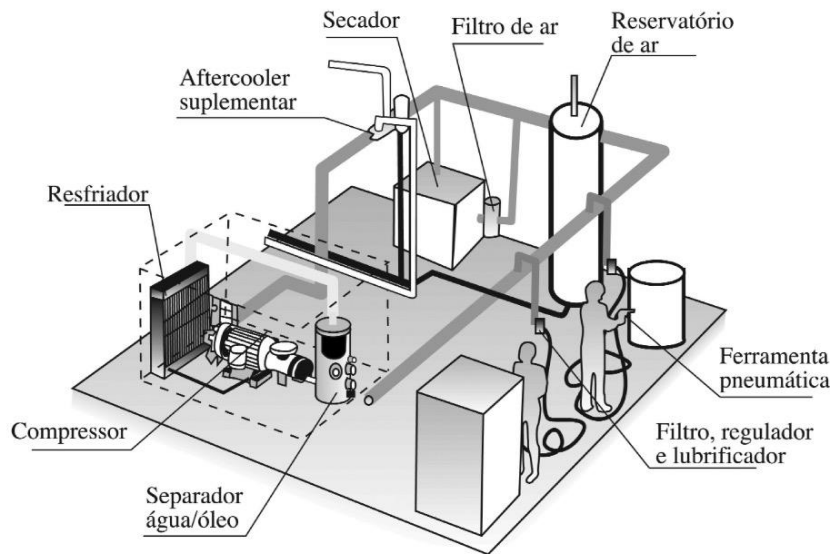
2.2 INSTALAÇÕES

Segundo Fialho (2007) no processo de geração de ar comprimido, o ar atmosférico é aspirado e comprimido e geralmente armazenado em um reservatório. É conveniente que haja um tratamento do ar antes e depois deste armazenamento.

Segundo Santos e Silva (2009) o ar comprimido tem sua produção realizada por uma central de produção e distribuição de ar. A distribuição é realizada por tubos com origem na central de produção deste ar e neste processo devem ser considerados a localização da central de compressão, as perdas de carga ao longo das tubulações, o tratamento do ar.

A Figura 2 apresenta um sistema de produção e tratamento de ar comprimido.

Figura 2 – Sistema de produção e tratamento de ar comprimido



Fonte: Rocha e Monteiro (2005)

2.3 COMPRESSORES

Segundo Santos e Silva (2009) os compressores são essenciais para a produção de ar comprimido. Estes comprimem o ar por meio de uma força externa, o que causa o aumento da sua energia interna.

Segundo Fialho (2007) na indústria usualmente são utilizados compressores com grandes reservatórios com a finalidade de atender à grande demanda de ar comprimido em diversos pontos, interligados por meio de uma rede tubular.

Segundo Santos e Silva (2009) de acordo com o princípio de compressão a que o ar é sujeito, os compressores são divididos em compressores dinâmicos e compressores volumétricos.

2.3.1 Compressores dinâmicos ou turbocompressores

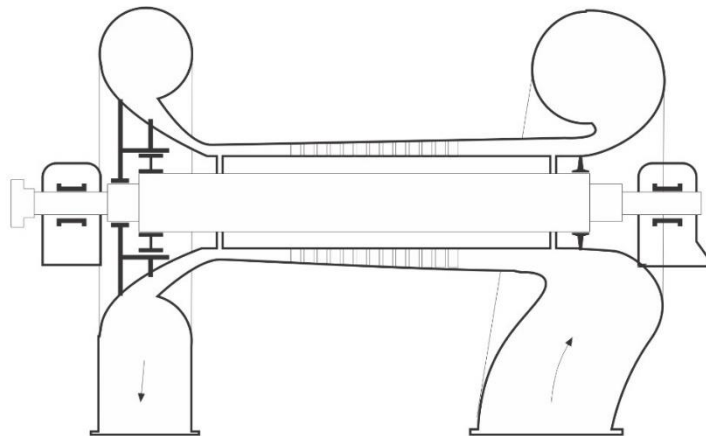
Segundo Fialho (2007), os compressores dinâmicos realizam a compressão do ar de maneira contínua e possuem duas peças principais: o impelidor e o difusor. O impelidor é uma peça rotativa dotada de pás que transfere ao ar a energia recebida de um acionador. Em seguida, o escoamento chega a uma peça fixa conhecida como difusor, que promove a transformação da energia cinética do ar em entalpia, o que provoca um ganho de pressão.

Os dois tipos principais de turbocompressores são: compressor axial e compressor centrífugo.

2.3.1.1 Compressores axiais

Segundo Santos e Silva (2009) os compressores axiais têm como principal característica movimentar o fluxo de ar na direção axial. O ar passa ao longo do eixo do compressor através de impulsores rotativos, que imprimem velocidade ao ar, e impulsores e estacionários, que convertem a energia cinética em energia de pressão. A Figura 3 exibe este tipo de compressor.

Figura 3 - Compressor axial

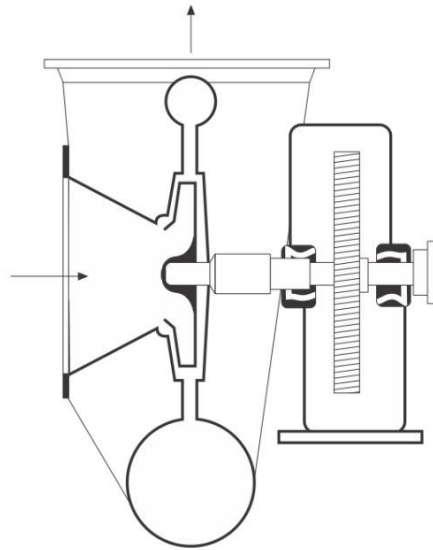


Fonte: Rocha e Monteiro (2005)

2.3.1.2 Compressores centrífugos ou radiais

Segundo Santos e Silva (2009), nos compressores centrífugos ou radiais a compressão do ar ocorre de maneira perpendicular ao eixo motor. O ar é acelerado do centro de rotação em direção à periferia do compressor e é descarregado seguindo a tangente ao raio das pás impulsoras, isto é, de forma radial. A Figura 4 mostra um compressor centrífugo.

Figura 4 - Compressor centrífugo



Fonte: Rocha e Monteiro (2005)

2.3.2 Compressores volumétricos

Segundo Santos e Silva (2009) estes compressores têm como característica a redução do volume do ar contido numa câmara ou cilindro de compressão, o que gera uma elevação de pressão.

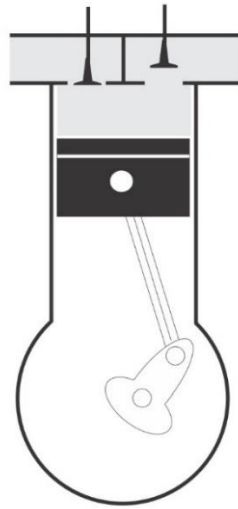
Os compressores volumétricos são divididos em dois tipos:

- Compressores alternativos;
- Compressores rotativos;

2.3.2.1 Compressores alternativos

Segundo Silva (2009) os compressores alternativos são máquinas que usam um pistão, tradicionalmente cilíndrico, inserido em um cilindro para produzir pressão. Este pistão se desloca num determinado sentido, admitindo ar à pressão de admissão, e, em seguida, se desloca no sentido contrário. Com isso, ocorre compressão por meio da diminuição de volume. Na Figura 5 é apresentado um compressor alternativo de pistão.

Figura 5 – Compressor alternativo de pistão



Fonte: Adaptado de Rocha e Monteiro (2005)

2.3.2.2 Compressores rotativos

Segundo Fialho (2007) nestes compressores a sucção e a compressão do ar até que este atinja a pressão desejada são realizadas por meio de movimentos rotacionais de elementos internos.

Os compressores rotativos são divididos em 3 tipos:

- Compressores de palhetas;
- Compressores de parafusos;
- Compressores de lóbulos (*roots*);

2.3.2.2.1 *Compressores de palhetas*

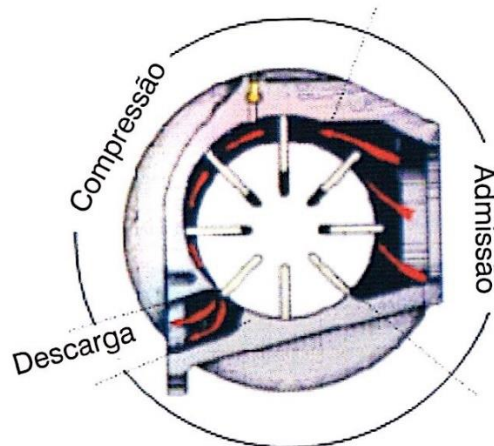
Segundo Silva (2009) os compressores de palhetas utilizam um rotor excêntrico que gira no interior de um estator.

Segundo Santos e Silva (2009), os eixos do rotor e do estator são paralelos, porém há uma ligeira excentricidade no primeiro. Devido a esta, há nestes compressores as câmaras de admissão e compressão. O volume de ar admitido na entrada é transportado pelas câmaras ao longo da parede do estator, que são progressivamente diminuídas à medida em que gira o rotor, o que se deve à excentricidade que este apresenta.

Segundo Silva (2009) o volume de ar é reduzido até um volume mínimo ser atingido, o que se dá imediatamente antes de a janela de descarga ser aberta.

A figura 6 exhibe a seção transversal de um compressor de palhetas.

Figura 6 – Seção transversal de um compressor de palhetas



Fonte: Silva (2009)

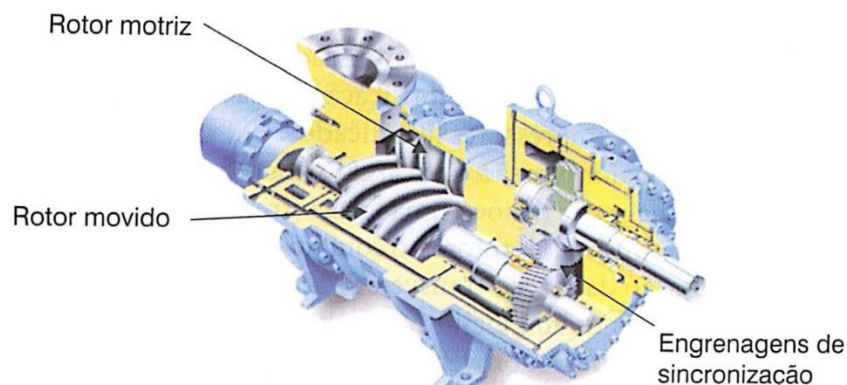
2.3.2.2.2 Compressores de parafusos

Segundo Silva (2009) os compressores de parafusos apresentam dois rotores, usinados de forma helicoidal, que giram em sentido contrário engrenados um ao outro com o objetivo de produzir pressão.

Segundo Fialho (2007) o ar entra pela abertura de aspiração e ocupa o espaço disponível entre os filetes dos rotores. Assim que ocorre o engrenamento de um filete, o ar fica contido entre o rotor e as paredes da carcaça. Com a rotação, o ponto de engrenamento desloca-se para a frente, o que faz com que o espaço disponível para o ar seja reduzido, o que provoca a compressão deste. Por fim, o ar alcança a abertura de descarga e é liberado. Os rotores geralmente têm seus movimentos sincronizados por meio de engrenagens.

A Figura 7 mostra um compressor de parafusos.

Figura 7 – Vista em corte de um compressor de parafusos sincronizados



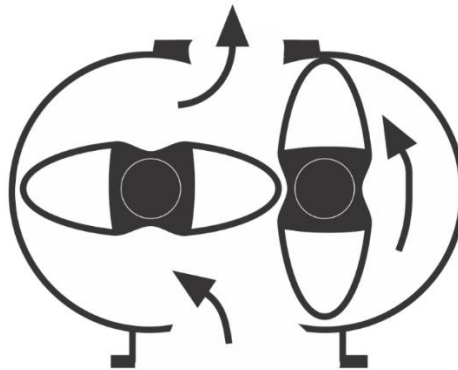
Fonte: Silva (2009)

2.3.2.2.3 Compressores de lóbulos ou roots

Segundo Silva (2009) estes compressores apresentam dois lóbulos inseridos um ao outro e as rotações destes são sincronizadas por meio de uma engrenagem motriz e outra movida. Conseqüentemente, os rotores giram em sentidos contrários. Os compressores de lóbulos simplesmente deslocam o ar de uma região de baixa pressão para outra de pressão um pouco maior e o diferencial de pressão é sempre baixo, podendo chegar a 200 kPa, o que faz com que o trabalho de compressão realizado seja desprezível em relação ao de transporte do ar.

A Figura 8 mostra a seção transversal de um compressor deste tipo.

Figura 8 – Seção transversal de um compressor de lóbulos



Fonte: Adaptado de Rocha e Monteiro (2005)

2.3.3 Outros compressores

2.3.3.1 Compressores sem pistão

Segundo Bosch (2008) nestes compressores o ar comprimido atua nos pistões em posição de ponto morto, os empurra para o interior e liga o compressor. Quando ocorre a ignição do combustível injetado, os pistões são separados e o ar fechado sofre compressão. Os compressores sem pistão apresentam alta eficiência.

2.3.3.2 Compressores de diafragma

Segundo Silva (2009) os compressores de diafragma utilizam um pistão para realizar o deslocamento de um fluido hidráulico que aciona um diafragma, responsável pela compressão do ar.





















2.3.3.3 Compressores de anel líquido

Segundo Bosch (2008) os compressores de anel líquido apresentam um eixo com lâminas radiais rígidas, que correm dentro de uma carcaça excêntrica, o que faz com que um líquido de vedação, que normalmente é água, gire. Com isso, forma-se um anel líquido, que veda as áreas de funcionamento entre as lâminas e a carcaça. Devido à excentricidade da rotação do eixo, ocorrem mudanças de volume e, conseqüentemente, o ar é comprimido. Estes compressores apresentam baixa eficiência.

2.3.4 Pressões e vazões volumétricas dos compressores

Segundo Bosch (2008) para a escolha do compressor mais apropriado para uma determinada aplicação, os valores de pressão e volume de ar comprimido necessário por unidade de tempo devem ser conhecidos. A Figura 9 mostra estes dois valores para alguns compressores.

Figura 9 – Pressões e vazões volumétricas para alguns compressores

Tipo	Símbolo	Diagrama funcional	Pressão [bar]	Vol. do fluxo[m ³ /h]
Compressor de pistão tronco			10 (1 fase) 35 (2 fases)	120 600
Compressor de cabeçote cruzado			10 (1 fase) 35 (2 fases)	120 600
Compressor de diafragma			baixa	pequeno
Compressor s/ pistão			Uso limitado como gerador de gás	
Compressor de palhetas			16	4.500
Compressor de anel líquido			10	
Compressor de parafuso			22	750
Compressor de lóbulos ou roots			1,6	1.200
Compressor de fluxo axial			10	200.000
Compressor de fluxo radial			10	200.000

Fonte: BOSCH (2008)

2.4 RESFRIADORES OU ARREFECEDORES DE AR

Segundo Santos e Silva (2009) o arrefecedor de ar possui a finalidade de reduzir a temperatura do ar à saída do compressor para valores próximos à temperatura ambiente. Com este procedimento ocorre uma grande condensação dos contaminantes gasosos, como vapores de água e de óleo.

2.5 RESERVATÓRIOS DE AR

Segundo Santos e Silva (2009) os reservatórios de ar comprimido têm a função de armazenar este ar e, assim, garantir uma reserva de emergência, e de ajudar a manter uma pressão constante e estabilizada nas linhas de consumo. Eles devem ser instalados fora da casa dos compressores, preferencialmente à sombra. Além disso, é necessária a presença de um dreno no ponto mais baixo do reservatório com a finalidade de remover os condensados acumulados.

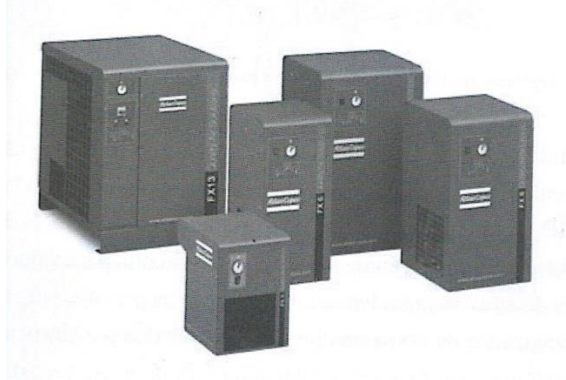
2.6 SECADORES DE AR

Segundo Santos e Silva (2009) a finalidade do secador de ar é retirar a umidade presente no fluxo de ar comprimido para que este se torne tecnicamente seco. Vários líquidos passam pelos filtros, porém não são removidos por estes por se encontrarem na forma de gás no momento da passagem. Os secadores são classificados por: refrigeração, adsorção, absorção e membrana.

2.6.1 Secador por refrigeração

Segundo Santos e Silva (2009) princípio de funcionamento deste secador baseia-se na redução da temperatura de mistura até valores próximos aos 0 °C, que é a temperatura de ponto de orvalho, com o objetivo de se obter a máxima condensação sem risco de congelação. Os condensados recolhidos por este equipamento são purgados para o exterior deste para evitar a sua reentrada no fluxo de ar comprimido. A Figura 10 exibe um secador por refrigeração.

Figura 10 – Secadores por refrigeração

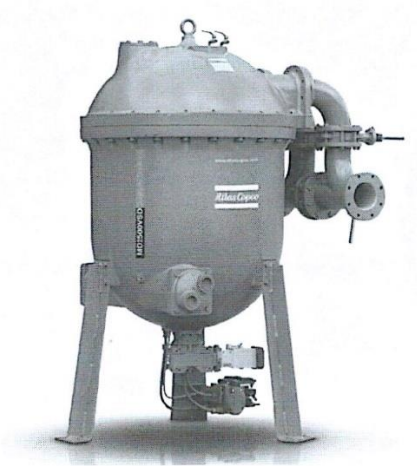


Fonte: Santos e Silva (2009)

2.6.2 Secador por adsorção

Segundo Santos e Silva (2009), nos secadores por adsorção são removidos os vapores do ar comprimido sem que estes sejam condensados. O processo de adsorção consiste na retirada do vapor de água com a passagem do ar comprimido por um leito de material adsorvente. Neste processo ocorre a fixação das moléculas de um adsorvato (vapor de água) na superfície de um adsorvente geralmente poroso e granulado, altamente higroscópico, que incorpora a massa de água sem que haja uma combinação entre ambos. Na Figura 11 é mostrado um secador deste tipo.

Figura 11 – Secador por adsorção

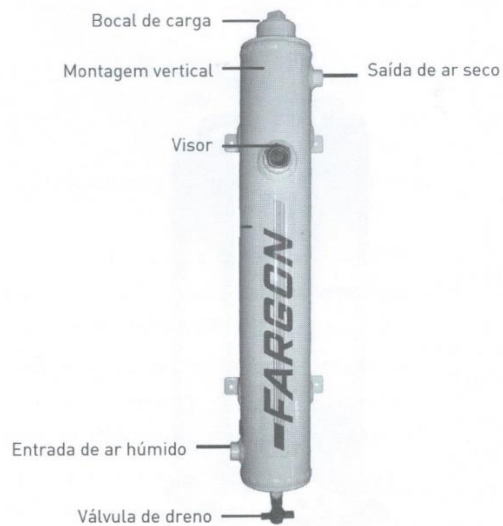


Fonte: Santos e Silva (2009)

2.6.3 Secador por absorção

Segundo Santos e Silva (2009) este secador, assim como o por adsorção, tem como característica realizar a remoção dos vapores do ar comprimido por absorção. O ar úmido entra pela parte inferior deste equipamento e tem contato com o material absorvente que absorve a umidade e gradualmente se dissolve. A umidade retirada e a substância diluída são depositadas na área inferior do secador, onde são drenadas. O ar seco é liberado pela parte superior do equipamento, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Secador por absorção



Fonte: Santos e Silva (2009)

2.6.4 Secador de membrana

Segundo Santos e Silva (2009) este secador é constituído por um conjunto de dois pré filtros que proporcionam a máxima qualidade ao ar, retirando partículas sólidas, água e óleo, e por um elemento filtrante de membrana (aglomerado de tubos de fibras de membrana tratadas quimicamente). A Figura 13 mostra um secador de membrana.

Figura 13 – Secador de membrana

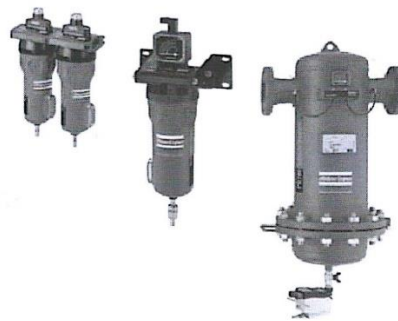


Fonte: Santos e Silva (2009)

2.7 FILTROS DE AR COMPRIMIDO

Segundo Santos e Silva (2009) os filtros de ar comprimido têm a função de remover os contaminantes presentes ou gerados na fase de compressão. Geralmente aparece em três posições diferentes: antes e depois do secador de ar comprimido e também junto à entrada do equipamento. A Figura 14 mostra alguns filtros de ar comprimido.

Figura 14 – Filtros de ar comprimido



Fonte: Santos e Silva (2009)

3 POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 NA GERAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

3.1.1 Temperatura elevada no ar aspirado pelo compressor

Segundo Rocha e Monteiro (2005) quanto menor for a temperatura do ar aspirado pelo compressor, maior será a massa de ar que poderá ser aspirada por este equipamento com a mesma vazão volumétrica e a mesma potência consumida, pois o ar frio é mais denso. Com isso, deve-se evitar que os compressores aspirem ar no local onde estão instalados, cuja temperatura é sempre superior à do ar atmosférico externo. A Tabela 1 correlaciona as temperaturas do ar aspirado e os percentuais de potência economizados ou incrementados, tomando-se como base a temperatura de 21°C.

Tabela 1 – Variação do consumo com a temperatura de aspiração

Temperatura do ar de aspiração (°C)	Percentual de potência economizada, ou incrementada, com referência à temperatura de 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: Adaptado de Rocha e Monteiro (2005)

3.1.2 Sujeira no filtro de aspiração

Segundo Rocha e Monteiro (2005) se não houver uma manutenção programada no filtro do ar na aspiração - que tem como função evitar a entrada de grandes partículas e sujeiras carregadas pelo ar atmosférico - a sujeira se acumulará, fechando parcial ou totalmente os poros

do filtro, provocando aumento da perda de carga neste último. Com isso, ocorre um aumento do consumo de energia do motor de acionamento do compressor em relação ao mesmo trabalho realizado com o filtro limpo.

3.1.3 Pressão de desarme muito elevada

Segundo Rocha e Monteiro (2005) a pressão de desarme ajustada no pressostato de controle de ciclo - que é um acessório presente no reservatório de ar comprimido e tem a função de controlar o funcionamento do compressor - deverá estar próxima da pressão média de operação da linha. Um ajuste de pressão mais elevada leva o compressor a funcionar mais tempo que o necessário, o que pode provocar aumentos no consumo de energia elétrica.

A Tabela 2 exibe as relações entre a potência necessária para a compressão contínua de 1 m³ de ar por minuto e a pressão de desarme.

Tabela 2 – Variação de consumo com a pressão de desarme

Pressão de desarme ideal ou ajustada (bar)	Potência requerida para comprimir continuamente 1 m³ de ar por minuto (cv/m³/min)
0,70	1,29
1,75	2,65
3,50	4,25
5,60	5,70
7,00	6,49
10,50	8,02
14,00	9,28

Fonte: Adaptado de Rocha e Monteiro (2005)

3.2 NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO

3.2.1 Vazamentos nas linhas de ar comprimido

Segundo Santos e Silva (2009) todos os sistemas de ar comprimido apresentam fugas de ar. É comum serem encontradas perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido. Logo, identificar, eliminar e reduzir as fugas é um dos processos mais simples e eficientes de economizar energia. Válvulas, tubos de distribuição, mangueiras e conexões mal vedadas,

corroídas e furadas sem manutenção podem provocar fugas de enormes proporções num sistema pneumático.

A Tabela 3 mostra como fugas numa rede de distribuição causam um aumento no consumo de energia.

Tabela 3 – Fugas de ar comprimido e perdas de potência

Diâmetro do furo		Escape de ar	Potência necessária para compressão	
mm	pol	m³/s	cv	kw
1	3/64	0,001	0,4	0,3
3	1/8	0,010	4,2	3,1
5	3/16	0,027	11,2	8,3
10	3/8	0,105	44	33

Fonte: Adaptado de Santos e Silva (2009)

Segundo Santos e Silva (2009) os vazamentos de ar podem ser reduzidos com uma manutenção preventiva do sistema, de três a cinco vezes por ano, por exemplo, com a substituição de juntas de vedação defeituosas, válvulas e aperto de conexões.

3.2.2 Linhas de distribuição de ar comprimido muito sinuosas

Segundo Rocha e Monteiro (2005) linhas com excesso de curvas e com mudanças de direção muito acentuadas provocam aumento das perdas de carga a serem vencidas pelo compressor e levam a uma regulagem muito alta da pressão de desarme, o que leva a um maior consumo de potência elétrica, conforme visto na Tabela 2.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de estudar potenciais de economia de energia elétrica por meio da redução e da eliminação de vazamentos nas linhas de ar comprimido, foi desenvolvido neste trabalho um *software* para realizar o cálculo do custo total por dia de uma determinada quantidade de vazamentos. Foi utilizada a linguagem de programação Java, que permite a criação de uma interface gráfica na qual o usuário pode fornecer os dados necessários para a realização dos cálculos necessários.

No Apêndice A está presente o manual deste *software*, chamado Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido.

4.1 INTERFACE DO PROGRAMA

Na interface do programa há uma tabela na qual devem ser preenchidos os campos referentes aos equipamentos nos quais estão presentes cada furo no qual ocorre vazamento de ar comprimido, ao diâmetro e à pressão do ar em cada um destes orifícios.

Acima dessa tabela, há campos de texto nos quais o usuário deve fornecer o número de furos através dos quais ocorrem fugas de ar comprimido, o custo do kWh e alguns dados dos compressores, que são: a potência nominal total dos motores, as horas de trabalho por dia e a vazão volumétrica nominal de ar comprimido.

Na Figura 15 é mostrada a tela inicial do programa.

Figura 15 – Tela inicial do programa

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
1		Diâmetro	Pressão	

Fonte: Produção do próprio autor

4.2 DADOS REFERENTES AOS VAZAMENTOS

Tais dados são obtidos por meio da detecção dos furos através dos quais ocorrem fugas nas linhas de ar comprimido. Por meio deste procedimento, são obtidos o diâmetro de cada orifício e a pressão do ar comprimido através deste. Com estes dois dados, a vazão de ar comprimido através de cada furo é obtida com o uso da tabela de ar comprimido através de orifícios da Atlas Copco, presente no Apêndice A deste trabalho, no manual do *software*.

Esta tabela foi usada para a criação de um banco de dados para que ao fornecer o diâmetro e a pressão relativos ao furo em questão, o usuário obtenha o valor da vazão do escape de ar comprimido por meio deste orifício.

4.3 CÁLCULO DO CUSTO TOTAL POR DIA

Para calcular o custo total por dia dos vazamentos de ar comprimido, o usuário deve antes preencher todos os campos da interface do programa. Para este cálculo foi utilizada como base a seguinte relação, válida para cada furo através do qual ocorre escape de ar comprimido, como está mostrado na equação (1).

$$\frac{\text{custo}_{\text{comp.}}}{\text{custo}_{\text{furo},i}} = \frac{Q_{\text{comp.}}}{Q_{\text{furo},i}} \quad (1)$$

Sendo:

$\text{custo}_{\text{comp.}}$: Custo diário devido à potência nominal total dos motores dos compressores;

$\text{custo}_{\text{furo},i}$: Custo diário devido ao vazamento ocorrido pelo furo i em R\$;

$Q_{\text{comp.}}$: Vazão volumétrica nominal de ar comprimido dos compressores em m^3/h ;

$Q_{\text{furo},i}$: Vazão volumétrica de ar comprimido através do furo i em m^3/min .

Por meio da equação (1), pode-se calcular o valor da variável $\text{custo}_{\text{furo},i}$. Assim, obtém-se a equação (2).

$$\text{custo}_{\text{furo},i} = \frac{\text{custo}_{\text{comp.}} \times Q_{\text{furo},i}}{Q_{\text{comp.}}} \quad (2)$$

Conforme visto na Figura 15, o usuário deve informar o valor da variável $Q_{\text{comp.}}$. A variável $Q_{\text{furo},i}$, por sua vez, é obtida pelo programa, por meio do banco de dados criado com base na tabela de ar comprimido através de orifícios da Atlas Copco.

O custo diário devido à potência nominal total dos motores dos compressores ($\text{custo}_{\text{comp.}}$) pode ser calculado por meio da equação (3):

$$\text{custo}_{\text{comp.}} = P_{\text{comp.}} \times h_{\text{trab.}} \times \text{custo}_{\text{kWh}} \quad (3)$$

Sendo:

$P_{\text{comp.}}$: Potência nominal total do motor dos compressores em kW;

$h_{\text{trab.}}$: Horas de trabalho por dia dos compressores;

$\text{custo}_{\text{kWh}}$: Custo da energia em R\$/kWh.

Ao combinar as equações (2) e (3), chega-se à equação (4):

$$\text{custo}_{\text{furo},i} = P_{\text{comp.}} \times h_{\text{trab.}} \times \text{custo}_{\text{kWh}} \times \frac{Q_{\text{furo},i}}{Q_{\text{comp.}}} \quad (4)$$

O objetivo do programa é obter o valor do custo total por dia devido aos vazamentos, logo, é necessário obter o valor do custo diário total devido a todos os furos através dos quais há fugas de ar comprimido. Com isso, deve-se somar o custo devido a cada furo, por meio da equação (5).

$$\text{custo}_{\text{furo},t} = \sum_{i=1}^n \text{custo}_{\text{furo},i} \quad (5)$$

Sendo:

$\text{custo}_{\text{furo},t}$: Custo total por dia devido aos n furos em R\$.

As equações (4) e (5) podem ser combinadas da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \text{custo}_{\text{furo},t} &= \sum_{i=1}^n P_{\text{comp.}} \times h_{\text{trab.}} \times \text{custo}_{\text{kWh}} \times \frac{Q_{\text{furo},i}}{Q_{\text{comp.}}} \\ \text{custo}_{\text{furo},t} &= \frac{P_{\text{comp.}} \times h_{\text{trab.}} \times \text{custo}_{\text{kWh}}}{Q_{\text{comp.}}} \times \sum_{i=1}^n Q_{\text{furo},i} \end{aligned} \quad (6)$$

Como todos os valores da equação (6) são fornecidos pelo usuário na interface do programa, esta equação foi utilizada para o software realizar o cálculo do custo total por dia devido aos vazamentos de ar comprimido.

5 ESTUDO DE CASO

Com o uso do *software* desenvolvido neste trabalho, foi realizado um estudo de caso numa fábrica de vidro. Tal estudo foi feito com base nos dados obtidos em um procedimento de detecção dos furos através dos quais havia vazamentos em algumas linhas de ar comprimido da planta industrial em questão. O custo da energia elétrica em kWh utilizado para o estudo foi de R\$0,25.

5.1 COMPRESSORES UTILIZADOS

Na fábrica de vidro em questão, são utilizados para a geração de ar comprimido 3 compressores de parafuso, que trabalham 24 horas por dia. Na Tabela 4 são apresentados os dados referentes a estes equipamentos.

Tabela 4 – Dados dos compressores utilizados

Item	Descrição
Número de compressores	3
Tipo	Parafuso
Acionamento	Motor elétrico
Potência nominal do motor principal	75 [HP] = 55,93 [kW]
Vazão mássica nominal de ar comprimido	562,2 [m ³ /h]

Fonte: Produção do próprio autor

5.2 DETECÇÃO DOS FUROS

Na detecção dos furos através dos quais ocorriam fugas de ar comprimido foram identificados 56 casos de vazamento. Por meio deste procedimento foram obtidos os diâmetros (em mm) destes orifícios e a pressão do ar comprimido (em atm) através de cada um destes. Na identificação de cada furo, foi registrado em qual equipamento este último estava localizado.

5.3 APLICAÇÃO DO SOFTWARE

Com os dados obtidos em relação aos compressores e aos furos, foram preenchidos os campos de texto da interface do *software*. Primeiramente, foram preenchidos os campos da parte de cima da tela do programa, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 – Interface do programa com a parte superior preenchida

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
1		Diâmetro	Pressão	
2		Diâmetro	Pressão	
3		Diâmetro	Pressão	
4		Diâmetro	Pressão	
5		Diâmetro	Pressão	
6		Diâmetro	Pressão	
7		Diâmetro	Pressão	
8		Diâmetro	Pressão	
9		Diâmetro	Pressão	
10		Diâmetro	Pressão	
11		Diâmetro	Pressão	
12		Diâmetro	Pressão	
13		Diâmetro	Pressão	
14		Diâmetro	Pressão	
15		Diâmetro	Pressão	

Fonte: Produção do próprio autor

Em seguida, foram preenchidos os campos da tabela da interface, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Interface do programa com a tabela sendo preenchida

Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos:

Custo do kWh [R\$]:

Custo total por dia:

Dados dos compressores

Potência [kW]:

Horas de trabalho por dia:

Vazão [m³/h]:

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
1	Regulador de pressão (Lubrífil)	3.0	6	
2	Regulador de pressão (Lubrífil)	3.0	6	
3	Regulador de pressão (Lubrífil)	1.0	6	
4	Regulador de pressão (Lubrífil)	1.0	6	
5	Regulador de pressão (Lubrífil)	1.0	6	
6	Conexão	1.0	2	
7	Suporte barbante nº 2 (RH)	3.0	2	
8	Suporte barbante nº 3 (RH)	3.0	2	
9	Suporte barbante nº 4 (RH)	3.0	2	
10	Suporte barbante nº 5 (RH)	3.0	2	
11	Suporte barbante nº 5 (RH)	3.0	2	
12	Suporte barbante nº 6 (RH)	5.0	2	
13	Suporte barbante nº 6 (RH)	5.0	2	
14	Flip Over (corte temperado)	1.0	6	
15	Regulador de pressão (Lubrífil)	1.0	2	

Fonte: Produção do próprio autor

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 REALIZAÇÃO DOS CÁLCULOS

Após o preenchimento de todos os campos da interface do *software*, ao pressionar o botão “Calcular”, a coluna “Vazão [m³/min]” e o campo “Custo total por dia” são automaticamente preenchidos. A Figura 18 exibe como ficou a interface depois da realização dos cálculos.

Figura 18 – Interface do programa após a realização dos cálculos

The screenshot shows a software window titled "Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido". It features several input fields and a table of results.

Inputs:

- Número de furos: 56
- Custo do kWh [R\$]: 0.25
- Custo total por dia: R\$ 593.12
- Potência [kW]: 55.93
- Horas de trabalho por dia: 24
- Vazão [m³/h]: 562.2

Buttons: Ajuda, Calcular, Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
43	Torre de descarte #41	3.0	6	0.56800
44	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
45	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
46	Válvula solenoide	3.0	6	0.56800
47	Mangueira de alimentação painel STAR	1.0	6	0.06310
48	Regulador de pressão (Lubrifi)	1.0	6	0.06310
49	Mangueira de limpeza	1.0	6	0.06310
50	Mangueira de resfriamento	1.0	6	0.06310
51	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
52	Mangueira de alimentação	1.0	6	0.06310
53	Mangueira de alimentação	1.0	6	0.06310
54	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
55	Mangueira de alimentação	1.0	6	0.06310
56	Regulador de pressão (Lubrifi)	1.0	6	0.06310
			Total	16.56100

Fonte: Produção do próprio autor

Observa-se que a vazão volumétrica total de ar comprimido através dos furos foi de 16,561 [m³/min] por dia e o custo total por dia destes 56 casos de vazamento foi de R\$593,12.

6.2 RELATÓRIO DOS CÁLCULOS

Conforme mostrado no manual do *software*, presente no Apêndice A, o usuário tem a opção de emitir um relatório para Excel dos cálculos realizados. Neste estudo de caso, tal relatório foi emitido e encontra-se no Apêndice B deste trabalho. Na Figura 19 é exibida uma parte deste relatório.

Figura 19 – Relatório dos cálculos

	A	B	C	D	E
1	Relatório do Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido				
2					
3	Dados dos compressores				
4	Potência [kW]		55,93		
5	Vazão [m ³ /h]		562,20		
6	Horas de trabalho por dia		24,0		
7					
8	Custo do kWh		R\$ 0,25		
9	Custo total por dia		R\$ 593,12		
10					
11	Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
12	1	Regulador de pressão (Lubrífil)	3,0	6	0,56800
13	2	Regulador de pressão (Lubrífil)	3,0	6	0,56800
14	3	Regulador de pressão (Lubrífil)	1,0	6	0,06310
15	4	Regulador de pressão (Lubrífil)	1,0	6	0,06310
16	5	Regulador de pressão (Lubrífil)	1,0	6	0,06310
17	6	Conexão	1,0	2	0,02720
18	7	Suporte barbante nº 2 (RH)	3,0	2	0,24500
19	8	Suporte barbante nº 3 (RH)	3,0	2	0,24500
20	9	Suporte barbante nº 4 (RH)	3,0	2	0,24500
21	10	Suporte barbante nº 5 (RH)	3,0	2	0,24500
22	11	Suporte barbante nº 5 (RH)	3,0	2	0,24500
23	12	Suporte barbante nº 6 (RH)	5,0	2	0,68100
24	13	Suporte barbante nº 6 (RH)	5,0	2	0,68100

Fonte: Produção do próprio autor

6.3 VAZÃO VOLUMÉTRICA TOTAL

Com base na vazão volumétrica total por dia dos vazamentos de 16,561 m³/min, foram realizados cálculos da perda de ar comprimido em volume ao longo do tempo devido aos 56 casos de vazamento encontrados na fábrica. Na Tabela 5 são exibidos estes cálculos.

Tabela 5 – Perda em volume de ar comprimido ao longo do tempo

Período	Volume de ar comprimido [m³]
Semana	166934,88
Mês	715435,20
Ano	8704461,60

Fonte: Produção do próprio autor

Com base na tabela 3, pode-se observar que ao longo do tempo os vazamentos provocam grandes perdas volumétricas de ar comprimido. Com isso, pode-se constatar que a identificação

e a posterior eliminação de escapes nas linhas de ar comprimido de uma planta industrial são muito importantes para se obter uma redução no consumo deste tipo de ar.

6.4 CUSTO TOTAL

O objetivo principal de tal estudo é calcular o custo diário total dos casos de vazamento de ar comprimido encontrados. Com base neste valor foram feitos cálculos dos custos que estes casos de fugas de ar comprimido causariam ao longo do tempo. A Tabela 6 mostra estes cálculos.

Tabela 6 – Custo dos vazamentos de ar comprimido ao longo do tempo

Período	Custo
Semana	7 x 593,12 = R\$4151,84
Mês	30 x 593,12 = R\$17793,60
Ano	365 x 593,12 = R\$216488,80

Fonte: Produção do próprio autor

Nota-se que o custo anual destes vazamentos será de mais de R\$ 216 mil. Este valor justifica a grande importância de se eliminar fugas de ar nas linhas de ar comprimido de uma planta industrial.

7 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Após a realização do estudo de caso na fábrica de vidro em questão, foi possível concluir que a eliminação de vazamentos nas linhas de ar comprimido de uma planta industrial é uma importante maneira de se reduzir o consumo deste tipo de ar.

No estudo de caso realizado com o uso do *software* desenvolvido neste trabalho, calculou-se o custo total por dia devido a 56 casos de vazamento de ar comprimido através de furos encontrados numa planta industrial e, com base no custo diário destas fugas de ar, foram calculados os custos destes mesmos vazamentos ao longo do tempo. Com os resultados obtidos, observou-se que tais custos representam um grande prejuízo financeiro para a empresa. Com isso, foi possível concluir que é de fundamental importância realizar manutenções preventivas do sistema de ar comprimido com o objetivo de reduzir as fugas de ar comprimido.

No mesmo estudo de caso foi possível observar que ao longo do tempo os vazamentos provocam perdas de grandes volumes de ar comprimido. Com isso, chega-se à conclusão de que a eliminação destas fugas de ar contribui muito para a diminuição do consumo de ar comprimido na planta industrial. Com esta diminuição, há uma conseqüente redução nos gastos com a manutenção dos compressores, já que estes passam a trabalhar com cargas menores.

Por fim, com o desperdício de energia elétrica devido aos vazamentos, o meio ambiente também é prejudicado. Logo, com a redução no consumo de ar comprimido e com a conseqüente redução no consumo de energia elétrica, são obtidos inúmeros ganhos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas: Robert Bosch Limitada, 2008. Disponível em: http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/ManualPneumatica_ARComprimido.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2017.

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: projeto, dimensionamento e análise de circuitos**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2007. 324p.

NOVAIS, J. **Ar comprimido industrial: produção, tratamento e distribuição**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1995. 700p.

ROCHA, N. R.; MONTEIRO, M. A. G. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 208p. Disponível em: <ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/SCHP/arquivos/Procel/ar%20comprimido/Livro%20Ar%20Comprimido.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

SANTOS, A. A.; SILVA, A. F. **Automação pneumática: produção, tratamento e distribuição de ar comprimido: técnicas de comando de circuitos combinatórios e sequenciais**. 2. ed. Porto: Publindústria, 2009. 319p.

SILVA, N. F. **Compressores alternativos industriais: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 444p.

APÊNDICE A – Manual do software

**MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* CÁLCULO
DO CUSTO DE VAZAMENTO DE AR COMPRIMIDO**

ALUNO: CYRO FRANÇA FERRAZ

ORIENTADOR: PROF. DR. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO - DEN

2017

O estudo dos potenciais de redução do consumo de ar comprimido numa planta industrial é de fundamental importância para se obter uma redução nos gastos com energia elétrica e com a manutenção dos compressores, já que estes trabalhariam com uma carga menor. Com isso, também são obtidos inúmeros ganhos ao meio ambiente.

Uma das maneiras de se obter a redução no consumo do ar comprimido é por meio da detecção de vazamentos na linha de ar comprimido, que provocam perda de energia e aumento de custos.

Na identificação dos furos através dos quais ocorrem tais vazamentos, são obtidos o diâmetro de cada orifício e a pressão do ar comprimido através deste. Com estes dois dados, a vazão de ar comprimido através de cada furo pode ser obtida com o uso de uma tabela da Atlas Copco de fluxo de ar comprimido através de orifícios, mostrada na Figura 1 a seguir.

Diâm. do orifício (mm)	ESTES DADOS REFEREM-SE A ORIFÍCIOS CUJAS BORDAS DE CIRCUNFERÊNCIA SEJAM BEM LISAS E ARREDONDADAS E CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS DE PRESSÃO.											
	FLUXO DE AR COMPRIMIDO EM m ³ /min (760 mm Hg - 15 °C)											
	PRESSÃO DO AR COMPRIMIDO EM atm											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	15	20	30
0,1	0,00027	0,00036	0,00045	0,00054	0,00063	0,00072	0,00081	0,00099	0,00117	0,00144	0,00188	0,00279
0,2	0,00109	0,00145	0,00181	0,00217	0,00252	0,00282	0,00324	0,00396	0,00468	0,00575	0,00755	0,01110
0,3	0,00245	0,00326	0,00408	0,00487	0,00568	0,00649	0,00730	0,00891	0,01050	0,01300	0,01700	0,02510
0,5	0,00581	0,00905	0,01130	0,01350	0,01580	0,01800	0,02030	0,02480	0,02920	0,03600	0,04720	0,06960
1,0	0,02720	0,03620	0,04520	0,05410	0,06310	0,07210	0,08110	0,09900	0,11700	0,14400	0,18800	0,27900
1,5	0,06130	0,08150	0,10120	0,12200	0,14200	0,16200	0,18300	0,22300	0,26300	0,32300	0,42500	0,62700
2,0	0,10900	0,14500	0,18100	0,21700	0,25200	0,28800	0,32400	0,39600	0,46800	0,57500	0,75500	1,11000
3,0	0,24500	0,32600	0,40600	0,48700	0,56800	0,64900	0,73000	0,89100	1,05000	1,30000	1,70000	2,51000
4,0	0,43600	0,57900	0,72300	0,86500	1,01000	1,15000	1,30000	1,58500	1,87000	2,30000	3,02000	4,45000
5,0	0,68100	0,90500	1,13000	1,35000	1,58000	1,80000	2,03000	2,48000	2,93000	3,60000	4,72000	6,96000
6,0	0,98100	1,30400	1,63000	1,95000	2,27000	2,60000	2,92000	3,57000	4,22000	5,18000	6,80000	10,00000
8,0	1,75000	2,32000	2,89000	3,46000	4,04000	4,62000	5,19000	6,34000	7,50000	9,20000	12,10000	17,80000
10,0	2,72000	3,62000	4,52000	5,41000	6,31000	7,21000	8,11000	9,90000	11,70000	14,40000	18,80000	27,90000
12,0	3,92000	5,22000	6,50000	7,78000	9,09000	10,40000	11,68000	14,30000	16,90000	20,70000	27,20000	40,10000
15,0	6,13000	8,15000	10,20000	12,20000	14,20000	16,20000	18,25000	22,30000	26,30000	32,30000	42,50000	62,70000
20,0	10,90000	14,50000	18,10000	21,70000	25,20000	28,80000	32,40000	39,60000	46,80000	57,50000	75,50000	111,00000
25,0	17,00000	22,60000	28,20000	33,80000	39,50000	45,00000	50,70000	61,90000	73,10000	90,00000	118,00000	
30,0	24,50000	32,60000	40,60000	48,70000	56,80000	64,90000	73,00000	89,10000	105,00000	130,00000		
35,0	35,40000	44,40000	55,30000	66,30000	77,30000	88,30000	99,30000	121,00000	144,00000			
40,0	43,60000	57,90000	72,30000	86,50000	101,00000	115,00000	130,00000	159,00000				
45,0	55,20000	73,30000	91,30000	110,00000	128,00000	146,00000						
50,0	68,10000	90,50000	113,00000	135,00000								
55,0	82,40000	109,50000	136,00000									
60,0	98,10000	130,40000										

OBS.: - PARA FLANGES DE ESTRANGULAMENTO COM AS BORDAS DA CIRCUNFERÊNCIA VIVA, O FLUXO DE AR SERÁ DE 30 A 40% MENOR QUE OS DADOS DA TABELA ACIMA

Atlas Copco

Figura 1

O *software* Cálculo de Custo de Vazamento de Ar Comprimido foi desenvolvido para realizar o cálculo do custo total por dia dos vazamentos nas linhas de ar comprimido em uma planta industrial.

Os dados necessários para este cálculo são obtidos com a detecção destes vazamentos e a tabela da Figura 1 foi utilizada para a construção de um banco de dados que será usado pelo programa.

Para utilizar o software, o usuário deve ter instalada em seu computador o *Java Runtime Environment* (JRE), que é utilizado para executar as aplicações da plataforma Java.

Manual de utilização do *software*

Na Figura 2 a seguir é apresentada a tela inicial do programa.

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
1	Diâmetro Pressão			

Figura 2

Primeiramente, ao pressionar o botão “ajuda”, o usuário terá acesso a instruções de como utilizar o programa, conforme mostrado na Figura 3.

Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos: 1

Custo do kWh [R\$]:

Custo total por dia:

Dados dos compressores

Potência [kW]:

Horas de trabalho por dia:

Vazão [m³/h]:

Ajuda Calcular Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
Ajuda				

1) Seleccione um número de furos de 1 a 100.
 2) Preencha com valores numéricos todos os campos de texto acima da tabela. Use "." ao invés de "," como separador.
 3) Na tabela, digite os nomes dos equipamentos e seleccione os valores dos diâmetros e das pressões para todos os furos.
 4) Pressione o botão "Calcular" para que as vazões de cada furo sejam exibidas na tabela e que o custo total por dia seja calculado.

OK

Figura 3

Na interface do programa, o usuário deve realizar as seguintes tarefas:

1) Selecionar o número de furos

O usuário deve selecionar o número de furos, de 1 a 100, por meio de um *combo box*, conforme mostrado na Figura 4. Com isso, a tabela presente na interface do programa tem sua quantidade de linhas alterada para a quantidade de furos selecionada.

Figura 4

2) Informar os dados nos campos de texto da parte superior da interface

O usuário deve preencher com valores numéricos os campos de texto relativos ao custo do kWh e aos dados dos compressores (potência, horas de trabalho por dia, vazão). Deve ser usado ponto final ao invés de vírgula como separador no caso de números decimais. Na Figura 5 é exibido um exemplo de como isto deve ser feito.

Figura 5

3) Preencher a tabela com os dados relativos aos casos de vazamento

Na tabela, para cada caso de vazamento deve ser digitado o nome do equipamento no qual cada furo está presente e devem ser selecionados por meio de *combo boxes* os valores relativos ao diâmetro e à pressão para cada furo, conforme mostrado na Figura 6.

Calcúlo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos: 14

Custo do kWh [R\$]: 0.25

Custo total por dia: []

Dados dos compressores

Potência [kW]: 149

Horas de trabalho por dia: 10

Vazão [m³/h]: 1500

Ajuda | Calcular | Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
1	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	
2	Regulador de pressão (Lubrifi)	1.0	6	
3		Diâmetro	2	
4		Diâmetro	3	
5		Diâmetro	4	
6		Diâmetro	5	
7		Diâmetro	6	
8		Diâmetro	7	
9		Diâmetro	8	
10		Diâmetro	10	
11		Diâmetro	Pressão	
12		Diâmetro	Pressão	
13		Diâmetro	Pressão	
14		Diâmetro	Pressão	

Figura 6

4) Após informar todos os dados, pressionar o botão “Calcular”

Após o preenchimento de todos os campos da interface, o usuário deve pressionar o botão “Calcular” para que a vazão de ar comprimido correspondente a cada furo seja exibida na tabela. Uma nova linha surgirá na planilha com o valor correspondente à vazão total de ar comprimido através dos orifícios.

Além disso, será automaticamente preenchido o campo relativo ao valor do custo total por dia na parte superior da interface.

A seguir, será mostrado um exemplo de aplicação do programa na Figura 7.

Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos: 14

Custo do kWh [R\$]: 0.25

Custo total por dia: R\$ 55.24

Dados dos compressores

Potência [kW]: 149

Horas de trabalho por dia: 10

Vazão [m³/h]: 1500

Ajuda | Calcular | Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
1	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
2	Regulador de pressão (Lubrifi)	1.0	6	0.06310
3	Conexão	1.0	2	0.02720
4	Suporte barbante nº 2 (RH)	3.0	2	0.24500
5	Suporte barbante nº 3 (RH)	3.0	2	0.24500
6	Suporte barbante nº 4 (RH)	3.0	2	0.24500
7	Suporte barbante nº 5 (RH)	3.0	2	0.24500
8	Suporte barbante nº 6 (RH)	5.0	2	0.68100
9	Flip Over (corte temperado)	1.0	6	0.06310
10	Cabeçote de lapidação	3.0	6	0.56800
11	Válvula de acionamento	1.0	6	0.06310
12	Conexão de cilindro	1.0	6	0.06310
13	Solenóide (acionamento de válvula)	3.0	6	0.56800
14	Mainfold (distribuição)	1.0	6	0.06310
Total				3.70770

Figura 7

5) Emitir relatório para Excel

Ao pressionar o botão “Calcular”, o usuário também terá a opção de emitir um relatório no formato .xls dos cálculos realizados, conforme mostrado na Figura 8.

Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos: 14

Custo do kWh [R\$]: 0.25

Custo total por dia: R\$ 55.24

Dados dos compressores

Potência [kW]: 149

Horas de trabalho por dia: 10

Vazão [m³/h]: 1500

Ajuda | Calcular | Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
1	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
2	Regulador de pressão (Lubrifi)	1.0	6	0.06310
3	Conexão	1.0	2	0.02720
4	Suporte barbante nº 2 (RH)	3.0	2	0.24500
5	Suporte barbante nº 3 (RH)	3.0	2	0.24500
6	Suporte barbante nº 4 (RH)	3.0	2	0.24500
7	Suporte barbante nº 5 (RH)	3.0	2	0.24500
8	Suporte barbante nº 6 (RH)	5.0	2	0.68100
9	Flip Over (corte temperado)	1.0	6	0.06310
10	Cabeçote de lapidação	3.0	6	0.56800
11	Válvula de acionamento	1.0	6	0.06310
12	Conexão de cilindro	1.0	6	0.06310
13	Solenóide (acionamento de válvula)	3.0	6	0.56800
14	Mainfold (distribuição)	1.0	6	0.06310
Total				3.70770

Emitir relatório

Deseja emitir relatório?

Yes No

Figura 8

Ao pressionar a opção “Yes”, o usuário terá que informar o nome do arquivo, conforme mostrado na Figura 9. O relatório será salvo automaticamente na mesma pasta em que está localizado o arquivo executável do *software* em questão.

Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Número de furos: 14

Custo do kWh [R\$]: 0.25

Custo total por dia: R\$ 55.24

Dados dos compressores

Potência [kW]: 149

Horas de trabalho por dia: 10

Vazão [m³/h]: 1500

Ajuda | Calcular | Reiniciar

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m ³ /min]
1	Regulador de pressão (Lubrifi)	3.0	6	0.56800
2	Regulador de pressão	3.0	6	0.06310
3	Conexão	3.0	2	0.02720
4	Suporte barbante nº	3.0	2	0.24500
5	Suporte barbante nº	3.0	2	0.24500
6	Suporte barbante nº	3.0	2	0.24500
7	Suporte barbante nº 5 (RH)	3.0	2	0.24500
8	Suporte barbante nº 6 (RH)	5.0	2	0.68100
9	Flip Over (corte temperado)	1.0	6	0.06310
10	Cabeçote de lapidação	3.0	6	0.56800
11	Válvula de acionamento	1.0	6	0.06310
12	Conexão de cilindro	1.0	6	0.06310
13	Solenóide (acionamento de válvula)	3.0	6	0.56800
14	Mainfold (distribuição)	1.0	6	0.06310
Total				3.70770

Nome do arquivo: Exemplo

OK | Cancel

Figura 9

A Figura 10 a seguir mostra o relatório do exemplo mostrado anteriormente.

	A	B	C	D	E
1	Relatório do Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido				
2					
3	Dados dos compressores				
4		Potência [kW]	149,0		
5		Vazão [m ³ /h]	1500,0		
6		Horas de trabalho por dia	10,0		
7					
8		Custo do kWh	R\$ 0,25		
9		Custo total por dia	R\$ 55,24		
10					
11	Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
12	1	Regulador de pressão (Lubrifi)	3,0	6	0,56800
13	2	Regulador de pressão (Lubrifi)	1,0	6	0,06310
14	3	Conexão	1,0	2	0,02720
15	4	Suporte barbante nº 2 (RH)	3,0	2	0,24500
16	5	Suporte barbante nº 3 (RH)	3,0	2	0,24500
17	6	Suporte barbante nº 4 (RH)	3,0	2	0,24500
18	7	Suporte barbante nº 5 (RH)	3,0	2	0,24500
19	8	Suporte barbante nº 6 (RH)	5,0	2	0,68100
20	9	Flip Over (corte temperado)	1,0	6	0,06310
21	10	Cabeçote de lapidação	3,0	6	0,56800
22	11	Válvula de acionamento	1,0	6	0,06310
23	12	Conexão de cilindro	1,0	6	0,06310
24	13	Solenóide (acionamento de válvula)	3,0	6	0,56800
25	14	Mainfold (distribuição)	1,0	6	0,06310
26				Total	3,70770

Figura 10

6) Reiniciar o programa

Se o usuário desejar reiniciar o programa, basta pressionar o botão “Reiniciar” e a interface voltará às configurações da tela inicial, como exibido previamente na Figura 2.

APÊNDICE B – Relatório dos cálculos

Relatório do Cálculo do Custo de Vazamento de Ar Comprimido

Dados dos compressores	
Potência [kW]	55,93
Vazão [m ³ /h]	562,20
Horas de trabalho por dia	24,0

Custo do kWh	R\$ 0,25
Custo total por dia	R\$ 593,12

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m³/min]
1	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
2	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
3	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
4	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
5	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
6	Conexão	1,0	2	0,02720
7	Suporte barbante nº 2 (RH)	3,0	2	0,24500
8	Suporte barbante nº 3 (RH)	3,0	2	0,24500
9	Suporte barbante nº 4 (RH)	3,0	2	0,24500
10	Suporte barbante nº 5 (RH)	3,0	2	0,24500
11	Suporte barbante nº 5 (RH)	3,0	2	0,24500
12	Suporte barbante nº 6 (RH)	5,0	2	0,68100
13	Suporte barbante nº 6 (RH)	5,0	2	0,68100
14	Flip Over (corte temperado)	1,0	6	0,06310
15	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	2	0,02720
16	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
17	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
18	Cabeçote de lapidação	3,0	6	0,56800
19	Válvula de acionamento	1,0	6	0,06310
20	Válvula de acionamento	3,0	6	0,56800
21	Conexão de cilindro	1,0	6	0,06310
22	Solenóide (acionamento de válvula)	3,0	6	0,56800
23	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
24	Cortina de ar (instalação de solenóide)	5,0	4	1,13000
25	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
26	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
27	Mainfold (distribuição)	1,0	6	0,06310
28	Mainfold (mangueira de limpeza)	1,0	6	0,06310
29	Cooling till (mangueira superior)	1,0	6	0,06310
30	Mangueira (3º duto - back side)	1,0	6	0,06310
31	Mangueira (5º duto - operator side)	1,0	6	0,06310
32	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	4	0,40600

Furo	Equipamento	Diâmetro [mm]	Pressão [atm]	Vazão [m3/min]
33	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
34	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
35	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
36	Mangueira (parafusadeira)	3,0	6	0,56800
37	Mangueira (parafusadeira)	3,0	6	0,56800
38	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
39	Suporte barbante nº 6 (LH)	5,0	2	0,68100
40	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	5	0,48700
41	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	5	0,48700
42	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
43	Torre de descarte #41	3,0	6	0,56800
44	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
45	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
46	Válvula solenoide	3,0	6	0,56800
47	Mangueira de alimentação painel STAR	1,0	6	0,06310
48	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
49	Mangueira de limpeza	1,0	6	0,06310
50	Mangueira de resfriamento	1,0	6	0,06310
51	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
52	Mangueira de alimentação	1,0	6	0,06310
53	Mangueira de alimentação	1,0	6	0,06310
54	Regulador de pressão (Lubriful)	3,0	6	0,56800
55	Mangueira de alimentação	1,0	6	0,06310
56	Regulador de pressão (Lubriful)	1,0	6	0,06310
			Total	16,56100