

**UNESP**  
**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**Guaratinguetá**  
**2011**

LIGIA MORO PEREIRA

ANÁLISE DE SISTEMAS DE MÁQUINAS TÉRMICAS EM PLANTAS  
DE PROCESSOS QUÍMICOS.

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.

Orientadores: Prof. Dr. José Alexandre Matelli

Guaratinguetá  
2011

P436a	<p>Pereira, Ligia Moro</p> <p>Análise de sistemas de máquinas térmicas em plantas de processos químicos / Ligia Moro Pereira – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 98 f : il. Bibliografia: f. 60</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. José Alexandre Matelli</p> <p>1. Energia elétrica – conservação 2. Compressores I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.9</p>
-------	--

ANÁLISE DE SISTEMAS DE MÁQUINAS TÉRMICAS EM PLANTAS DE  
PROCESSOS QUÍMICOS.

LIGIA MORO PEREIRA

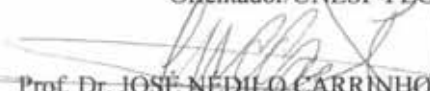
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**


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

Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE MATELLI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ NÊDILLO CARRINHO DE CASTRO  
UNESP-FEG

  
Dr. Eng. VALDIR FREITAS  
Rhodia/Poliamida

Novembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES**

### **LIGIA MORO PEREIRA**

NASCIMENTO 24.06.1988 – CAMPOS DO JORDÃO / SP

FILIAÇÃO Luiz Antonio Pereira  
Denise Coimbra Moro Pereira

2007/2011 Curso de Graduação  
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá  
da Universidade Estadual Paulista.

Dedico este trabalho aos meus pais **Luiz** e **Denise**, pois sem eles nada disso seria possível.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus amados pais Luiz e Denise pelo exemplo de vida, dedicação e empenho. Por prover-me as condições necessárias nesses anos de estudos e para a realização deste trabalho; e por muitas vezes abdicarem aos seus próprios sonhos para que os meus se tornassem possíveis de serem realizados.

Agradeço minha família, meus amigos, meus professores e ao meu orientador, Prof. Dr. José Alexandre Matelli pela sua dedicação e paciência, que assim tornou esse trabalho possível

À minha irmã e a toda minha família pelo incentivo constante, por acreditarem em mim e me darem o apoio necessário para tornar este sonho possível,

Ao meu amor Rafael B. Z. Corona pela paciência, ajuda nos estudos e entrevista de emprego neste último ano, e por sempre ter acreditado em mim

Ao Prof. Dr. Mauro Hugo Mathias pelo apoio de ter sido meu orientador de iniciação científica durante 3 anos,

Às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

À Rhodia, em particular na pessoa do engenheiro Valdir Freitas, pelos dados utilizados no estudo de caso e principalmente pela colaboração na solução de dúvidas pertinentes aos compressores em estudo.

"Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia...Pois o triunfo pertence a quem se atreve." - **Charles Chaplin**

PEREIRA, L. M. **Análise de sistemas de máquinas térmicas em plantas de processos químicos**. 2011. 98 f. Trabalho de Graduação – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

Perda de carga e eficiência energética de compressores em plantas químicas são o foco deste estudo. O objetivo é analisar os possíveis pontos de perda energética através do estudo de perda de carga em tubulações e cálculo de rendimento termodinâmico dos compressores. Para a realização desta análise são levantados os tipos de compressores existentes, a faixa de trabalho de cada compressor, os tipos de compressão, bem como um estudo dos acessórios, como filtros e válvulas. Foram realizados os cálculos de perda de carga passo-a-passo (comportamento estático) e com um software WIPCD (comportamento dinâmico). A seguir, foram realizados cálculos de eficiência dos compressores e custo mensal energético de cada compressor em operação. Finalmente, o estudo mostra algumas sugestões de melhorias imediatas, possíveis mudanças e sugestões para futuras compras de compressores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Energética, Compressores, Análise de custo

PEREIRA, L. M. **Análise de sistemas de máquinas térmicas em plantas de processos químicos.** 2011. 98 f. Trabalho de Graduação – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

Pressure drop and energy efficiency of compressors in chemical plants are the focus of this study. Its objective is an analysis of possible sources of energy loss through the study of pressure loss in pipes, calculation of thermodynamic efficiency of the compressors. Important issues are raised for this analysis such as the types of compressors, the operating range of each compressor, compression types, as well as a study of accessories such as filters and valves. After studying these issues was carried out calculations of pressure drop step-by-step and with a software WIPCD. Followed by the calculation of efficiency of compressors and monthly energy cost of each compressor in operation. Finally, the study shows some suggestions for immediate improvements, changes and suggestions for possible future purchases of compressors.

**KEYWORDS:** Energy, Compressors, Cost Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Economia relativa de um compressor.....	18
FIGURA 2 – Classificação dos compressores .....	19
FIGURA 3 – Compressor axial .....	20
FIGURA 4 – Compressor radial.....	20
FIGURA 5 – Compressor alternativo.....	21
FIGURA 6 – Compressor rotativo .....	21
FIGURA 7 – Eficiência Energética em Sistemas de ar comprimido .....	22
FIGURA 8 – O consumo de energia específica a 100 psig para compressores lubrificados .....	23
FIGURA 9 – Consumo de energia específica a 100 psig para não-lubrificados compressores .....	23
FIGURA 10– Modelo de válvula gaveta.....	27
FIGURA 11 – Modelo de válvula globo .....	28
FIGURA 12 – Modelo de válvula esfera.....	28
FIGURA 13 – Modelo de válvula portinhola.....	29
FIGURA 14 – Modelo de válvula disco.....	30
FIGURA 15 – Diagrama T x S.....	32
FIGURA 16 – Relação de trabalho .....	36
FIGURA 17 – Compressão com estágios.....	37
FIGURA 18 – Compressão em dois estágios .....	38
FIGURA 19 – Fluxograma representando as linhas e conexões de distribuição do ar comprimido.....	39
FIGURA 20– Disposição dos compressores na planta de fenol.. .....	40
FIGURA 21 – Disposição das linhas de ar na planta do fenol.....	41
FIGURA 22 – Disposição das linhas de ar na planta do fenol.....	41
FIGURA 23 – Vasos coletores do ar na planta de fenol. ....	42
FIGURA 24 – Determinação dos parâmetros de cada ponto .....	45
FIGURA 25 – Determinação dos parâmetros de cada trecho.....	46
FIGURA 26 – Especificação do compressor existente. ....	47

FIGURA 27 – Ábaco de perda de carga para tubulações de diâmetro nominal de 8” ..	48
FIGURA 28 – Calculo de perda de carga para cada compressor.....	49
FIGURA 29 – Diagrama P x T para processo ideal e real. ....	50
FIGURA 30- Planilha de custos do Centac. G .....	52
FIGURA 31 – Variação do custo de energia em função do rendimento mecânico do compressor.....	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Vantagens e Desvantagens dos diferentes tipos de compressor.....	24
TABELA 2 – Dados das linhas de ar .....	39
TABELA 3 – Dados de saídas do WIPCD com base na vazão dos coletores .....	56
TABELA 4 – Dados de saídas do WIPCD com base na vazão dos compressores .....	56
TABELA 5 – Custo dos compressores em função do rendimento mecânico.....	57
TABELA 6 – Resultado de perda de carga para cada compressor.....	59
TABELA 7 – Rendimento atual e possibilidades. ....	59
TABELA 8 – Economia energética da variação de preço do maior para o menor rendimento mecânico.....	60

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	$m^2$
C	Comprimento da tubulação	$M$
C.E.	Custo específico de energia	$R\$$
$d$	Dias	$[-]$
D	Diâmetro	$M$
$\upsilon$	Massa específica	$Kg/m^3$
f	Fator de atrito	$[1]$
h	Horas	$[1]$
Ha	Trabalho adiabático	$kW$
Hp	Trabalho politrópico	$kW$
m	meses	$[1]$
k	Relação entre os coeficientes de rendimento reversível	$[1]$
$\eta_a$	Eficiência Adiabática	$[1]$
$\eta_p$	Eficiência Politrópica	$[1]$
n	relação entre os coeficientes de rendimento irreversível	$[1]$
P1	Pressão de entrada do compressor	$MPa$
P2	Pressão de saída do compressor	$MPa$
p	Perda de carga	$m/Kgf/cm^2$
R	Número de Reynolds	$[1]$
T1	Temperatura de entrada do compressor	$^{\circ}C$
T2	Temperatura de saída do compressor	$^{\circ}C$
V	Velocidade	$m/s$
$\rho$	Viscosidade	$N.s/m^2$
v	Vazão volumétrica	$m^3/h$

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 Rhodia.....	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Compressores.....	17
2.1.1 Histórico de ar comprimido.....	17
2.1.2 Tipos de Compressores.....	18
2.2. Filtros.....	25
2.3 Válvulas.....	25
2.3.1 Válvula de bloqueio.....	26
2.3.2 Válvulas de retenção.....	28
2.4 Vantagens e limitações no uso do ar comprimido.....	29
2.4.1 Vantagens do uso do ar comprimido.....	30
2.4.2 Limitações do uso do ar comprimido.....	30
2.5 Distribuição de ar.....	30
2.6 Reservatório para ar comprimido.....	31
2.7 Tipos de compressão.....	31
<b>3.METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
3.1 Análise de perda de carga.....	42
3.2 Perda compressor-coletor.....	47
3.3 Análise de Eficiência Energética .....	50
<b>4. DISCUSSÕES E RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
4.1 Método de perda de carga pelo Excel.....	55
4.2 Método de perda de carga pelo WIPCD.....	55
4.3 Rendimento dos compressores.....	57
4.4 Melhoria nos trechos.....	58
4.5 Análise da perda de carga entre compressor e coletor.....	58
4.6 Análise de mudança dos compressores.....	59
4.7 Compra de compressores com maior rendimento mecânico.....	60

<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE A – Perda de carga.....	63
APÊNDICE B – Custo energético.....	72
APÊNDICE C – Gráfico.....	96
APÊNDICE D – Ábaco.....	98

## **1. Introdução**

O ar comprimido é um recurso essencial para indústria e o setor público e é a quarta utilidade mais empregada, perdendo apenas para eletricidade, gás e água (Energy Efficient Compressed Air System, 2005). Além disso, sistemas de ar comprimido são seguros, confiáveis, versáteis e, por serem gerados no local de utilização, é mais fácil de manter o controle sobre o seu uso e custo, e condições de operação.

As razões para que seja feito um estudo de sistemas de ar comprimido e analisado a possibilidade de redução de seu consumo são:

- Economia de energia e custos por meio da identificação e eliminação de perdas;
- Melhoria da confiabilidade e desempenho do sistema;
- Redução de impactos ambientais através da redução do consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, das emissões de carbono.

Segundo o Energy Efficient Compressed Air System (2005), o custo ao longo de uma vida de dez anos de um compressor se divide em 73% com custos de energia, 18% com custos de capital, 7% com custos de manutenção e 2% com custos da instalação.

Para que se reduza os custos com ar comprimido, é necessário verificar a eficiência não apenas do compressor, mas também de todo o sistema como a (distribuição, armazenamento e tratamento de ar).

Este trabalho apresenta um estudo termodinâmico da área de compressão de ar de uma planta química da Rhodia situada na cidade de Paulínia/SP, e tem como objetivo otimizar o consumo energético, diminuindo possíveis perdas nas tubulações ou equipamentos utilizados e, através disso, propor melhorias. Esse foco é mais motivado em plantas químicas onde as máquinas térmicas são parte integrante do processo, e não apenas parte do processo de infraestrutura. Portanto, qualquer melhoria identificada nestes sistemas de máquinas traz ganhos ao processo produtivo, principalmente em termos de otimização energética.

### **1.1Rhodia**

Este estudo foi realizado na planta da Rhodia em Paulínia/SP. A Rhodia é uma empresa química de origem francesa que em agosto de 2011 passou a fazer parte do grupo Solvay. É uma empresa global que está presente em 65 países e conta com 14000 funcionários.

Fornecer produtos de valor acrescentado e soluções de alta performance para mercados diversificados, incluindo o automóvel, aromas e fragrâncias, saúde, higiene pessoal e doméstica, bens de consumo e industrial, através 11 Unidades de Negócio Global (GBUs).

A empresa tem sede na França e conta com fábricas em 25 países em todo o mundo, com fábricas e centros P & D na Europa, América do Norte, América Latina e Ásia Pacífico. Presente no Brasil desde 1919, as fábricas no Brasil ficam localizadas nas cidades de Santo André (duas fábricas), São Bernardo do Campo, Jacareí e Paulínia, todas no estado de São Paulo, com a sede da empresa na cidade de São Paulo.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Compressores**

#### **2.1.1 Histórico de ar comprimido**

A primeira vez que se faz menção ao uso de ar comprimido é no velho testamento, para fundição de materiais como ferro e chumbo (NOVAIS, 1995). Há mais de 2000 anos é produzido ar comprimido por meio de um pistão, sendo utilizado um cilindro de madeira dotado de êmbolo. Da Vinci foi um dos precursores no uso de ar comprimido em seus experimentos. Foi somente na segunda metade do século XIX que o ar comprimido adquiriu importância industrial.

Na década de 1960, a indústria começou a exigir compressores cada vez mais eficientes e com custo de operação menor. Uma das primeiras iniciativas nesse sentido foi a introdução do resfriamento intermediário nos processos de compressão (Fig. 1). Esta troca foi feita em muitos compressores centrífugos, destinados a aplicações típicas de 7 bar. Na década de 1970, houve um aumento pela demanda de ar comprimido e foram desenvolvidos projetos com até 3 ou 4 resfriadores, com pressão de aplicação de 24 bar (ROLLINS, 2004).

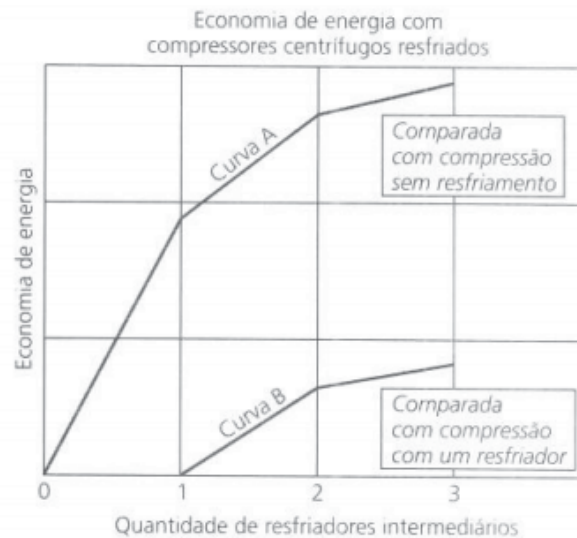


Figura 1: Economia relativa de um compressor (ROLLINS, 2004)

### 2.1.2 Tipos de Compressores

Compressores são máquinas destinadas basicamente a elevar a pressão do ar. A pressão atingida depende da capacidade, potência e do tipo de máquina selecionada, levando em conta a aplicação do compressor, que pode variar desde refrigeração, ar líquido e indústrias aeronáuticas e químicas.

Devido a sua abrangência de operação, os compressores são classificados em diferentes grupos (explorados posteriormente neste trabalho), estruturados como ilustra a Figura 2. São dois grupos principais: os compressores dinâmicos e os de deslocamento positivo (PARKER AUTOMATION, 2000). Os compressores podem ainda ser divididos em herméticos ou semi-herméticos, onde compressor e o motor estão alojados na mesma carcaça sem acesso ou com acesso, respectivamente. Podem ser classificados quanto ao número de estágios, onde cada estágio significa um processo de compressão do fluido.

Quanto à refrigeração do compressor, pode a ar, através de aletas externas que aumentam a superfície de troca de calor, ou por circulação de água em cavidades ao longo das paredes e da parte superior do cilindro (SANTOS, 2004).

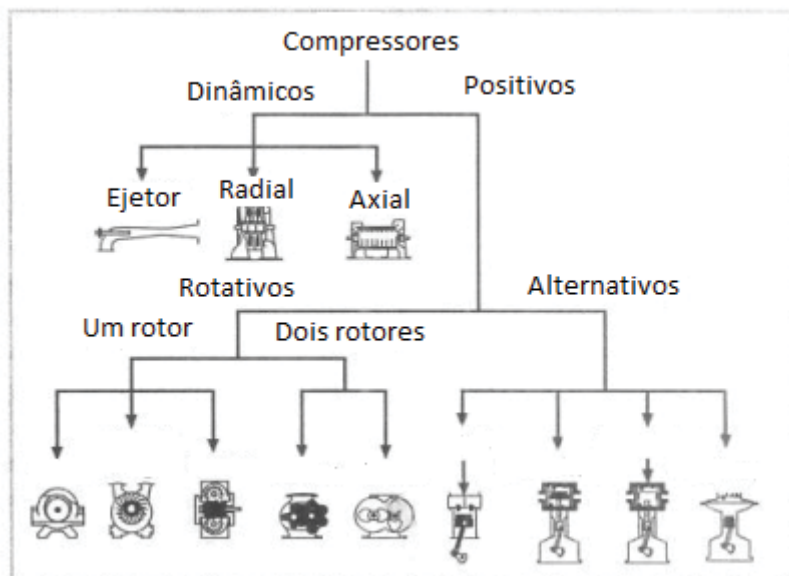


Figura 2 - Classificação dos compressores (Adaptado: COKER, 1994).

Na seleção de um compressor deve-se considerar aspectos tais como vazão, pressão de operação, local da instalação e espaço disponível para a instalação, além da ventilação do local, umidade e temperatura do ambiente.

### a) Compressores Dinâmicos

Compressores dinâmicos são máquinas nas quais o ar é comprimido pela ação dinâmica de palhetas ou impelidores rotativos, que aumentam a velocidade e pressão do ar ou do gás. Nos compressores axiais, Figura 3, o fluxo se desloca no sentido axial e nos centrífugos, Figura 4, na direção radial.

Neste tipo de compressor a elevação da pressão é obtida por meio de conversão de energia cinética em energia de pressão, durante a passagem do ar através do compressor (NOVAIS, 1995).

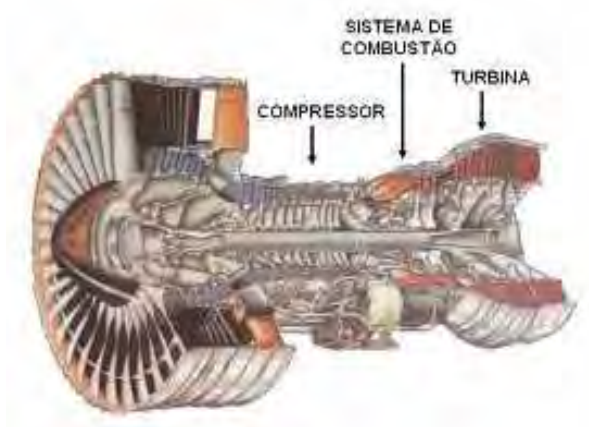
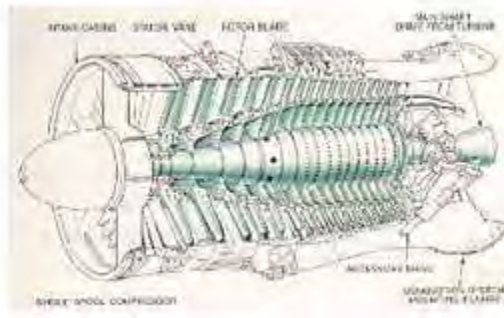


Figura 3: compressor axial



Figura 4: Compressor radial

### b) Compressores Positivos

Os compressores positivos baseiam-se na redução de volume do fluido, onde a elevação da pressão se dá através da aspiração de volumes sucessivos para dentro de um cilindro e sua imediata exaustão (NOVAIS, 1995). Neles são utilizados pistões ou elementos rotativos. Nos primeiros, a compressão é descontínua; nos últimos, passa por um sistema rotativo. O método por pistões, ou alternativo, está exemplificado na Figura 5 e o método rotativo está exemplificado na Figura 6, na qual dois rotores em forma de parafuso giram em sentido contrário (como duas engrenagens).



Figura 5: Compressor alternativo

COMO FUNCIONAM OS COMPRESSORES

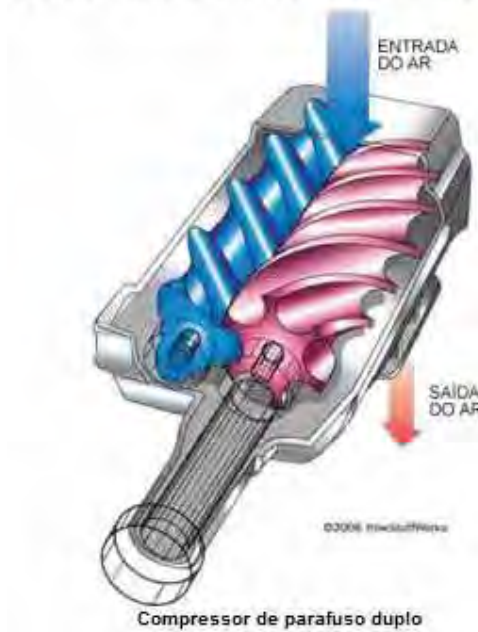


Figura 6: Compressor rotativo

**c) Seleção dos tipos de compressor**

Os compressores devem ser especificados segundo diversos parâmetros. Conforme ilustrado na Figura 7, a seleção é feita de acordo com a potência.

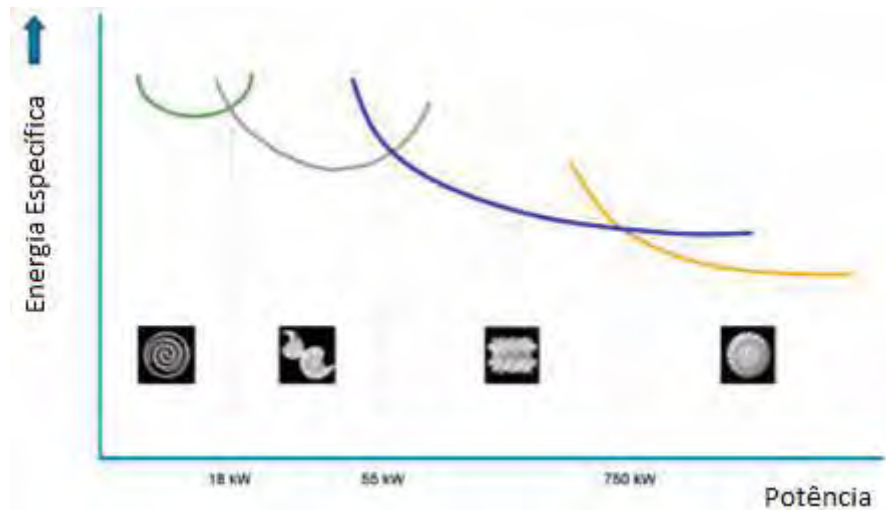


Figura 7: Eficiência Energética em Sistemas de ar comprimido (Adaptado:ENERGY AGREEMENTS PROGRAMME 2007).

O gráfico indica que, para uma dada potência (ou vazão), há um tipo de compressor indicado, que apresenta um menor consumo específico de energia. Compressores centrífugos ou turbos são adequados para uma vazão maior, assim como outras tecnologias são mais apropriadas para vazões menores. Este não é, no entanto, o único critério de seleção, pois há outros fatores a se considerar, tais como temperatura ambiente e as variações de vazão.

Uma seleção adequada de compressores pode representar significativa economia de energia para os usuários. Além disto, a seleção motores elétricos mais eficientes contribui também para a economia de energia. Compressores do mesmo tipo terão semelhantes eficiências específicas, com algumas variações entre fabricantes e detalhes do projeto. Estas curvas devem servir apenas como uma diretriz geral; informações sobre o desempenho devem ser verificadas para compressores reais, segundo catálogo do fabricante.

Máquinas centrífugas são mais eficientes, mas não são aplicáveis em instalações de múltiplos compressores, onde um compressor opera a plena carga para atender ao requisito básico do sistema e outro torna-se operacional para atender a demanda de pico (Energy Efficiency Best Practice Guide, 2009).

Compressores multi-estágios consomem menos energia e geram ar comprimido a temperaturas mais baixas, mas os custos de manutenção são elevados. Portanto, seu uso deve ser justificado com base em custos de operação inicial e total. Figuras 8 e 9

mostram o consumo específico de energia de compressores lubrificados e não lubrificados, respectivamente.

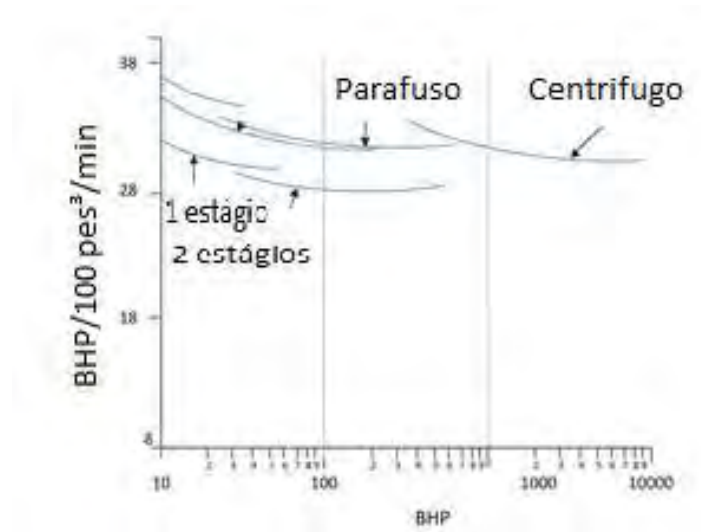


Figura 8 - o consumo de energia específica a 100 psig para compressores lubrificados (Adaptado: Compressed Air Systems, 2nd Ed).

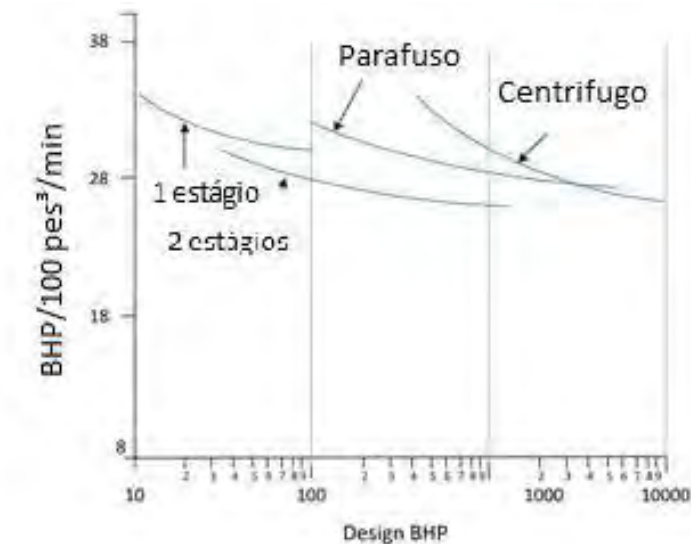


Figura 9 - Consumo específico de energia a 100 psig para não-lubrificados compressores (Adaptado: Compressed Air Systems, 2nd Ed).

Outro aspecto que merece ser examinado é o uso de válvulas redutoras de pressão nos pontos de utilização. Deve-se verificar, portanto, se a pressão da rede de abastecimento pode ser reduzida, o que pode reduzir a pressão desenvolvida pelos compressores. A Tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de compressores.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens dos diferentes tipos de compressor

<b>Compressores</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Alternativo</b>  Consumo específico: 7.8 – 8.5 kW/m <sup>3</sup> /min	Adequado para altas pressões Pode ser relativamente pequeno em tamanho e peso Menor custo inicial Simples procedimentos de manutenção Compressão multi-estágio eficientes	Níveis elevados de ruído Altos custos de manutenção Adequado para sistemas menores Exige base sólida
<b>Parafuso</b>  Consumo específico: 6.4 -7.8 kw/m <sup>3</sup> /min	operação simples temperaturas mais baixas baixa manutenção silêncioso compacto vibração livre comercialmente disponíveis Variável de abertura com boas unidades de velocidade.	Alto consumo de energia Operação simples temperaturas mais baixas silêncioso baixa manutenção Gama limitada de capacidade Qualidade do ar baixa
<b>Rotativo</b>	Operação simples Temperaturas mais baixas Silêncioso baixa manutenção	Gama limitada de capacidade Qualidade do ar baixa
<b>Centrífugo</b>  Consumo específico: 5.8 – 7.0 kW/m <sup>3</sup> /min	Eficiência energética Grande capacidade Silencioso Alta qualidade do ar	Alto custo inicial Ineficientes a baixa capacidade Manutenção especializada

## **2.2. Filtros**

Tem como utilidade retirar pequenas partes de condensado ou partículas de maior dimensão (ferrugem). Assim como nas tubulações e acessórios (válvulas), o filtro tem perda de carga, uma vez que em catálogos o filtro é considerado como operando no estado seco. Todavia, quando o ar comprimido é introduzido na linha, ele sofre saturação, o que agrava a perda de carga. Por isso, é importante considerar a perda de carga de todos os acessórios e da tubulação do ar comprimido (NOVAIS, 1995).

## **2.3 Válvulas**

O dicionário Aurélio define válvula como “termo que designa diversos dispositivos mecânicos que abrem e fecham para controlar o fluxo de fluidos em tubulações e recipientes”.

Segundo MATHIAS (2011), as válvulas dentro de um processo industrial podem representar até 15% do consumo energético de toda a instalação. Esta porcentagem pode ficar ainda mais elevada se a válvula do tipo e tamanho corretos não for especificada. MATHIAS (2011) define ainda três segmentos de válvulas para a indústria química:

- Industriais: que são do tipo: gaveta, globo, retenção guilhotina, diafragma, esfera, borboleta e macho;
- De segurança: válvulas de segurança e/ou alívio que são acionadas pela própria ação do fluido.
- Válvulas automáticas de controle: são válvulas interligadas a uma malha de controle e que respondem a um comando pneumático, elétrico ou eletropneumático.

### **2.3.1 Válvula de bloqueio**

As válvulas de bloqueio destinam-se permitir ou interromper o fluxo, trabalhando totalmente abertas ou completamente fechadas. Os principais tipos de válvulas de bloqueio são: gaveta, globo, esfera e borboleta.

a) Válvula Gaveta

Aceita o fluxo em ambos os sentidos, porém não é possível regular o estrangulamento. O modelo e suas partes estão descritos na Figura 10.

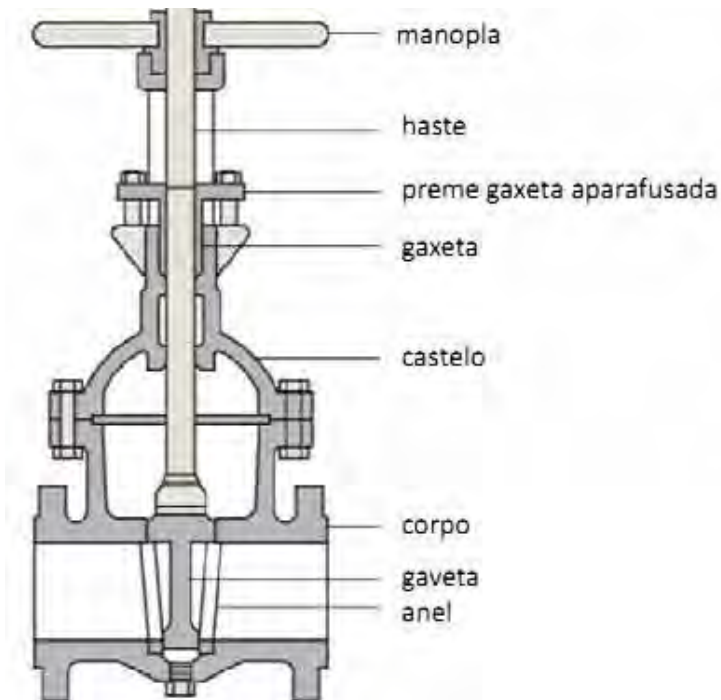


Figura 10: Modelo de válvula gaveta

b) Válvula Globo

Apesar de permitir controle do fluxo, trabalha em um único sentido de fluxo, (Figura 11), além de apresentar elevada perda de carga.

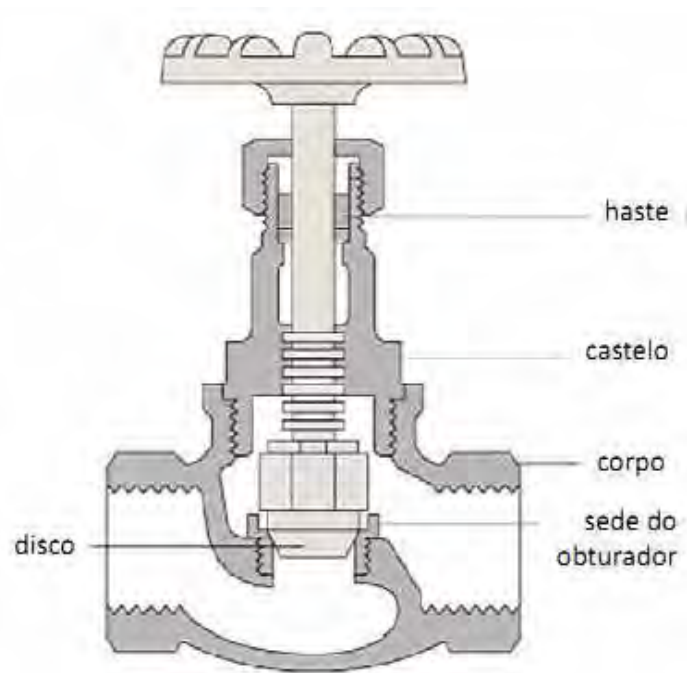


Figura 11: Modelo de válvula globo

### c) Válvula Esfera

O corpo é dotado de uma esfera com orifício. Quando o orifício está alinhado com o escoamento, permite a passagem do fluido; quando se encontra perpendicular ao escoamento a passagem de fluido é bloqueada. A Figura 12 mostra a válvula na posição aberta.

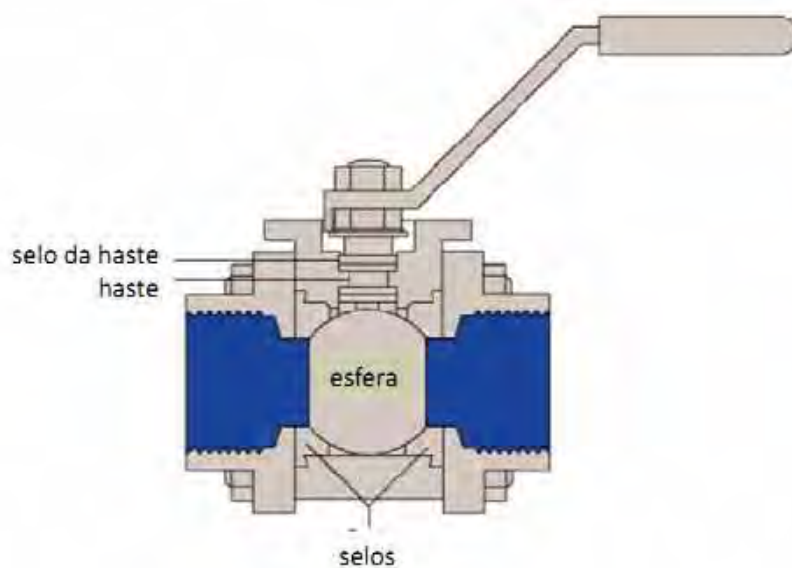


Figura 12: Modelo de válvula esfera

### 2.3.2 Válvulas de retenção

São dispositivos que protegem os compressores contra sobrepressão em caso de parada, atuando em impedir a inversão do fluxo. Em aplicações de ar comprimido, os tipos portinhola e disco são os mais utilizados.

#### a) Portinhola

Válvula utilizada em tubulações com grande perda de carga e empregadas também na posição vertical. As partes integrantes da válvula estão descritas na Figura 13.

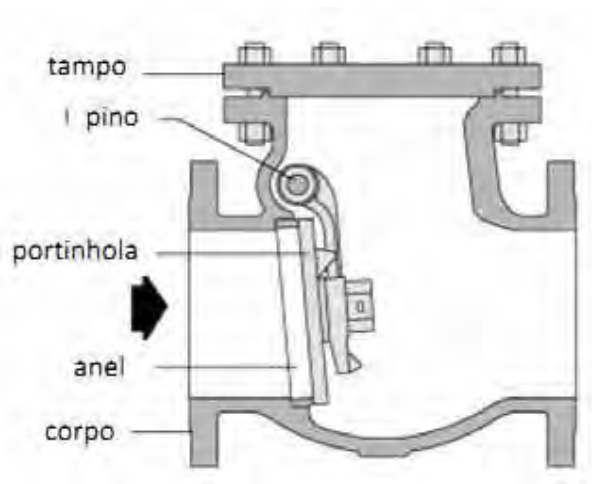


Figura 13: Modelo de válvula portinhola (MATELLI, 2011)

#### b) Disco

A válvula de disco apresenta flexibilidade quanto a posição de instalação, além de ser compacta e de baixo custo. As partes integrantes da válvula estão descritas na Figura 14.

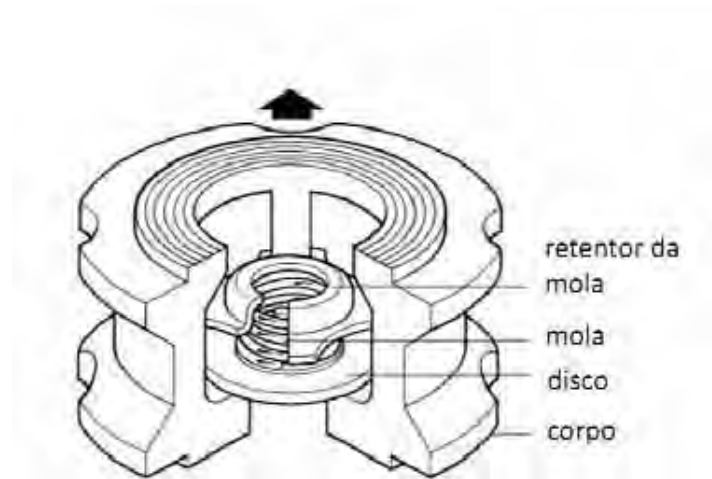


Figura 14: Modelo de válvula disco (MATELLI, 2011)

## 2.4 Vantagens e limitações no uso do ar comprimido

As vantagens e limitações no uso da pneumática são decorrentes basicamente de duas importantes propriedades físicas que são elas:

- Compressibilidade;
- Baixa viscosidade.

### 2.4.1 Vantagens do uso do ar comprimido

São apontadas como características vantajosas na utilização do ar comprimido, dentre outras:

- O ar pode ser encontrado em quantidades ilimitadas em praticamente todos os lugares;
- É facilmente transportável por tubulações;
- O ar pode ser armazenado em reservatórios;
- Funcionamento seguro, mesmo quando exposto a variações na temperatura;
- Não apresenta perigo de incêndio;
- O ar comprimido é limpo, não poluindo o ambiente;
- O ar comprimido permite alcançar velocidades de trabalho relativamente altas;

### 2.4.2 Limitações do uso do ar comprimido

São apontadas como desvantagens na utilização do ar comprimido, dentre outras:

- O ar comprimido requer uma boa preparação, evitando-se impurezas e umidade que levam a desgastes indesejados;
- Limitação das forças máximas de trabalho;
- O escape de ar é ruidoso;
- O ar comprimido é uma fonte de energia que possui um custo de produção elevado, apesar de o ar ser facilmente encontrado na natureza.

## **2.5 Distribuição de ar**

Na distribuição do ar é primordial definir o melhor material para a tubulação do ar comprimido ou de qualquer fluido, onde deve-se considerar alguns parâmetros tais como: pressão, temperatura, resistência mecânica, resistência à corrosão, coeficiente de atrito, segurança e, obviamente, o custo. Os principais tipos de materiais utilizados na tubulação são tubo preto, tubo galvanizado, tubo de cobre, tubo de aço inoxidável e tubo de plástico (NOVAIS, 1995).

## **2.6 Reservatório para ar comprimido**

Considerando que o consumo de ar comprimido nem sempre ocorre de maneira homogênea, se torna necessária a utilização de reservatórios de ar comprimido. Os reservatórios de ar são necessários para os compressores positivos, uma vez que estes necessitam de um equilíbrio de funcionamento. Já os compressores dinâmicos não necessitam de reservatório, pois, eles se adaptam as variações de pressão. O reservatório tem como função acumular energia na forma de pressão, equilibrando assim o funcionamento do compressor.

## **2.7 Tipos de compressão**

A Figura 15 ilustra os diferentes tipos de compressão, onde:

Curva 2T = Isotérmica

Curva 2 = compressão com resfriamento (politrópica)

Curva 2s = adiabática reversível (isoentrópica)

Curva 2' = adiabática irreversível (politrópica)

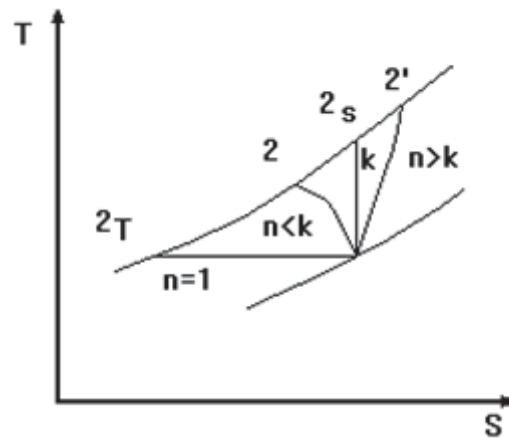


Figura 15: Diagrama T x S.

### Turbo- compressores

Nos turbo-compressores a compressão é normalmente adiabática irreversível, pois estes geralmente não são resfriados, e além disso operam com altas vazões (causando altas velocidades do gás), fazendo com que o calor cedido por unidade de massa de gás ao ambiente seja reduzido.

### Compressores alternativos

Os compressores alternativos efetuam compressões com resfriamento do gás, devido ao relativamente longo tempo de permanência de uma unidade de massa do gás trocando calor com o ambiente, portanto ela se aproxima da isotérmica.

### Compressores Centrífugos

De uma maneira geral é aproximadamente adiabática para o compressor centrífugo sem resfriamento interno. Devido as perdas internas, como atrito e choques, a transformação se processa com aumento de temperatura.

### Isentrópico

Sem resfriamento o processo tende a adiabático, e o ganho de calor pelo fluido devido as perdas é desconsiderado, portanto a compressão do gás constitui um processo ideal, adiabático e reversível (isentrópico), que pode ser expresso pela equação 1.

$$P * V = cte \quad (1)$$

No entanto estas perdas existem, e a transformação que ocorre dentro do compressor é na realidade irreversível; portanto, diferentemente da isentrópica. Portanto a equação do processo adiabático irreversível é expressa pela equação 2.

$$P * V^n = cte \quad (2)$$

Onde  $n > k$ , pois a temperatura final do gás é maior que no isentrópico.

- Compressor centrífugo com resfriamento.

Já em um compressor centrífugo com resfriamento, irreversível, e não adiabático devido ao resfriamento, a transformação se faz com perda de calor do gás para o meio.,Portanto, a entalpia final do gás é menor e esse processo é expresso pela equação 3.

$$P * V^n = cte \quad (3)$$

Compressão adiabática reversível apresenta um trabalho segundo a expressão 4.

$$Ha = Z . R . T1 . \frac{k}{k - 1} \left( \frac{P2}{P1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \quad (4)$$

Onde

$$P * V^k = cte \quad (5)$$

A eficiência adiabática  $\eta_a$ , está expressa na equação 6.

$$\eta_a = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1} \quad (6)$$

O aumento de temperatura é expresso pela Equação 7,

$$T_2 = T_1 * \frac{P_2^{\frac{k-1}{k}}}{P_1} \quad (7)$$

Porém, em casos de fluidos onde  $k = 1$ , o processo de compressão tende a ser isotérmico.

A compressão politrópica está expressa na Equação 8.

$$H_p = Z \cdot R \cdot T_1 \cdot \frac{n}{n-1} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{n-1} \quad (8)$$

Onde

$$P * V^n = cte \quad (9)$$

A eficiência politrópica ( $\eta_p$ ), na Expressão 10

$$\eta_p = \frac{\frac{k-1}{k}}{\frac{n-1}{n}} = \frac{H_p * w}{N} \quad (10)$$

É importante lembrar que compressores resfriados, em que  $n < k$ , costuma-se empregar uma eficiência isotérmica  $\eta_i$ , expressa pela Equação 11.

$$\eta_i = \frac{H_i * w}{N} \quad (11)$$

Onde

$$H_i = R * Z_1 * T_1 * \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (12)$$

O aumento de temperatura é expresso pela Expressão 13.

$$T_2 = T_1 * \frac{P_2^n}{P_1} \quad (13)$$

### Compressores Alternativos

Os compressores alternativos efetuam compressões com resfriamento do gás, devido ao longo tempo (relativamente) de permanência de uma unidade de massa do gás trocando calor com o ambiente, e as altas pressões de descarga (conseqüentemente altas temperaturas) contra as quais atuam esses compressores. A compressão efetuada se aproxima mais da isotérmica ou adiabática quanto melhores ou piores, respectivamente, forem as condições de resfriamento do cilindro. Para fins de estudo, essa compressão também é aproximada a uma politrópica onde os trabalhos são expressos assim:

Isotérmica

$$P * V = cte \quad (14)$$

Politrópica

$$P * V^n = cte \quad (15)$$

Isoentrópica

$$P * V^k = cte \quad (16)$$

E os respectivos trabalhos são:

Isotérmico

$$W_t = m * R * Z_1 * T_1 * \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (17)$$

Politrópico

$$W_p = m * Z * R * T_1 * \frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{n-1} \quad (18)$$

Isentrópico

$$W_s = m * Z * R * T_1 * \frac{k}{k-1} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (19)$$

Lembrando que a relação de trabalho é a seguinte:

$W_{\text{isot}} < W_{\text{polit.}} < W_{\text{isoent.}}$ , como mostra a Figura 16.

É importante ressaltar que para estes cálculos é considerado que o  $c_p$  do ar é constante e igual 1,0 kJ/kgK. Esta é uma aproximação bastante razoável, já que o  $c_p$  varia mais fortemente com a temperatura do que com a pressão.

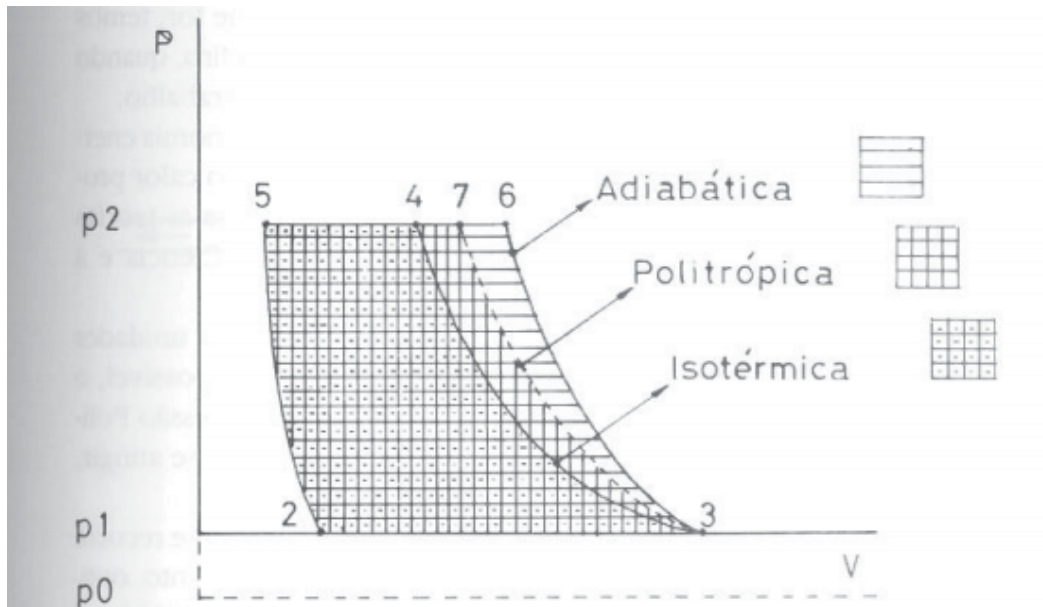


Figura 16: Relação de trabalho (ROLLINS, 2004)

### Compressores Centrífugos

Cada compressor centrífugo tem uma capacidade mínima, abaixo da qual a operação do compressor se torna instável. Esta instabilidade é acompanhada por um ruído. Este fenômeno recebe o nome de *surge*.

Este fenômeno pode ser explicado da seguinte forma: estrangulando-se a válvula de descarga de um compressor, a resistência do sistema, e portanto o trabalho necessário para vencer essa resistência, aumentam. À medida que se estrangula a válvula, a vazão através do compressor vai diminuindo até a capacidade correspondente ao máximo trabalho. Nesta condição, a contra-pressão do sistema é maior que a que o compressor pode fornecer, causando momentaneamente uma inversão de fluxo. Quando isso acontece, contudo, a pressão na descarga diminui, tornando o compressor capaz novamente de fornecer uma vazão maior do que aquela na qual o sugeriu-se no início. Se o estrangulamento da válvula na descarga é mantido, a operação segue novamente a curva de trabalho característica, até que o trabalho máximo é atingido novamente. As

conseqüências deste comportamento são aquecimento anormal do gás e vibrações que se distribuem para o sistema de selagem, tubulação, rotor etc.

### Compressores de 1 ou 2 estágios

Compressores de múltiplos estágios são compostos de trocadores de calor entre os estágios e um pós-resfriador (*aftercooler*) após o último estágio de compressão. Estes múltiplos estágios têm como objetivo remover calor e reduzir a temperatura a aproximadamente a temperatura de entrada do primeiro compressor. Nos casos em que um compressor com resfriadores intermediários (*intercooler*) é usado para comprimir gases com vapores condensáveis, o efeito combinado de compressão e resfriamento pode condensar o líquido. Portanto, o condensado líquido deve ser removido através da instalação de purgadores na saída do *intercooler*, evitando danos à jusante do compressor. A Figura 17 mostra um processo com dois estágios. Em processos de múltiplos-estágios o processo é considerado isotérmico (COKER,1994).

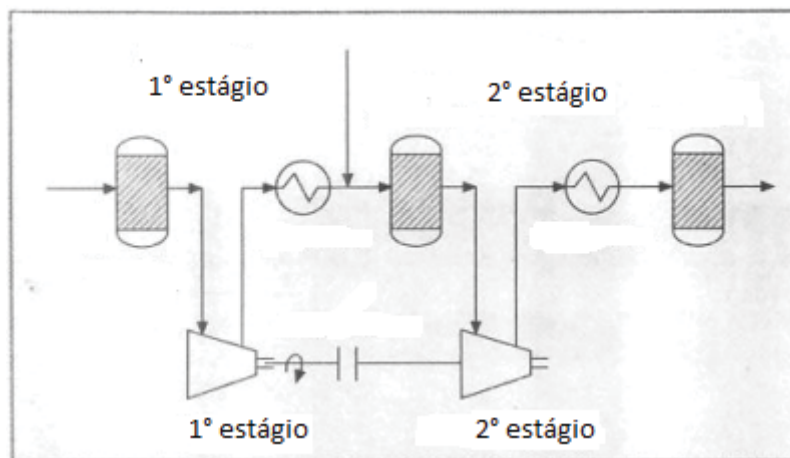


Figura 17: Compressão com estágios (COKER, 1994).

A grande vantagem dos compressores de múltiplos-estágios (Figura 18) é que eles tendem a uma compressão isotérmica, tendo assim um menor trabalho requerido. No entanto, há um limite de números de estágios em função do custo dos equipamentos de compressão e resfriamento do ar comprimido.

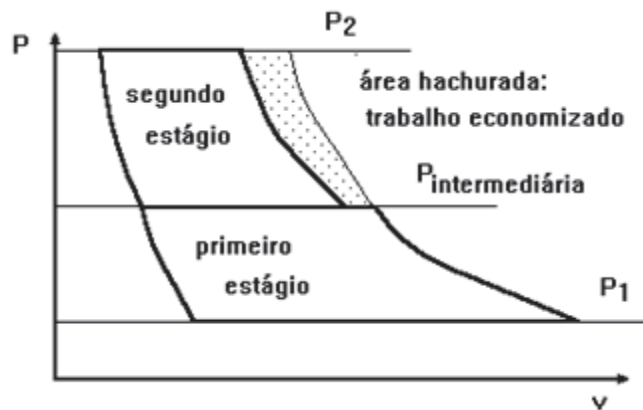


Figura 18: Compressão em dois estágios.

### 3. Metodologia

Em um primeiro momento, o presente trabalho teve como foco o levantamento de dados dos compressores e das tubulações de ar da planta de fenol da fábrica de Paulínia. Posteriormente, teve como foco cálculo e análise das perdas de carga nas tubulações e rendimentos nos compressores.

Após a revisão bibliográfica dos tipos de compressores e tipos de compressão, foi iniciada a fase de trabalho de campo, que consistiu em um levantamento dos dados de pressão, temperatura, vazão obtidos na sala de controle da planta do fenol e em medições realizadas em campo. Também foi feito um levantamento da tubulação com relação as distâncias e elevações, perdas localizadas (cotovelos e conexões), diâmetro e válvulas existentes.

Foi traçado um fluxograma onde a intenção é ilustrar as direções de fluxo do compressor ate os coletores e as intersecções dessas linhas de ar, sem necessariamente ilustrar as linhas de maneira real com os devidos cotovelos e válvulas representados. Porém, estes parâmetros estão devidamente especificados na tabela 2 e são considerados em todos os cálculos posteriores. Este fluxograma esta ilustrado na Figura 19.

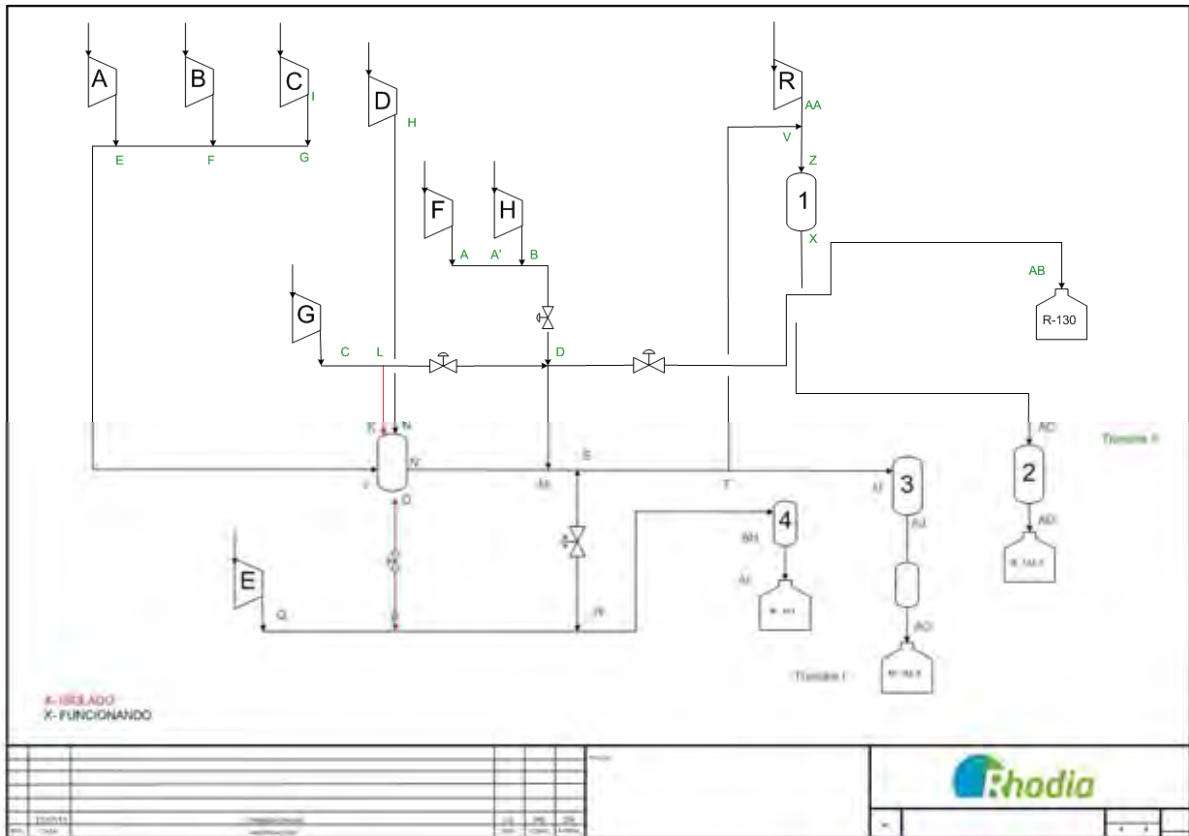


Figura 19: Fluxograma representando as linhas e conexões de distribuição do ar comprimido.

Para uma melhor organização dos dados foram determinados trechos contendo os parâmetros citados anteriormente, conforme Tabela 2. Na tabela a linha em amarelo representa uma linha de operação que esta desativada no momento.

Tabela 2: Dados das linhas de ar

Trecho	Vazão	Comprimento	Diâmetro	Elevação	VV/Diam.	Curva	T
A-A'	8	6,5	6"	2	1 retenção		
A'-B	8	7	8"		1bloq. 8"		
B' – B	8	8,5			1 ret. 6 "		1
					1 UV 6"		
					1bloq. Man.		
B – D	16	70	8"	7		10	1
C- D	14	50	8"	7	1reten. 6" - 8"	5	
					8" - 6"		
					6" - 8"		
D – M		4	8"	4			
N- M		40		7		6	
H - H'	6	35	4"	4	1 val. 4" -6"		

H' - J	6	35	6"				
I - G	4	5	4"				
F' - F	3,5	5	4"				
E' - E	3,5	5	4"				
G - F	4	2	8"				
E - F	7,5	2	8"				
E - J	11	4	8"				
Q - P		70	8"	7	1 val. 8" - 6"	11	3
					1 val. 6" - 8"		
					1bloq. 8"		
O-P	12	2	8"	7	1 val. Gav. 6"		
P - R	12	57	8"	7		9	

Para uma visão melhor dos compressores e das linhas de ar, as Figuras 20, 21, 22 e 23 mostram a planta de fenol, onde as linhas verdes são as linhas de ar.



Figura 20: Disposição dos compressores na planta de fenol.



Figura 21: Disposição das linhas de ar na planta do fenol.



Figura 22: Disposição das linhas de ar na planta do fenol.



Figura 23: vasos coletores do ar na planta de fenol

Como pode ser observado na Figura 23 o sistema é composto de 5 compressores principais (Centac E, Centac F, Centac G, Centac H e Rateau) e de 4 compressores de reserva (Atlas A, Atlas B, Atlas C e Atlas D). Inicialmente, esta planta foi projetada apenas com o Rateau, sendo posteriormente acrescentados os Centac e os Atlas (como equipamentos de segurança). Reside aí a importância deste estudo, uma vez que as linhas e os compressores foram sendo acrescentados sem um estudo prévio de eficiência energética da planta. Estes 5 compressores alimentam 4 coletores distribuídos em duas tranches (Figura 23). Os compressores não trabalham a plena carga, uma vez que a vazão máxima dos compressores é de 51 t/h e a vazão requerida pelos 4 coletores é de apenas 42 t/h.

### 3.1 Análise de perda de carga

A perda de carga foi analisada em um primeiro momento desconsiderando-se as interligações dos diversos ramais. Assim, considerou-se o Rateau alimentando o coletor 1, o Centac H alimentando o coletor 2, o Centac F e G alimentando o coletor 3 e o Centac E alimentando o coletor 4.

Primeira aba: Descritivo da planilha

Dados de entrada:

Vazão volumétrica (m<sup>3</sup>/h)

Diâmetro interno da tubulação (mm)

Comprimento da tubulação (m)

Viscosidade = 1,9\* 10<sup>-5</sup> N.s/m<sup>2</sup> (WHITE, 1999)

Cálculos realizados:

Área de escoamento

$$A = \pi r^2 \quad (20)$$

Velocidade

$$V = \frac{Q}{A \cdot 3600} \quad (21)$$

Massa específica

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (22)$$

Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_{int}}{\mu} \quad (23)$$

Rugosidade relativa

$$\frac{\epsilon}{D_{int}} \quad (24)$$

Fator de atrito

Se Reynolds <4000

$$f = \frac{64}{Re} \quad (25)$$

Se Reynolds >4000

$$f = 0.046 \left\{ \left( \frac{0.6}{Re} \right)^{1.2} + \frac{1}{\left[ \left( \frac{0.7550}{Re} \right) + \left[ 2.457 \ln \left( \frac{1}{\left( \frac{0.7}{Re} \right)^{0.9} + \left( 0.27 \frac{0.6}{D} \right)} \right)^{1.9} \right]^{1.5}} \right\}^{1.25} \quad (26)$$

Lt

$$L_t = \frac{L}{D} * D_{int} + L_{tub}. \quad (27)$$

Perda de carga

$$p = \frac{f * L_t}{D_{int} * v^5} * 2 * g \quad (28)$$

Nas abas seguintes da planilha. Na resolução do modelo, foram analisados todos os compressores passando por cada trecho até o coletor, seguindo o descritivo da primeira aba (cálculos efetuados na planilha, caixa rosa) e os dados de entrada (caixa azul) foram retirados da tabela 2, estes cálculos estão exemplificados na figura 25 para o Centac G e no Apêndice A pode ser analisado os cálculos realizados para cada compressor. É importante lembrar que a Tabela 2 traz o diâmetro nominal da tubulação, porém para todos os cálculos foi utilizado o diâmetro interno, obtido através da tabela exemplificada na Figura 25, sempre considerando o schedule da tubulação utilizada. A perda de carga equivalente utilizada para cada válvula no esquema da tabela foi retirada dos parâmetros utilizados na própria Rhodia para projetos novos de tubulação e catálogos dos seus fornecedores.

Com base nos resultados da modelagem anterior, foi realizado também um estudo mais completo da perda de carga ao considerar todas as interligações do fluxograma. Esse estudo foi possível através de um software de domínio da Rhodia (WPCID).

O WPCID visa complementar a análise do modelo anterior, já que ele tem a capacidade de considerar todos os ramais simultaneamente e não apenas cada ramal independentemente. Os cálculos realizados pelo WPCID são consideravelmente mais complexos e exigem iterações numéricas, tornando a resolução manual quase impossível.

O usuário primeiramente informa os dados de cada ponto, como elevação, pressão (pode ser fixada ou calculada pelo programa), densidade, viscosidade e vazão (também pode ser fixada ou calculada pelo programa). Para o primeiro nó A, esses dados estão ilustrados na Figura 24. O procedimento é repetido para todos os demais nós.

#### Node [A] (N°1) ?

Branching name (2 characters, except \*\*, spaces count.)  
 Relative elevation  
 Relative pressure (see Help)  
 This pressure is forced at this inlet/outlet branching  
 Feed (+) or bottom (-) flow rate at this inlet/outlet  
 Forced density (liquids only)  
 Forced viscosity  
 Comments about the branching

A		?
0	m	?
8.7	bar	?
Yes		?
0	m3/h	?
8.13	kg/m3	?
0.019	cP	?
Saída Centac F		?

Figura 24: Determinação dos parâmetros de cada ponto para o nó A.

Após a descrição de todos os pontos, é estabelecido a relação de trechos, que consiste na entrada de dados tais como relação de pontos, diâmetro interno da tubulação, comprimento da tubulação no trecho, rugosidade absoluta, perda equivalente (calculado no modelo simplificado), ilustrado na Figura 25 para o nó A.

## Branch between [A ] and [A'] (N°1)

?

### Ends of the branch and possible branching

Branching 1

A

Perpendicular connection of the branch through Branching 1

No ?

Branching 2

A'

Perpendicular connection of the branch through Branching 2

No ?

### Pipe features:

Actual inside diameter

146.3 mm ?

Length

6.5 m

Absolute rugosity

0.004 mm ?

Number of 90° bends on this branch

0 ?

### Possible fittings:

inlets, outlets, valves, bends, oblique, converging, diverging, orifice plate, device, ...

Equivalent metres of piping

14.63 m ?

Zeta head loss coefficient

0 ?

Head loss [for the related rated flow rate

0 mbar ?

Related rated flow rate

0 m3/h

### Possible pumps, compressors, turbines or pressure valves

H Height (See Help)

0 bar ?

If H height is not constant, 2nd point of the curve (H,Q) :

Qa flow rate of the 2nd point (See Help)

0 m3/h ?

Ha height of the 2nd point

0 bar

### Forced possible flow rate on the branch

Flow rate from Branching 1 to Branching 2

0 m3/h ?

Comment about the branch

Figura 25: determinação dos parâmetros de cada trecho para o nó A.

## 3.2 Perda compressor-coletor

Um segundo ponto avaliado foi a localização dos compressores, uma vez que alguns foram instalados em locais relativamente longe do destino final do ar comprimido, o que implicaria em uma grande perda de carga nestes trechos. Portanto, foi analisado para cada compressor a perda de carga como descrito a seguir.

Foi levantada a vazão de cada compressor segundo a sua curva de operação, como mostra a Figura 26.

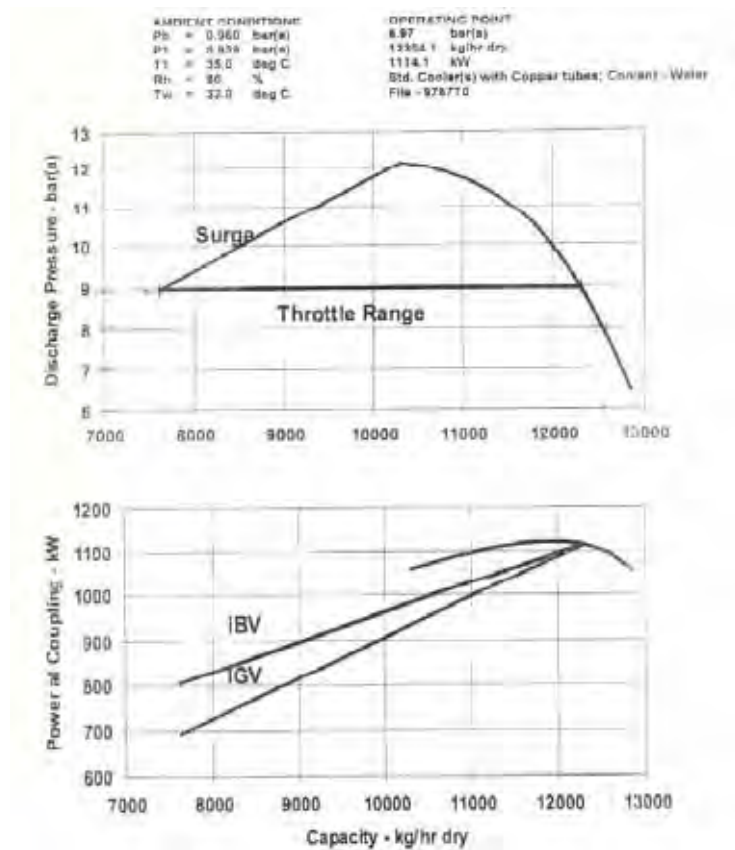


Figura 26: Especificação do compressor existente

A partir da vazão e da viscosidade dinâmica do ar, é possível determinar a perda de carga entre o compressor e seu respectivo coletor pelo ábaco ilustrado na Figura 27.

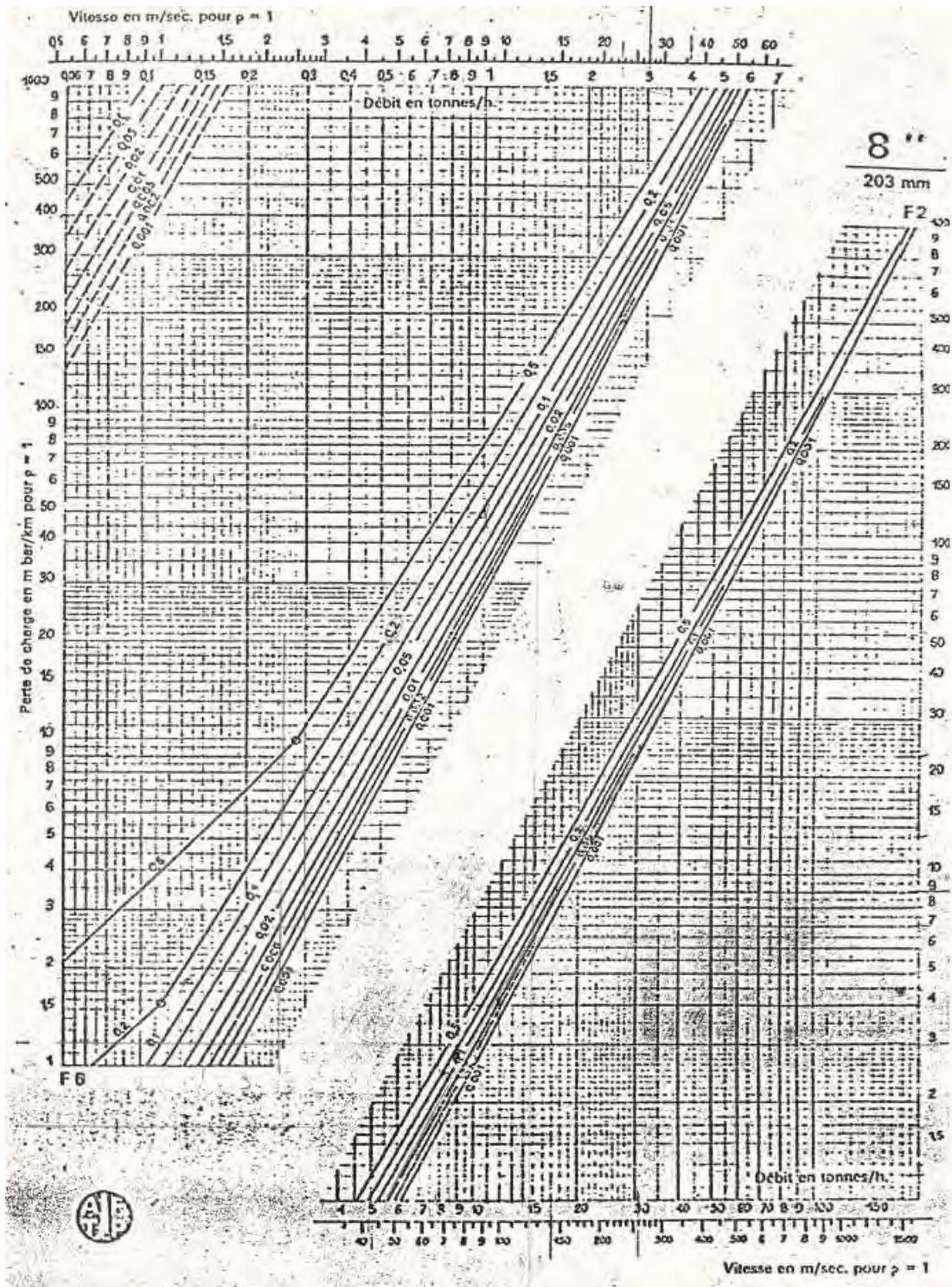


Figura 27: Ábaco de perda de carga para tubulações de diâmetro nominal de 8".

Foi calculada então a perda de pressão entre o compressor e o coletor. Os dados e resultados dos cálculos estão apresentados na Figura 28.

## CÁLCULO pressão entrada do coletor

### Análise do compressor

### CentacF/H

Dados de entrada
Curva Px Q
Resultados importantes
Abaco
Calculado
Calculado na planilha de perda de carga

Pressão out	9,77	bar
Vazão	12,2	t/h
Diâmetro	8"	
Temperatura media	150	°C
Viscosidade	0,024	cP
		bar/Km por $\rho =$
Abaco	4	1
P	8,047709656	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta p$	0,497035824	bar/Km
	0,000497036	bar/m
perda de carga eq.	360	m
$\Delta$ pressão	0,178932897	
Pressão entrada do coletor	9,591067103	bar
Distância	177M	
Perda	0,101092032	bar/100m

Figura 28: Calculo de perda de carga para cada distância compressor-coletor.

### 3.3 Análise de Eficiência Energética

A eficiência energética de um sistema representa o quanto um equipamento real aproxima-se de um comportamento ideal, no qual não existem perdas. Teoricamente, a eficiência energética na geração de ar comprimido  $\eta$  deveria ser determinada pela quantidade de energia útil contida no ar comprimido e pela quantidade de energia gasta para a sua produção. No entanto, devemos levar em consideração os rendimentos termodinâmico ( $\eta_{th}$ ) e mecânico ( $\eta_m$ ). Como discutido na revisão bibliográfica, o cp do

ar foi considerado constante nestes cálculos. A Figura 29 ilustra o processo ideal (linha vertical) e o processo real (linha inclinada).

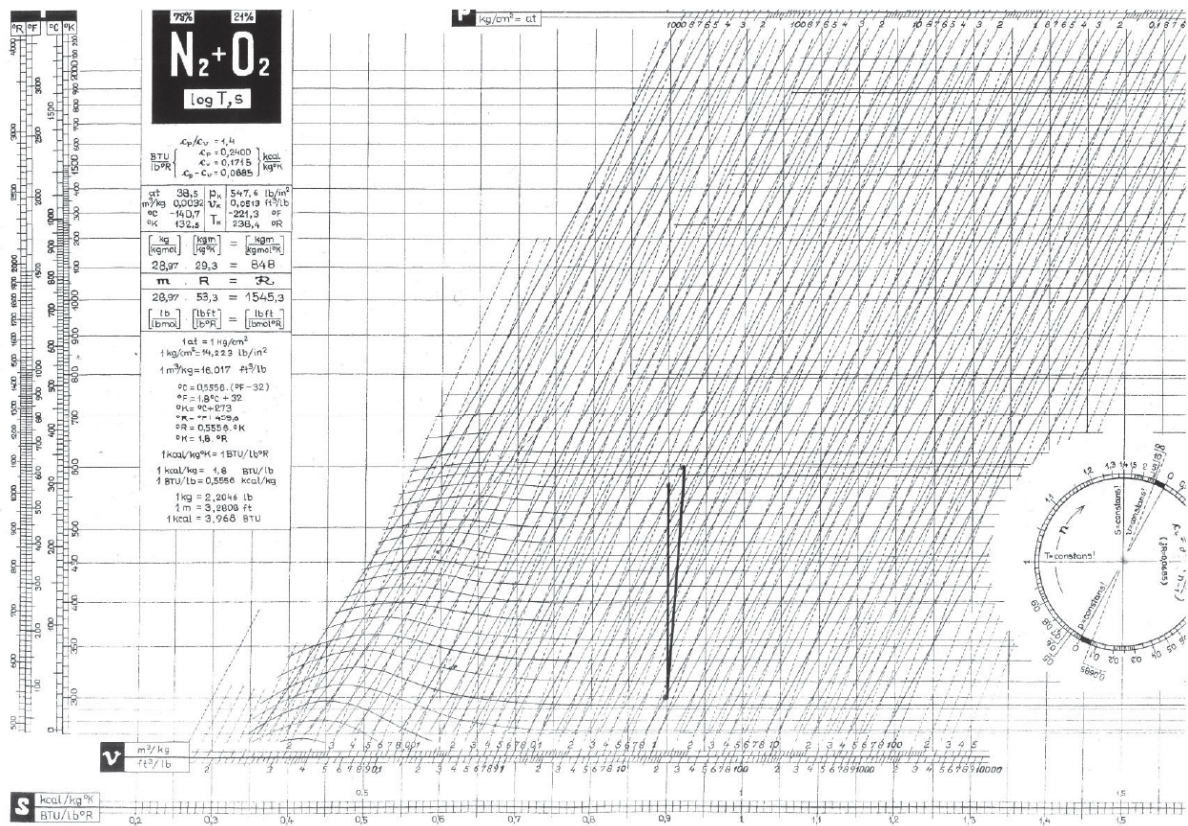


Figura 29: Diagrama P x T para processo ideal e real.

Conforme discutido no capítulo 1.8, o rendimento termodinâmico para compressores centrífugos é obtido pelo trabalho de compressão teórico (processo adiabático reversível) pelo trabalho de compressão real (processo adiabático reversível), conforme equação 29.

Rendimento termodinâmico

$$\eta_{th} = \frac{W_{th}}{W} \quad (29)$$

Para um processo ideal (adiabático reversível), foi calculado o trabalho segundo a equação 32, considerando um processo ideal no qual  $n = k = 1,4$ .

No processo real (adiabático irreversível) é determinado o parâmetro  $n$  com base em dados de pressão e temperatura coletados em campo, a partir da equação 31. É importante lembrar que o valor de  $n$  deve estar entre 1 e 1,4.

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\log \frac{T_2}{T_1}}{\log \frac{P_2}{P_1}} \quad (30)$$

Após a determinação do n real, podemos calcular o trabalho real segundo a equação 32.

$$Wc = \frac{Q \cdot Wch}{\eta th \cdot \eta mec} \quad (32)$$

Após o cálculo da potência gerada, ainda há uma segunda perda associada à transmissão de energia do acionador para o compressor, onde ocorrem inevitáveis dissipações provocadas pelo atrito mecânico. Em geral, o rendimento mecânico se encontra em uma faixa de 0,92 e 0,98

Após a consideração de todas as perdas sofridas pelo compressor, é possível calcular o consumo específico de energia (kWh/m<sup>3</sup>). Isto funciona como um índice de referência da eficiência de um compressor. Este parâmetro é obtido segundo a equação 33.

$$C.E.E. = \frac{Wc}{Qsv} \quad (33)$$

A partir do consumo específico de energia, é possível calcular as despesas mensais associadas ao consumo energético de cada compressor.

$$DM = \frac{RS}{MWh} * Wc * \frac{d}{m} * \frac{h}{d} \quad (34)$$

Todas essas equações analisadas acima foram resolvidas com auxílio de uma planilha, calculando-se o trabalho real, ideal, rendimento e custo mensal. Na Tabela YY são apresentados os resultados destes cálculos considerando o compressor Centac G com rendimento mecânico de 0,92. Os cálculos realizados para todos os compressores, com rendimento mecânico variando de 0,92 a 0,98, são mostrados no Apêndice B.

## CÁLCULO DO CUSTO DE ENERGIA

### Análise do compressor Centac G

Dados de entrada
Cálculos
Resultados importantes
Valor variando de 0,92 a 0,98
Taxa

Dados do Sistema: Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 7,77 bar  
 Vazão= 14 (Kg/s)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

#### Trabalho Ideal

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Processo Politrópico

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

#### Trabalho real

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Rendimento termodinâmico

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>
------------	-------------------

#### Potência

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>1411,76</b>	<b>kW</b>

#### Cons. Energia

Wc	1411,76	kW
vazão	14.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0124035</b>	<b>kW/m³</b>

#### Gasto mensal

Wc	1411,76	kW
Horas de trabalho/dia	16	
Dias de trabalho /mês	20	
Taxa	329,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 148.630,38</b>	

Figura 30: Planilha de custos do Centac G

A variação das despesas de energia dos compressores com o rendimento mecânico para o compressor Centac G é mostrada na Fig. 31. Para os demais compressores, estes resultados são apresentados no Apêndice C.

Centac G

Rendimento	Gasto
0,92	R\$ 148.630,38
0,93	R\$ 147.032,20
0,94	R\$ 145.468,03
0,95	R\$ 143.936,79
0,96	R\$ 142.437,45
0,97	R\$ 140.969,02
0,98	R\$ 139.530,56

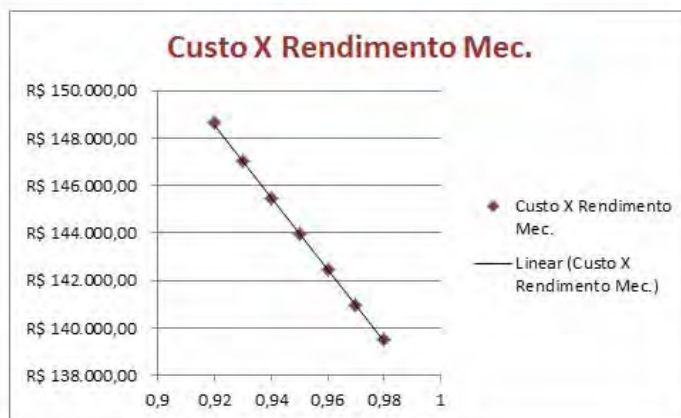


Figura 31: variação do custo de energia em função do rendimento mecânico do compressor.

## 4 Discussões e resultados

### 4.1 Modelo simplificado para cálculo de perda de carga.

Este método, como previsto, apresentou valores altos de perda de carga localizada nos trechos. Pode-se observar nos cálculos no Apêndice A, essa grande perda de carga é devida ao fato do método simplificado superestimar a velocidade de escoamento, porque o modelo considera que toda a vazão no trecho analisado não é distribuída para os demais trechos ou ramificações. Os valores encontrados para perda de carga foram na faixa de 2 a 4 bar/ 100 m (valor no SI), sendo a faixa adotada na planta é de 0,02 a 0,05 bar/100m.

### 4.2 Método de perda de carga pelo WIPCD

Os dados de entrada do WIPCD são aqueles apresentados na Tabela 2, além da vazão requerida pelo coletor na situação atual da planta, que é igual a 42 t/h. O programa retorna então os resultados de vazão, velocidade e perda de carga em cada trecho, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: dados de saídas do WIPCD com base na vazão dos coletores (42 t/h)

Trecho	Diam. (mm)	Dist. (m)	Perd. Eq. (m)	pressão bar	Vazão m3/h	Vel. m/s	Reynolds (/1000)	bar/100m
A-A'	146,3	6,5	14,6	0,0038	131,824	2,18	775,6	0,018009
A'-B'	193,7	7	1,5	0,0003	131,857	1,24	585,7	0,035249
B-B'	146,3	8,5	3,1	0,0041	191,048	3,16	1124,1	0,035345
B'-D	193,7	70	69,7	0,0327	323,754	3,05	1434,9	0,023407
D-C	193,7	50	65,8	0,0231	298,975	2,82	1322,6	0,019948
D-M	193,7	4	0	0	54,713	0,52	242,1	0
Q-P	193,7	70	139	0,0236	224,608	2,12	996,5	0,011292
P-R	193,7	57	52	0,0123	224,929	2,12	996,5	0,011284
R-S	193,7	5	1,5	0,0009	254,422	2,4	1126,6	0,013846
M-S	193,7	8	1,5	0,0001	54,768	0,52	242,4	0,010753
S-T	193,7	40	39	0,0169	309,745	2,92	1368,8	0,021392
U-T	193,7	40	40	0,0001	26,738	0,25	118,2	0,021125
AH-R	193,7	70	36	0,0002	29,359	0,28	130	0,021189

T-V	97,2	5	60	0,6285	345,073	12,92	2963,3	0,966923
V-AA	193,7	80	78	0,049	383,83	3,62	1605,2	0,031013
Z-V	193,7	5	0	0	28,128	0,27	118,2	0
AC-Z	193,7	30	51	0,0001	28,203	0,27	118,2	0,027123
AB-D	193,7	110	69,7	0,0004	29,368	0,28	130	0,034223

Já na tabela 4 os valores expressam uma possibilidade de operação a plena carga dos compressores, ou seja, vazão total de 52 t/h. Essa análise é importante, pois há planos de aumentar a produção da planta para o próximo ano. Portanto, é importante antecipar a perda de carga para uma vazão maior de operação.

Tabela 4: dados de saídas do WIPCD com base na vazão dos compressores (52 t/h).

Trecho	Diam. (mm)	Dist. (m)	Perd. Eq. (m)	pressão bar	Vazão m3/h	Vel. m/s	Reynolds (/1000)	bar/100m
A-A'	146,3	6,5	14,6	0,0044	142,026	2,35	835,7	0,020853
A'-B'	193,7	7	1,5	0,0004	142,067	1,34	631	0,041706
B-B'	146,3	8,5	3,1	0,0048	205,804	3,4	1210,9	0,041379
B'-D	193,7	70	69,7	0,0379	348,865	3,29	1545,7	0,02713
D-C	193,7	50	65,8	0,0172	257,778	2,43	1140,1	0,014853
D-M	193,7	4	0	0,0001	91,69	0,86	405,6	0,0025
Q-P	193,7	70	139	0,0277	243,145	2,29	1078,6	0,013254
P-R	193,7	57	52	0,0145	243,553	2,3	1078,6	0,013303
R-S	193,7	5	1,5	0,0009	243,711	2,3	1078,6	0,013846
M-S	193,7	8	1,5	0,0002	91,724	0,86	405,7	0,021505
S-T	193,7	40	39	0,0198	336,066	3,17	1484,2	0,025063
U-T	193,7	40	40	0	0	0	0	0
AH-R	193,7	70	36	0	0	0	0	0
T-V	97,2	5	60	0,6266	344,656	12,9	2957,8	0,964
V-AA	193,7	80	78	0,0419	355,008	3,35	1484,2	0,026519
Z-V	193,7	5	0	0	28,128	0,27	118,2	0
AC-Z	193,7	30	51	0,0001	28,203	0,27	118,2	0,020123
AB-D	193,7	110	69,7	0,0004	29,368	0,28	130	0,020223

Neste método a, análise foi mais abrangente e considerou todas as interações existentes, apresentando valores de perda de carga dentro na faixa especificada tanto para a situação atual quanto naquela em que se projeta um aumento de produção. Os resultados mostram ainda um trecho crítico – trecho T-V –, cujo valor de perda de carga está muito acima do especificado. Isso se deve porque este trecho apresenta um diâmetro menor (4") que os demais trechos. Recomenda-se, portanto, a troca deste

trecho para um diâmetro de 8". Como se trata de um trecho curto, é uma melhoria fácil de se implementar numa próxima parada para manutenção.

#### 4.3 Rendimento dos compressores

A Figura zz mostra a variação de custos dos compressores em função do rendimento mecânico.

Tabela 5 : Custo dos compressores em função do rendimento mecânico (substituir pela figura zz e remover as figuras do apêndice)

#### 4.4 Melhoria nos trechos

Uma possibilidade que foi estudada foi a de alterar o diâmetro da tubulação, utilizando o que se chama na indústria química de "ponte de safena". Este procedimento consiste na construção de uma nova tubulação paralela à tubulação existente, porém com um diâmetro diferente, e posterior conexão entre o compressor e a nova tubulação. No entanto, como discutido no item 9.1 e 9.2, a perda de carga para o diâmetro existente de 8" está dentro (ou mesmo abaixo em alguns trechos) dos valores esperados. A razão é que a tubulação foi dimensionada para receber uma vazão maior do que a utilizada atualmente.

Uma possibilidade razoável seria ajustar a tubulação para a vazão adequada, o que implicaria na verdade na redução do diâmetro. No entanto, há projetos de expansão da planta de fenol, o que implicará em um aumento de vazão de ar comprimido. Portanto, não se recomenda mudanças no diâmetro da tubulação.

#### 4.5 Análise da perda de carga entre compressor e coletor.

Com estes cálculos foi possível analisar a perda de carga para cada trecho para os diferentes compressores e os resultados encontrados estão resumidos na tabela 5. Os cálculos correspondentes podem ser analisados no Apêndice D.

Tabela 6: Resultado de perda de carga para cada compressor.

Compressor	bar/100 m
Rateau	0,08
Centac FH	0,10
Centac G	0,19
Centac E	0,20

Como a faixa recomendada é de 0,07 a 0,12 bar/100 m, é recomendado alguma alteração na localização dos compressores Centac G e E para um local mais próximo dos coletores 1 e 3, respectivamente.

#### 4.6 Análise de mudança dos compressores.

Como discutido anteriormente, a vazão requerida é de 42t/h e a capacidade dos compressores é de 52 t/h. Sabe-se também que o Rateau foi o primeiro compressor instalado e que trabalha a plena carga (9t/h). O restante da vazão (33 t/h) é atendida pelos Centac E, F, G e H. Assim, cada compressor fornece em média 8t/h, o que representa o valor limite do Centac F e H. Porém, o Centac G (14t/h disponível) e o Centac E (12 t/h disponível) estão trabalhando fora da sua condição nominal de operação, apresentando um rendimento muito menor do que se estivessem trabalhando a plena carga. Portanto, uma sugestão seria desligar o Centac F e deixar o Centac E, G e H trabalhando a plena carga, em suas respectivas condições nominais. O Centac F poderia ser utilizado tanto como reserva como ter sua operação alternada com outras máquinas, aumentando a flexibilidade da operação. A tabela 6 mostra os valores de rendimento atual e o proposto ao se desligar o Centac F.

Tabela 7: Rendimento atual e possibilidades.

	Rendimento	
	Atual	Proposto
Centac E	0,542	0,804
Centac F	0,542	0,542
Centac G	0,542	0,948
Centac H	0,542	0,542

#### 4.7 Compra de compressores com maior rendimento mecânico

No apêndice C é mostrado quanto é possível economizar ao se comprar um compressor de maior rendimento. Portanto, para aquisições futuras de compressores, seria interessante analisar esses valores de economia energética em função do rendimento mecânico do compressor. A tabela 7 apresenta a economia mensal e a economia para um período de 3 e 5 anos, sendo possível analisar em 3 ou 5 anos o quanto será economizado de energia por comprar um compressor de maior eficiência, ou seja, o custo mensal de um compressor com eficiência mecânica de 0,98 menos o custo mensal de um compressor com eficiência mecânica de 0,92. Com isso, determina-se em quanto tempo essa diferença de preço na hora da compra será pago pela própria economia energética.

Tabela 8: Economia energética da variação de preço do maior para o menor rendimento mecânico.

	Economia mensal	Economia em 3 anos	Economia em 5 anos
Centac E	R\$ 13.335,00	R\$ 480.060,00	R\$ 800.100,00
Centac F	R\$ 6.673,00	R\$ 240.228,00	R\$ 400.380,00
Centac G	R\$ 15.558,00	R\$ 560.088,00	R\$ 933.480,00
Centac H	R\$ 13.335,00	R\$ 480.060,00	R\$ 800.100,00
Rateau	R\$ 9.051,00	R\$ 325.836,00	R\$ 543.060,00
Atlas	R\$ 3.701,00	R\$ 133.236,00	R\$ 222.060,00

## 5. Conclusões

Este trabalho teve como propósito não só o estudo sobre compressores e os tipos de compressão, mas o estudo da possibilidade e melhoramento da planta de fenol. Após toda a análise dos compressores e os métodos possíveis de perda, foi possível concluir que a tubulação, ao contrário do que se esperava, está trabalhando dentro da faixa de operação e, portanto, deve ser mantida. Sugere-se a mudança do compressor Centac G e E para um local mais próximo dos coletores 1 e 3, respectivamente. Foi possível constatar também que os compressores estão trabalhando fora da sua condição nominal de operação, com rendimento bem menor do que os compressores atuais são capazes de oferecer. Para melhorias futuras, envolvendo a troca de compressores ou ampliação da planta, este estudo possibilitou avaliar a possível economia energética que será realizada em 3 ou 5 anos comprando-se um compressor com maior rendimento mecânico. Assim, o trabalho apresentou resultados que justificam as mudanças sugeridas.

## REFERÊNCIAS

- ACERVO RHODIA, **Rhodia Poliamida Ltda**, 2011.
- Energy Efficient Compressed air systems**, Londres, 2005, 40p.
- Energy Efficiency in Industry and Building Services Technology** , Alemanha, 2008
- Energy Use, Loss and Opportunities Analysis**, Estados Unidos, 2004
- Energy Efficiency in Compressed Air Systems**, Anil Hingorani - Atlas Copco, Belgica, 2002
- Energy Efficiency Best Practice Guide - Compressed Air Systems**, Sustainability Victoria 2009
- MATELLI, José. **Notas de aula de Sistemas Térmicos**, Guaratinguetá, 2011
- NOVAIS, José. **Ar comprimido industrial**. 1º ed. Lisboa: fundação calouste, 1995. 700p.
- ROCHA, Carlos. **Eficiência Energética em sistemas de ar comprimido**, Rio de Janeiro, 2008, 87p.
- ROLLINS, John. **Manual de ar comprimido**. 1º ed. SãoPaulo: Prentice Hall, 2004. 882p.
- SANTOS, Julio Cesar. **Análise da performance do sistema de ar**, Guaratinguetá, 2004, 93p.
- Site (<http://www.dicio.com.br/valvula/>)
- Site<http://www.infoescola.com/engenharia/aplicacao-correta-das-valvulas-nas-industrias/>)
- Site (<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Valvula0.htm>)
- WHITE, Frank. **Mecânica dos fluidos**. 4º ed. São Paulo: Graw Hill, 1999. 570p.
- WILEY, John. **Fundamentos da termodinâmica**. 5º ed. São Paulo:Edgard, 1998. 570p.

APÊNCICE A – Perda de carga de compressores

**CÁLCULO DE PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES**  
Escoamento de ar comprimido

	Dados de entrada
	Cálculos
	Resultados importantes
	Consultar planilhas "TABELA DIÂMETROS"

CENTAC F/H

Dados do Sistema: Pressão in = 0,924bar  
 Pressão out = 9 bar  
 Tubulação de aço carbono 8"  
 Trecho com cerca de 200 m de extensão  
 Temperatura do ar: 30 °C  
 Viscosidade:  $1,978 \cdot 10^{-3}$  cp  
 Densidade:  $1,53 \cdot 10^{-6}$  kg/m<sup>3</sup>

**Trecho A-A'**

Vazão volumétrica	350	m <sup>3</sup> /h
Diâm. Int. tub.	146,3	mm
Área escoamento	0,0168	m <sup>2</sup>
<b>Velocidade</b>	<b>5,78</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	6,5	m

**Trecho A'- B**

Vazão volumétrica	701,75	m <sup>3</sup> /h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m <sup>2</sup>
<b>velocidade</b>	<b>6,62</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	7	m

densidade	8,13	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade	0,019	cP
Reynolds	362049,8	
Rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,002	
fator de atrito	0,0232	

densidade	8,13	kg/m <sup>3</sup>
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	548344,4	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0215	

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD		0
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta		0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção	1	100
Total		100,0

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD		0
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	1	8
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
Total		8,0

L total	21,13	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>5,71</b>	<b>mcl</b>

L total	8,55	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>2,12</b>	<b>mcl</b>

	0,56	kgf/cm2
<b>DP 100</b>	<b>2,649</b>	<b>kgf/cm2/100m</b>

	0,21	kgf/cm2
<b>DP 100</b>	<b>2,429</b>	<b>kgf/cm2/100m</b>

### Trecho B' - B

Vazão volumétrica	701,75	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>6,62</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	8,5	m

### Trecho B - D

Vazão volumétrica	700	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>6,60</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	70	m

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	548344,4	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0215	

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	546977,0	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0215	

Acidentes	quantidade e	L/D
Curva 90° STD		0
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	2	16
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
<b>Total</b>		<b>16,0</b>

Acidentes	quantidade e	L/D
Curva 90° STD	10	300
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal	1	60
T direto		0
entrada tubo	0	
saída tubo	0	
válvula gaveta		0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
<b>Total</b>		<b>360,0</b>

L total	11,60	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>2,87</b>	<b>mcl</b>
	<b>0,28</b>	<b>kgf/cm2</b>
		<b>kgf/cm2/100</b>
<b>DP 100</b>	<b>2,429</b>	<b>m</b>

L total	139,72	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>34,44</b>	<b>mcl</b>
	<b>3,38</b>	<b>kgf/cm2</b>
		<b>kgf/cm2/100</b>
<b>DP 100</b>	<b>2,417</b>	<b>m</b>

**Trecho D - AB**

Vazão volumétrica	400	m <sup>3</sup> /h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m <sup>2</sup>
velocidade	<b>3,77</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	110	m

densidade	8,13	kg/m <sup>3</sup>
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	312558,3	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0218	

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	12	360
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal	0	0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	0	0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
Total		360,0

L total	179,72	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>14,71</b>	<b>mcl</b>
	<b>1,44</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>
<b>DP 100</b>	<b>0,802</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup>/100m</b>

## CÁLCULO DE PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES Escoamento de ar comprimido

CENTAC G

	Dados de entrada
	Cálculos
	Resultados importantes
	Consultar planilhas "TABELA DIÂMETROS"

Dados do Sistema: Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 9 bar  
 Tubulação de aço carbono 8"  
 Trecho com cerca de 130 m de extensão  
 Temperatura do ar: 30 °C  
 Viscosidade:  $1,978 \cdot 10^{-3}$  cp  
 Densidade:  $1,53 \cdot 10^{-6}$  kg/m<sup>3</sup>

### Trecho C - D

Vazão volumétrica	1228,07	m3/h
Diâm. Int. tub.	146,3	mm
Área escoamento	0,0168	m2
<b>velocidade</b>	<b>20,29</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	50	m

### TrechoD- M

Vazão volumétrica	701,75	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>6,62</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	4	m

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	1270349,9	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,002	
fator de atrito	0,0227	

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	548344,4	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0215	

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	5	150
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta		0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção	3	300
<b>Total</b>		<b>450,0</b>

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD		0
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta		0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
<b>Total</b>		<b>0,0</b>

L total	115,84	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>377,48</b>	<b>mcl</b>

L total	4,00	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>0,99</b>	<b>mcl</b>

	37,01	kgf/cm2
<b>DP 100</b>		<b>kgf/cm2/100m</b>

	0,10	kgf/cm2
<b>DP 100</b>	2,429	<b>kgf/cm2/100m</b>

### Trecho M -U

Vazão volumétrica	964,9	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>9,10</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	80	m

### Trecho U-AL

Vazão volumétrica	964,9	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>9,10</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	56	m

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	753968,7	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0213	

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	753968,7	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0213	

Acidentes	quantidade de	L/D
Curva 90° STD	10	300
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	1	8
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção	1	100
<b>Total</b>		<b>408,0</b>

Acidentes	quantidade de	L/D
Curva 90° STD	10	300
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta		0
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
<b>Total</b>		<b>300,0</b>

L total	159,02	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>73,99</b>	<b>mcl</b>
	7,25	kgf/cm2
		kgf/cm2/100
<b>DP 100</b>	<b>4,562</b>	<b>m</b>

L total	114,10	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>53,09</b>	<b>mcl</b>
	5,21	kgf/cm2
		kgf/cm2/100
<b>DP 100</b>	<b>4,562</b>	<b>m</b>

**CÁLCULO DE PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES**  
Escoamento de ar comprimido

	Dados de entrada	<b>CENTAC E</b>
	Cálculos	
	Resultados importantes	
	Consultar planilhas "TABELA DIÂMETROS"	

Dados do Sistema:

Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 9 bar  
 Tubulação de aço carbono 8"  
 Trecho com cerca de 130 m de extensão  
 Temperatura do ar: 30 °C  
 Viscosidade: 1,978 10<sup>-3</sup> cp  
 Densidade: 1,53 x 10<sup>-6</sup> kg/m<sup>3</sup>

**Trecho Q - R**

Vazão volumétrica	964,9	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>9,10</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	127	m

**Trecho R - AH**

Vazão volumétrica	964,9	m3/h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m2
<b>velocidade</b>	<b>9,10</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	70	m

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	753968,7	
rugosidade	0,25	
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0213	

densidade	8,13	kg/m3
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	753968,7	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0213	

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	20	600
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal	3	180
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	1	8
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção	2	200
<b>Total</b>		<b>988,0</b>

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	6	180
Curva 90° RL		0
Curva 45° STD		0
Curva 45° RL		0
Curva 180°		0
T ramal		0
T direto		0
entrada tubo		0
saída tubo		0
válvula gaveta	1	8
válvula esfera		0
válvula borboleta		0
válvula globo		0
válvula angular		0
válvula retenção		0
<b>Total</b>		<b>188,0</b>

L total	318,35	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>148,13</b>	<b>mcl</b>
	14,52	kgf/cm2

L total	106,41	m
<b>Perda de Carga</b>	<b>49,51</b>	<b>mcl</b>
	4,85	kgf/cm2

DP 100

4,562

kgf/cm<sup>2</sup>/100m

DP 100

4,562

kgf/cm<sup>2</sup>/100m

### CÁLCULO DE PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES

Escoamento de ar comprimido

RATEAU

	Dados de entrada
	Cálculos
	Resultados importantes
	Consultar planilhas "TABELA DIÂMETROS"

Dados do

Sistema:

Pressão in = 0,93 bar

Pressão out = 4,4 bar

Tubulação de aço carbono 8"

Trecho com cerca de 115 m de extensão

Temperatura do ar: 30 °C

Viscosidade: 1,978 10<sup>-3</sup> cpDensidade: 1,53 x 10<sup>-6</sup> kg/m<sup>3</sup>**Trecho AA- Z**

Vazão volumétrica	789,5	m <sup>3</sup> /h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m <sup>2</sup>
<b>velocidade</b>	<b>7,44</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	85	m

**Trecho Z - AC**

Vazão volumétrica	789,5	m <sup>3</sup> /h
Diâm. Int. tub.	193,675	mm
Área escoamento	0,0295	m <sup>2</sup>
<b>velocidade</b>	<b>7,44</b>	<b>m/s</b>
Comprimento tub.	30	m

densidade	8,13	kg/m <sup>3</sup>
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	616911,9	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0214	

densidade	8,13	kg/m <sup>3</sup>
viscosidade	0,019	cP
Reynolds	616911,9	
rugosidade	0,25	mm
rugosidade relativa	0,001	
fator de atrito	0,0214	

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	13	390
Curva 90° RL	0	0
Curva 45° STD	0	0
Curva 45° RL	0	0
Curva 180°	0	0
T ramal	0	0
T direto	0	0
entrada tubo	0	0
saída tubo	0	0
válvula gaveta	2	16
válvula esfera	0	0
válvula borboleta	0	0
válvula globo	0	0
válvula angular	0	0
válvula retenção	0	0

Acidentes	quantidade	L/D
Curva 90° STD	8	240
Curva 90° RL	0	0
Curva 45° STD	0	0
Curva 45° RL	0	0
Curva 180°	0	0
T ramal	0	0
T direto	0	0
entrada tubo	0	0
saída tubo	0	0
válvula gaveta	3	24
válvula esfera	0	0
válvula borboleta	0	0
válvula globo	0	0
válvula angular	0	0
válvula retenção	0	0

Total 406,0

Total 264,0

L total	163,63	m
Perda de Carga	51,17	mcl
	5,02	kgf/cm <sup>2</sup>
DP 100	3,066	kgf/cm <sup>2</sup> /100m

L total	81,13	m
Perda de Carga	25,37	mcl
	2,49	kgf/cm <sup>2</sup>
DP 100	3,066	kgf/cm <sup>2</sup> /100m

**Apêndice C-6a Dimensões de tubos de aço padronizados\* (padrões ASA B36.10-1975) (1 in = 25,4 mm; 1 in<sup>2</sup> = 645,16 mm<sup>2</sup>; 1 ft = 0,3048 m; 1 ft<sup>2</sup> = 0,0929 m<sup>2</sup>)**

Dimensão nominal do tubo, in	Diâmetro externo, in	Série n.º	Espessura da parede, in	Diâmetro interno, in	Área da seção reta do metal, in <sup>2</sup>	Área da seção reta interna, ft <sup>2</sup>	Circunferência, ft, ou área superficial, ft <sup>2</sup> /ft de comprimento	
							Externa	Interna
1/8	0,405	40	0,068	0,269	0,072	0,00040	0,106	0,0705
		80	0,095	0,215	0,093	0,00025	0,106	0,0563
1/4	0,540	40	0,088	0,364	0,125	0,00072	0,141	0,0954
		80	0,119	0,302	0,157	0,00050	0,141	0,0792
3/8	0,675	40	0,091	0,493	0,167	0,00133	0,177	0,1293
		80	0,126	0,423	0,217	0,00098	0,177	0,1110
1/2	0,840	40	0,109	0,622	0,250	0,00211	0,220	0,1630
		80	0,147	0,546	0,320	0,00163	0,220	0,1430
3/4	1,050	40	0,113	0,824	0,333	0,00371	0,275	0,2158
		80	0,154	0,742	0,433	0,00300	0,275	0,1942
1	1,315	40	0,133	1,049	0,494	0,00600	0,344	0,2505
		80	0,179	0,957	0,639	0,00499	0,344	0,2505
1 1/4	1,660	40	0,140	1,380	0,668	0,01040	0,435	0,362
		80	0,191	1,278	0,881	0,00891	0,435	0,335
1 1/2	1,900	40	0,145	1,610	0,799	0,01414	0,498	0,422
		80	0,200	1,500	1,068	0,01225	0,498	0,393
2	2,375	40	0,154	2,067	1,075	0,02330	0,622	0,542
		80	0,218	1,939	1,477	0,02050	0,622	0,508
2 1/2	2,875	40	0,203	2,469	1,704	0,03322	0,753	0,647
		80	0,276	2,323	2,254	0,02942	0,753	0,609
3	3,500	40	0,216	3,068	2,228	0,05130	0,917	0,804
		80	0,300	2,900	3,016	0,04587	0,917	0,760
3 1/2	4,000	40	0,226	3,548	2,680	0,06870	1,047	0,930
		80	0,318	3,364	3,678	0,06170	1,047	0,882
4	4,500	40	0,237	4,026	3,173	0,08840	1,178	1,055
		80	0,337	3,826	4,407	0,07988	1,178	1,002
5	5,563	40	0,258	5,047	4,304	0,1390	1,456	1,322
		80	0,375	4,813	6,112	0,1263	1,456	1,263
6	6,625	40	0,280	6,065	5,584	0,2006	1,734	1,590
		80	0,432	5,761	8,405	0,1810	1,734	1,510
8	8,625	40	0,322	7,981	8,398	0,3474	2,258	2,090
		80	0,500	7,625	12,76	0,3171	2,258	2,000
10	10,75	40	0,365	10,020	11,90	0,5475	2,814	2,620
		80	0,593	9,564	18,92	0,4989	2,814	2,503
12	12,75	40	0,406	11,938	15,77	0,7773	3,338	3,13
		80	0,687	11,376	26,03	0,7058	3,338	2,98

\*Estas dimensões foram retiradas da ANSI B36.10-1975, com autorização dos editores. Os números clássicos das séries, que exprimem as relações de tamanho, pressão interna e tensões, foram ampliados nesta publicação. Esta ampliação leva em conta a maior variedade de materiais, o melhor controle dos processos de fabricação e a desejabilidade de se economizarem os materiais usando um tubo que não é mais pesado que o necessário.

A listagem desta tabela abarca somente os tubos "normais" e os "extratores" e não deve levar o estudante a pensar, erroneamente, que não é preciso um bom julgamento de engenharia para selecionar o tubo apropriado às necessidades de um projeto.

Conforme se indica no Apêndice C-6b, não se pode prever o impacto sobre as tubulações clássicas da passagem para o dimensionamento em bases decimais.

**RUGOSIDADE UNIFORME EQUIVALENTE K (EM MM) PARA TUBOS  
(VER NOTA ABAIXO)**

**I. TUBO DE AÇO: JUNTAS SOLDADAS E INTERIOR CONTINUO**

1.1. Grandes incrustações ou tuberculizações	2,4 a 12,0
1.2. Tuberculização geral de 1 a 3 mm	0,9 a 2,4
1.3. Pintura à brocha, com asfalto, esmalte ou betume em camada espessa	0,6
1.4. Leve enferrujamento	0,25
1.5. Revestimento obtido por imersão em asfalto quente	0,1
1.6. Revestimento com argamassa de cimento obtida por centrifugação	0,1
1.7. Tubo novo previamente alisado internamente e posterior revestimento de esmalte, vinyl ou epoxi obtido por centrifugação	0,06

**II. TUBO DE CONCRETO**

2.1. Acabamento bastante rugoso; executado com formas de madeira muito rugosas; concreto pobre com desgastes por erosão; juntas mal alinhadas	2,0
2.2. Acabamento rugoso; marcas visíveis de formas	0,5
2.3. Superfície interna alisada a desempenadeira; juntas bem feitas	0,3
2.4. Superfície obtida por centrifugação	0,33
2.5. Tubo de superfície lisa, executado com formas metálicas, acabamento médio com juntas bem cuidadas	0,12
2.6. Tubo de superfície interna bastante lisa, executado com formas metálicas, acabamento esmerado, e juntas cuidadas	0,06

**III. TUBO DE CIMENTO AMIANTO**

0,1

**IV. TUBO DE FERRO FUNDIDO (NOVO)**

4.1. Revestimento interno com argamassa de cimento e areia obtida por centrifugação com ou sem proteção de tinta a base de betume	0,1
4.2. Não revestido	0,15 a 0,6
4.3. Leve enferrujamento	0,30

**V. TUBO DE PLÁSTICO**

0,06

**VI. TUBOS USADOS**

6.1. Com camada de lodo inferior a 5,0 mm	0,6 a 3,0
6.2. Com incrustações de lodo ou de gorduras inferiores a 25 mm	6,0 a 30,0
6.3. Com material sólido arenoso depositado de forma irregular	60,0 a 300

**NOTA:** — Valores mínimos a adotar com tubos novos (cf. item 5.8.1.9):

- Para adutoras medindo mais de 1.000 m de comprimento: 2,0 vezes o valor encontrado na tabela acima para o tubo e acabamento escolhidos.
- Para adutoras medindo menos de 1.000 m de comprimento: 1,4 vezes o valor encontrado na tabela para o tubo e acabamento escolhidos.

## APÊNDICE B – Custo energético

### CÁLCULO DO CUSTO DE ENERGIA Análise do compressor Rateau

- Dados de entrada
- Cálculos
- Resultados importantes
- Valor variando de 0,92 a 0,98
- Taxa

Dados do Sistema  
 Pressão in = 0,937 bar(a)  
 Pressão out = 6,9 bar(a)  
 Vazão = 9 (t/h)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

#### Trabalho Ideal

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>231,35</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Trabalho Ideal

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>231,35</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Processo Politrópico

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Temperatura out	318	K
n	1,0335	

#### Processo Politrópico

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Temperatura out	318	K
n	1,0335	

#### Trabalho real

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
<b>W</b>	<b>177,09</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Trabalho real

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
<b>W</b>	<b>177,09</b>	<b>kJ/Kg</b>

#### Rendimento termodinâmico

<b>ηth</b>	<b>0,765467778</b>	
------------	--------------------	--

#### Rendimento termodinâmico

<b>ηth</b>	<b>0,765467778</b>	
------------	--------------------	--

#### Potência Ideal

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>821,29</b>	<b>kW</b>

#### Potência

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>812,46</b>	<b>kW</b>

#### Potência real

Vazão	2,5	Kg/s
-------	-----	------

#### Potência real

Vazão	2,5	Kg/s
-------	-----	------

Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,92	
Wc	628,67	kW

Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,93	
Wc	621,91	kW

#### Cons. Energia

Wc	821,29	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0126274	kW/m³

#### Cons. Energia

Wc	812,46	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0124917	kW/m³

#### Despesa mensal

Wc	821,29	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 147.832,01	

#### Despesa mensal

Wc	812,46	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 146.242,42	

#### Trabalho Ideal

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
Wth	231,35	kJ/Kg

#### Trabalho Ideal

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
Wth	231,35	kJ/Kg

#### Processo Politrópico

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0335	

#### Processo Politrópico

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0335	

#### Trabalho real

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
W	177,09	kJ/Kg

#### Trabalho real

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
W	177,09	kJ/Kg

#### Rendimento termodinâmico

$\eta_{th}$	0,765467778	
-------------	-------------	--

#### Rendimento termodinâmico

$\eta_{th}$	0,765467778	
-------------	-------------	--

#### Potência

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,94	
Wc	803,81	kW

#### Potência

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,95	
Wc	795,35	kW

#### Potência real

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,94	
Wc	615,29	kW

#### Potência real

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,95	
Wc	608,82	kW

#### Cons. Energia

Wc	803,81	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0123588	kW/m³

#### Cons. Energia

Wc	795,35	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0122287	kW/m³

#### Despesa mensal

Wc	803,81	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 144.686,65	

#### Despesa mensal

Wc	795,35	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 143.163,63	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>231,35</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,919634409	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>231,35</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0335	

**Processo Politrópico**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0335	

**Trabalho real**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
<b>W</b>	<b>177,09</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,919634409	m³/Kg
n	1,033	
<b>W</b>	<b>177,09</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,765467778</b>	
------------	--------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,765467778</b>	
------------	--------------------	--

**Potência**

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>787,07</b>	<b>kW</b>

**Potência**

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>778,95</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>602,48</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>596,26</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	787,07	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0121013</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	778,95	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0119765</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	787,07	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 141.672,34</b>	

**Despesa mensal**

Wc	778,95	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 140.211,80</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,919634409	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>231,35</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0335	

### Trabalho real

Pressão in	93	kPa
Pressão out	690	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,919634409	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,033	
<b>W</b>	<b>177,09</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b>nth</b>	<b>0,765467778</b>	
------------	--------------------	--

### Potência

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	231,351	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>771,01</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	2,5	Kg/s
Trabalho Ideal	177,091	KJ/Kg
Ren. Term.	0,765	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>590,18</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

Wc	771,01	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0118543</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

### Despesa mensal

Wc	771,01	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 138.781,07</b>	

**CALCULO DO CUSTO DE ENERGIA**  
Análise do compressor Centac F

- Dados de entrada
- Cálculos
- Resultados importantes
- Valor variando de 0,92 a 0,98
- Taxa

Dados do Sist Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 7,77 bar  
 Vazão= 8 (t/h)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>806,72</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>798,05</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

**Potência real**

Vazão	2,2	Kg/s	Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg	Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751		Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92		Ren. Mec.	0,93	
Wc	605,51	kW	Wc	599,00	kW

<b>Cons. Energia</b>		
Wc	605,51	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0093098	kW/m³

<b>Cons. Energia</b>		
Wc	599,00	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0092097	kW/m³

<b>Despesa mensal</b>		
Wc	605,51	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 108.991,83	

<b>Despesa mensal</b>		
Wc	599,00	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 107.819,87	

<b>Trabalho Ideal</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
Wth	250,68	kJ/Kg

<b>Trabalho Ideal</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
Wth	250,68	kJ/Kg

<b>Processo Politrópico</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

<b>Processo Politrópico</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

<b>Trabalho real</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
W	188,16	kJ/Kg

<b>Trabalho real</b>		
Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
W	188,16	kJ/Kg

<b>Rendimento termodinâmico</b>	
ηth	0,75058133

<b>Rendimento termodinâmico</b>	
ηth	0,75058133

<b>Potência Ideal</b>		
Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
Wc	789,56	kW

<b>Potência Ideal</b>		
Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
Wc	781,25	kW

<b>Potência real</b>		
Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
Wc	592,63	kW

<b>Potência real</b>		
Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
Wc	586,39	kW

<b>Cons. Energia</b>		
Wc	592,63	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0091117	kW/m³

<b>Cons. Energia</b>		
Wc	586,39	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0090158	kW/m³

<b>Despesa mensal</b>		
Wc	592,63	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 106.672,85	

<b>Despesa mensal</b>		
Wc	586,39	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gasto	R\$ 105.549,98	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>773,11</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>765,14</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>580,28</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>574,30</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	580,28	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0089219</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	574,30	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0088299</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	580,28	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 104.450,50</b>	

**Despesa mensal**

Wc	574,30	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 103.373,69</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

### Trabalho real

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b><math>\eta_{th}</math></b>	<b>0,75058133</b>	
-------------------------------	-------------------	--

### Potência Ideal

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>757,33</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	2,2	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>568,44</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

Wc	568,44	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0087398</b>	<b>kW/m³</b>

### Despesa mensal

Wc	568,44	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 102.318,86</b>	

**CALCULO DO CUSTO DE ENERGIA**  
Análise do compressor Centac G

Dados de entrada
Cálculos
Resultados importantes
Valor variando de 0,92 a 0,98
Taxa

Dados do Siste  
Pressão in = 0,924 bar  
Pressão out = 7,77 bar  
Vazão = 8 (t/h)  
Temperatura in = 298 K  
Temperatura out = 318 K  
Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
Volume esp. in = 0,91 m³/kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>1411,76</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>1396,58</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>1059,64</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>1048,25</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1411,76	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0217061</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1396,58	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0214727</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1411,76	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 254.117,29</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1396,58	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 251.384,85</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>1381,73</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>1367,18</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>1037,10</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>1026,18</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1381,73	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0212442</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1367,18	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0210206</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1381,73	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 248.710,54</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1367,18	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 246.092,54</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0316	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0316	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>1352,94</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>1338,99</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>1015,49</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>1005,02</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1352,94	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0208016</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1338,99	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0205872</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1352,94	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 243.529,07</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1338,99	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 241.018,46</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

### Trabalho real

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b><math>\eta_{th}</math></b>	<b>0,75058133</b>	
-------------------------------	-------------------	--

### Potência Ideal

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>1325,33</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	3,9	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>994,77</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

Wc	1325,33	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0203771</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

### Despesa mensal

Wc	1325,33	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 238.559,09</b>	

**CALCULO DO CUSTO DE ENERGIA**  
Análise do compressor Centac E

- Dados de entrada
- Cálculos
- Resultados importantes
- Valor variando de 0,92 a 0,98
- Taxa

Dados do Sist Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 7,77 bar  
 Vazão= 8 (t/h)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>1210,08</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>1197,07</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>908,27</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>898,50</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1210,08	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0186052</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1197,07	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0184051</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1210,08	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 217.814,82</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1197,07	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 215.472,73</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>1184,34</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>1171,87</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>888,94</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>879,58</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1184,34	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0182093</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1171,87	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0180177</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1184,34	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 213.180,46</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1171,87	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 210.936,46</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>1159,66</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>1147,71</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>870,42</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	kJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>861,45</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1159,66	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0178300</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1147,71	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0176462</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1159,66	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 208.739,20</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1147,71	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 206.587,25</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

### Trabalho real

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

### Potência Ideal

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>1136,00</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>852,66</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

Wc	1136,00	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0174661</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

### Despesa mensal

Wc	1136,00	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 204.479,22</b>	

**CALCULO DO CUSTO DE ENERGIA**  
**Análise do compressor Centac H**

- Dados de entrada
- Cálculos
- Resultados importantes
- Valor variando de 0,92 a 0,98
- Taxa

Dados do Sist  
 Pressão in = 0,924 bar  
 Pressão out = 7,77 bar  
 Vazão= 8 (t/h)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>1210,08</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>1197,07</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,92	
<b>Wc</b>	<b>908,27</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,93	
<b>Wc</b>	<b>898,50</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1210,08	kW
vazão	12,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0124035</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1197,07	kW
vazão	8,000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0184051</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1210,08	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 217.814,82</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1197,07	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 215.472,73</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m³/Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>1184,34</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>1171,87</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>888,94</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>879,58</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1184,34	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0182093</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	1171,87	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0180177</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	1184,34	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 213.180,46</b>	

**Despesa mensal**

Wc	1171,87	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 210.936,46</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Processo Politrópico**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>1159,66</b>	<b>kW</b>

**Potência Ideal**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>1147,71</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>870,42</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>861,45</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	1159,66	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0178300</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

**Cons. Energia**

Wc	1147,71	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0176462</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

**Despesa mensal**

Wc	1159,66	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 208.739,20</b>	

**Despesa mens al**

Wc	1147,71	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 206.587,25</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>250,68</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0315	

### Trabalho real

Pressão in	92,4	kPa
Pressão out	777	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,925606061	m <sup>3</sup> /Kg
n	1,031	
<b>W</b>	<b>188,16</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b>nth</b>	<b>0,75058133</b>	
------------	-------------------	--

### Potência Ideal

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	250,681	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>1136,00</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	3,3	Kg/s
Trabalho Ideal	188,157	KJ/Kg
Ren. Term.	0,751	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>852,66</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

Wc	1136,00	kW
vazão	8.000	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m <sup>3</sup> /Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0174661</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>

### Despesa mensal

Wc	1136,00	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 204.479,22</b>	

**CALCULO DO CUSTO DE ENERGIA**  
Análise do compressor Atlas

Dados de entrada
Cálculos
Resultados importantes
Valor variando de 0,92 a 0,98
Taxa

Dados do Sistema: Pressão in = 0,937 bar  
 Pressão out = 7,4 bar  
 Vazão = 3,5 (t/h)  
 Temperatura in = 298 K  
 Temperatura out = 318 K  
 Rendimento mecânico variando entre 0,92 e 0,98  
 Volume específico do ar = 8,13 m³/kg  
 Volume esp. in = 0,91 m³/kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
Wth	240,91	kJ/Kg

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
Wth	240,91	kJ/Kg

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Temperatura out	318	K
n	1,0325	

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Temperatura out	318	K
n	1,0325	

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
W	182,61	kJ/Kg

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	K
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
W	182,61	kJ/Kg

**Rendimento termodinâmico**

ηth	0,758015863	
-----	-------------	--

**Rendimento termodinâmico**

ηth	0,758015863	
-----	-------------	--

**Potência Ideal**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,92	
Wc	335,85	kW

**Potência**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,93	
Wc	332,24	kW

**Potência real**

**Potência real**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,92	
Wc	254,58	kW

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,93	
Wc	251,27	kW

**Cons. Energia**

Wc	335,85	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0118029	kW/m³

**Cons. Energia**

Wc	332,24	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
Wc	0,0116760	kW/m³

**Despesa mensal**

Wc	335,85	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gas to	R\$ 60.453,29	

**Despesa mensal**

Wc	332,24	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
Gas to	R\$ 59.803,25	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>240,91</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>240,91</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0325	

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0325	

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
<b>W</b>	<b>182,61</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
<b>W</b>	<b>182,61</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,758015863</b>	
------------	--------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>nth</b>	<b>0,758015863</b>	
------------	--------------------	--

**Potência**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>328,71</b>	<b>kW</b>

**Potência**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>325,25</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,94	
<b>Wc</b>	<b>248,59</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,95	
<b>Wc</b>	<b>245,98</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	328,71	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0115518</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	325,25	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0114302</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	328,71	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 59.167,05</b>	

**Despesa mensal**

Wc	325,25	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 58.544,23</b>	

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>240,91</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho Ideal**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>240,91</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0325	

**Processo Politrópico**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0325	

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
<b>W</b>	<b>182,61</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Trabalho real**

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
<b>W</b>	<b>182,61</b>	<b>kJ/Kg</b>

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,758015863</b>	
------------	--------------------	--

**Rendimento termodinâmico**

<b>ηth</b>	<b>0,758015863</b>	
------------	--------------------	--

**Potência**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>321,86</b>	<b>kW</b>

**Potência**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>318,54</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,96	
<b>Wc</b>	<b>243,42</b>	<b>kW</b>

**Potência real**

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,97	
<b>Wc</b>	<b>240,91</b>	<b>kW</b>

**Cons. Energia**

Wc	321,86	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0113111</b>	<b>kW/m³</b>

**Cons. Energia**

Wc	318,54	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0111945</b>	<b>kW/m³</b>

**Despesa mensal**

Wc	321,86	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 57.934,40</b>	

**Despesa mensal**

Wc	318,54	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 57.337,14</b>	

### Trabalho Ideal

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. In	0,912764141	m³/Kg
n	1,4	
<b>Wth</b>	<b>240,91</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Processo Politrópico

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Temperatura out	318	k
n	1,0325	

### Trabalho real

Pressão in	93,7	kPa
Pressão out	740	kPa
Temperatura in	298	k
Volume esp. in	0,912764141	m³/Kg
n	1,032	
<b>W</b>	<b>182,61</b>	<b>kJ/Kg</b>

### Rendimento termodinâmico

<b><math>\eta_{th}</math></b>	<b>0,758015863</b>	
-------------------------------	--------------------	--

### Potência

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	240,906	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>315,29</b>	<b>kW</b>

### Potência real

Vazão	0,97	Kg/s
Trabalho Ideal	182,611	KJ/Kg
Ren. Term.	0,758	
Ren. Mec.	0,98	
<b>Wc</b>	<b>238,45</b>	<b>kW</b>

### Cons. Energia

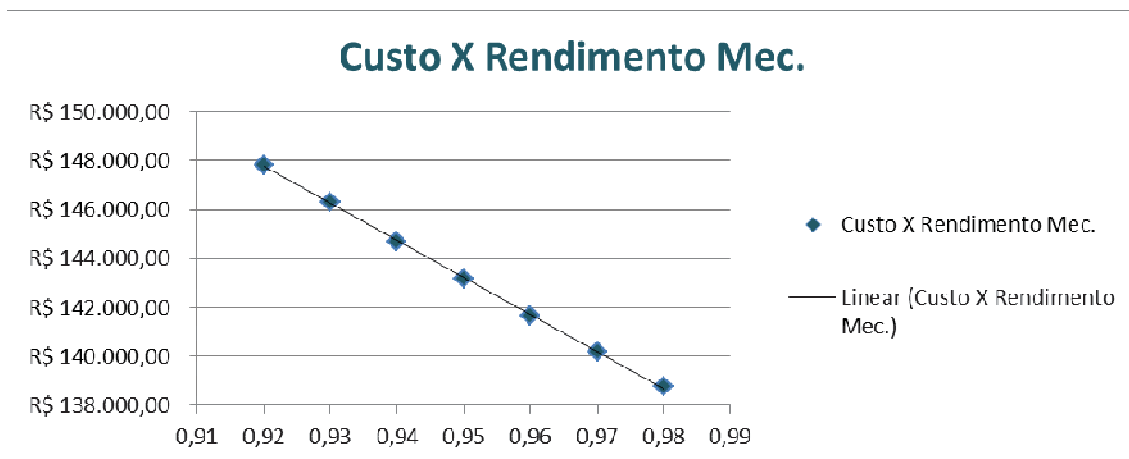
Wc	315,29	kW
vazão	3.500	Kg/h
Vol. Esp.	8,13	m³/Kg
<b>Wc</b>	<b>0,0110803</b>	<b>kW/m³</b>

### Despesa mensal

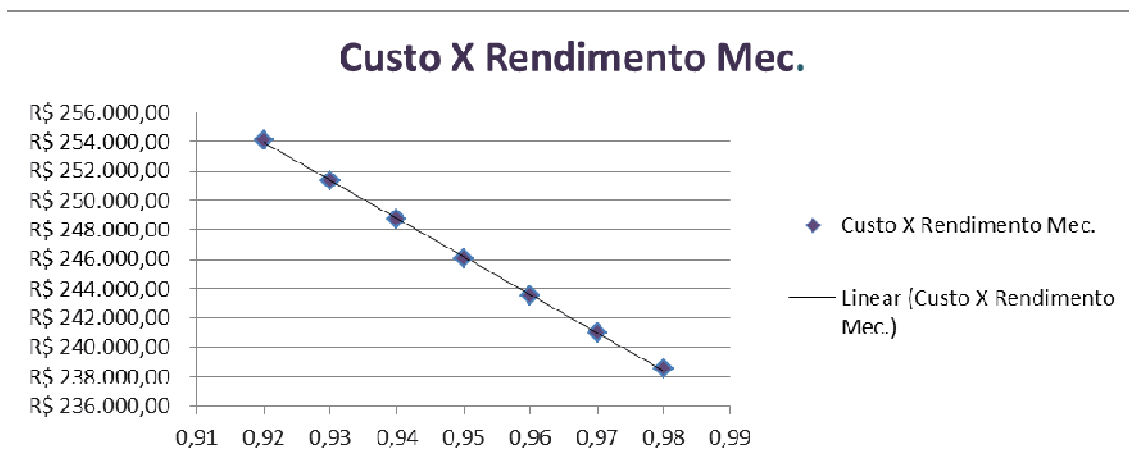
Wc	315,29	kW
Horas de trabalho/dia	24	
Dias de trabalho /mês	30	
Taxa	250,00	R\$/MWh
<b>Gasto</b>	<b>R\$ 56.752,06</b>	

## APÊNDICE C – Gráficos

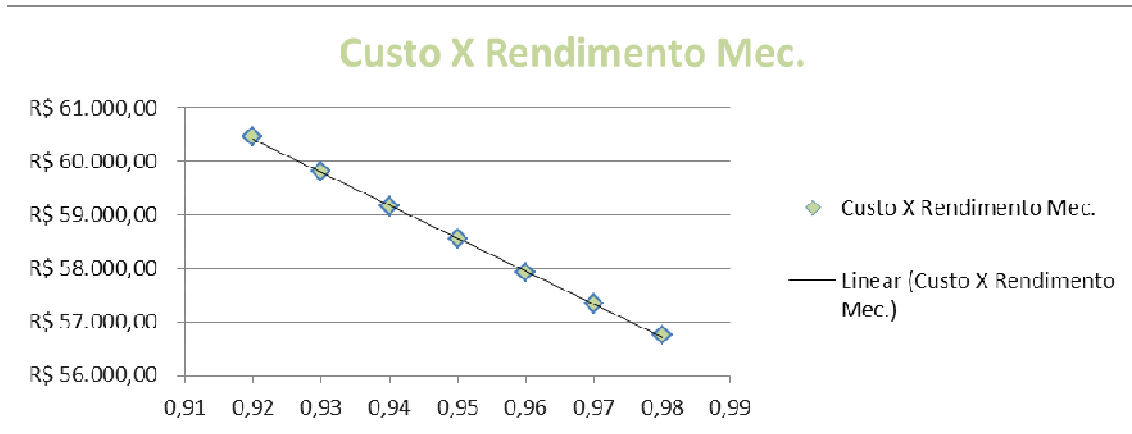
### Rateau



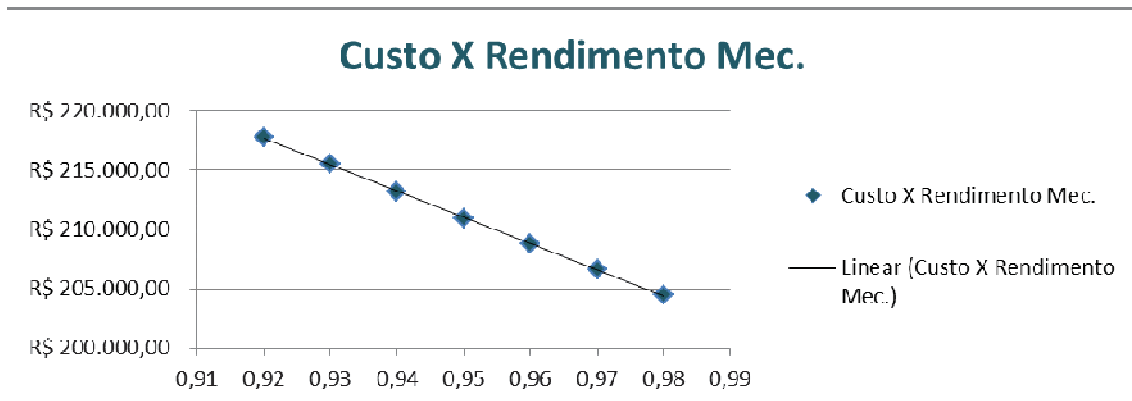
### Centac G



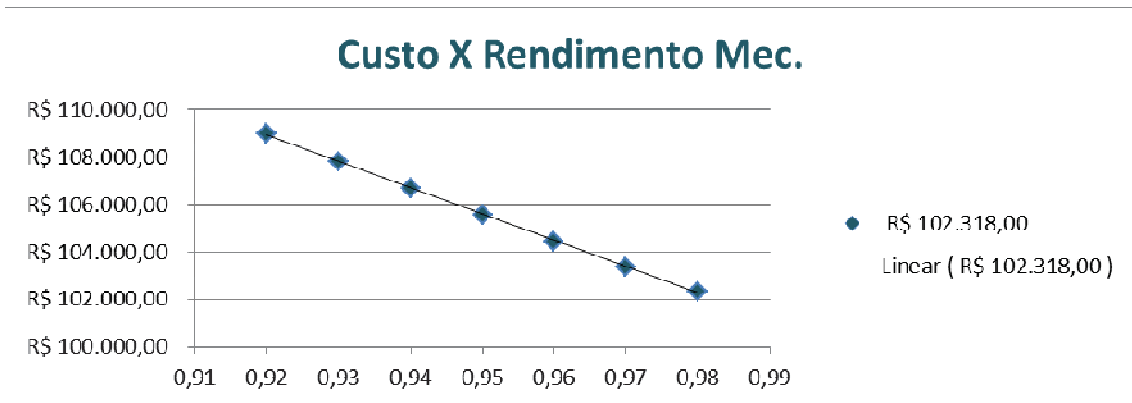
## Atlas



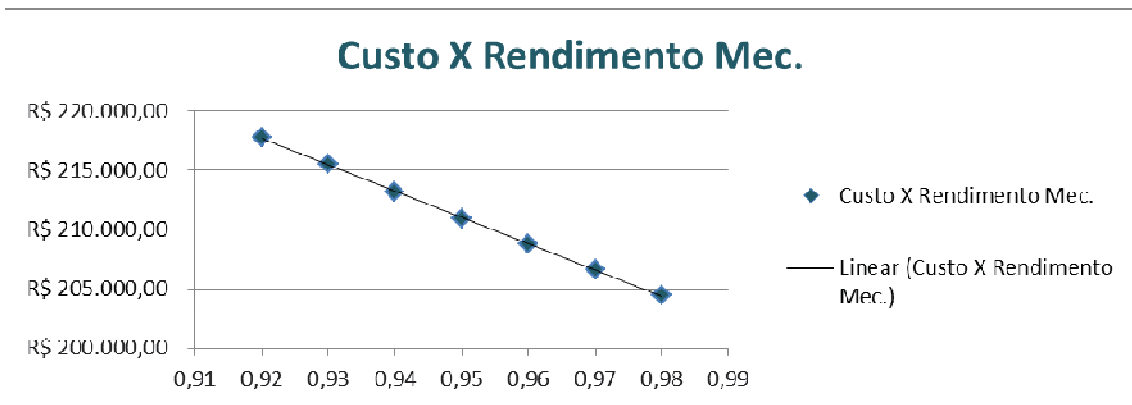
## Centac E



### Centac F



### Centac H



## APÊNDICE D – Ábaco

### CÁLCULO pressão entrada do coletor

#### Análise do compressor Rateau

Dados de entrada
Curva P x Q
Resultados importantes
Abaco
Calculado
Calculado na planilha de perda de carga

Pressão out	7,9	bar
Vazão	9	t/h
Diâmetro	8"	
Temperatura média	150	°C
Viscosidade	0,024	cP
Abaco	2,5	bar/Km por $\rho = 1$
$\rho$	6,507359906	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta p$	0,38418038	bar/Km
	0,00038418	bar/m
perda de carga eq.	245	m
$\Delta$ pressão	0,094124193	
Pressão entrada do coletor	7,805875807	bar
Distância	115	m
perda	0,081847124	bar/100m

### CÁLCULO pressão entrada do coletor

#### Análise do compressor Centac FH

Dados de entrada
Curva P x Q
Resultados importantes
Abaco
Calculado
Calculado na planilha de perda de carga

Pressão out	9,77	bar
Vazão	12,2	t/h
Diâmetro	8"	
Temperatura média	150	°C
Viscosidade	0,024	cP
Abaco	4	bar/Km por $\rho = 1$
$\rho$	8,047709656	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta p$	0,497035824	bar/Km
	0,000497036	bar/m
perda de carga eq.	360	m
$\Delta$ pressão	0,178932897	
Pressão entrada do coletor	9,591067103	bar
Distância	177	m
perda	0,101092032	bar/100m

**CÁLCULO pressão entrada do coletor**  
**Análise do compressor Centac G**

■	Dados de entrada
■	Curva PxQ
■	Resultados importantes
■	Abaco
■	Calculado
■	Calculado na planilha de perda de carga

Pressão out	8,77	bar
Vazão	12,6	t/h
Diâmetro	8"	
Temperatura media	150	°C
Viscosidade	0,024	cP
Abaco	6	bar/Km por $\rho = 1$
$\rho$	7,223993213	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta p$	0,830565564	bar/Km
	0,000830566	bar/m
perda de carga eq.	374	m
$\Delta$ pressão	0,310631521	
Pressão entrada do coletor	8,459368479	bar
Distância	160	m
perda	0,194144701	bar/100m

**CÁLCULO pressão entrada do coletor**  
**Análise do compressor Centac E**

■	Dados de entrada
■	Curva PxQ
■	Resultados importantes
■	Abaco
■	Calculado
■	Calculado na planilha de perda de carga

Pressão out	7,77	bar
Vazão	12,6	t/h
Diâmetro	8"	
Temperatura media	150	°C
Viscosidade	0,024	cP
Abaco	6	bar/Km por $\rho = 1$
$\rho$	6,400276769	kg/m <sup>3</sup>
$\Delta p$	0,937459459	bar/Km
	0,000937459	bar/m
perda de carga eq.	425	m
$\Delta$ pressão	0,39842027	
Pressão entrada do coletor	7,37157973	bar
Distância	197	m
perda	0,202243792	bar/100m