

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

**APROVEITAMENTO DE ENERGIA DISPONIVEL NO ÓLEO
DOS COMPRESSORES DE AR COMPRIMIDO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Douglas Grando

Camargo, RS, Brasil

2014

APROVEITAMENTO DE ENERGIA DISPONIVEL NO ÓLEO DOS COMPRESSORES DE AR COMPRIMIDO

Douglas Grando

Projeto de TCC apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos da Universidade Federal de Santa Maria como requisito parcial para a obtenção do grau de **Especialista.**

Orientador: Prof. Ronaldo Hoffmann

Camargo, RS, Brasil

2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso**

**APROVEITAMENTO DE ENERGIA DISPONIVEL NO ÓLEO
DOS COMPRESSORES DE AR COMPRIMIDO E NA
DESCARGA DE AMÔNIA.**

elaborado por
Douglas Grandó

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ronaldo Hoffmann, Dr.
(Orientador)

Carlos Roberto Cauduro, Dr.
(CO - Orientador)

Isis Portolan dos Santos, Dr.
(Examinador)

Natanael Rodrigues Gomes, Dr.
(Examinador)

Michel Brondani, Prof.
(Examinador Suplente)

Camargo, 06 de dezembro de 2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por iluminar e abençoar o meu caminho me dando força para atingir os meus objetivos, sendo este trabalho mais um deles.

A minha esposa Marta Tessaro, pela compreensão e apoio em todos os momentos, pelo incentivo e por estar ao meu lado todos os dias, por ser este exemplo, uma pessoa de boa índole e um ótimo caráter e muito batalhadora, juntos somamos meu amor em busca de nossos sonhos.

Ao meu afilhado Augusto, pela troca de ensinamentos diários e pela compreensão.

Aos meus pais Edmar J. Grando e Renita De Costa Grando, por todo o apoio, dedicação e comprometimento, obrigado pelo exemplo de vida, obrigado pelos conselhos e por serem este porto seguro, a base de toda a nossa família.

Ao meu irmão Marcos Antônio Grando, pelo carinho, compreensão, pela ajuda, por ser esta pessoa fantástica.

Ao meu amigo Gessen Teixeira pela ajuda e esclarecimento de algumas dúvidas relacionadas ao trabalho.

A todos os professores do curso de Eficiência Energética, todos foram muito importantes e contribuíram no meu desenvolvimento profissional e pessoal e no desenvolvimento deste projeto.

A todos que de alguma forma me ajudaram, muito obrigado!

RESUMO

Em um frigorífico de abate de aves, a utilização de água quente durante o processo produtivo é de extrema importância, sendo que de modo em geral o aquecimento desta água é realizado por geradores de vapor (caldeiras). A planta que está sendo analisada utiliza como fonte de calor a biomassa, ou seja, lenha de eucalipto.

Este trabalho teve o objetivo de estudar o aproveitamento e conservação da energia disponível no óleo dos compressores de ar comprimido. Atualmente, os compressores possuem um sistema de refrigeração através de um radiador, onde o óleo faz a troca térmica com o ar, este calor é lançado para a atmosfera. O projeto visa à recuperação deste calor através de trocadores de calor óleo/água. Assim a água será responsável pelo resfriamento do óleo dos compressores e conseqüentemente o aquecimento desta água que será destinada para o processo produtivo. Com isto tem-se uma economia de vapor e biomassa contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: redução dos custos de produção, vapor e biomassa (lenha).

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 Esquema da refrigeração do óleo dos compressores.....	13
Figura 02 Esquema de instalação do trocador.....	14
Figura 03 Fluxograma de produção de um frigorífico de aves.....	16
Figura 04 Desenho da caldeira Hbremer.....	20
Figura 05 Trocador de Calor de Placas.....	24
Figura 06 Componentes do Energy Recovery.....	26
Figura 07 Esboço de um trocador de placas.....	28
Figura 08 Sazonalidade dos consumos.....	30
Figura 09 Layout da sala de geração de ar comprimido.....	33
Figura 10 Posicionamento e interligações dos compressores.....	34
Figura 11 Localização dos tanques termo acumuladores.....	34
Figura 12 Tanques termo acumuladores.....	35
Figura 13 Sistema de bombeamento.....	35
Figura 14 Sistema de controle de nível e hidrômetro.....	36
Figura 15 Sala de geração de ar comprimido.....	37
Figura 16 Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 45.....	37
Figura 17 Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 37 +FF.....	37
Figura 18 Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 37 VSD.....	38
Figura 19 Indicadores de temperatura d' água.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 Distribuição de vapor nos setores.....	19
Tabela 02 Especificação da Caldeira.....	20
Tabela 03 Especificações técnicas.....	27
Tabela 04 Avaliação dos Compressores Instalados.....	27
Tabela 05 Energia disponível no sistema.....	28
Tabela 06 Análise do consumo de vapor durante o ano de 2013.....	29
Tabela 07 Valor para a implantação do projeto.....	31

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação(4.02).....	29
Equação(5.01).....	31
Equação(5.02).....	31
Equação(5.03).....	31

LISTA DE SIGLAS

ETA: Estação de Tratamento de Água

ETE: Estação de Tratamento de Efluente

IF: Inspeção Federal

GVA: Geração e Distribuição de Vapor

GFA: Geração e Distribuição de Frio

GAC: Geração de Ar Comprimido

VSD: Acionamento por Velocidade Variável (inversor de frequência)

VPL: Valor Presente Líquido

FVP: Fator de Valor Presente

SW: SolidWorks

ER: Energy Recovery (Recuperador de Energia)

TA: Termo Acumuladores

PP: Polipropileno

CN: Controle de Nível

TPA: Tonelada de Produto Acabado

Pot: Potência

PMTA: Pressão Máxima de Trabalho

LISTA DE SÍMBOLOS

Q : carga térmica (kcal/h);

c : calor específico da água (kcal/kg.°C);

m : massa (kg);

Δt : Variação de temperatura (°C);

h: hora;

Q_{ar} : Vazão de ar (m³/h);

P: Potência (CV);

n: Rotações por minuto (rpm);

on/off: válvula ligada/aberta ou desliga/fechada

C_l : Calor latente do vapor;

kcal/h: quilocalorias por hora ;

°C: graus Celsius;

°F: graus Fahrenheit

R\$: real;

%: porcentagem;

m³: metros cúbicos;

m³/h : metros cúbicos por hora;

mm: milímetro;

bar: unidade de pressão equivale a exatamente 100 000Pa (10⁵ Pa);

n: número de anos;

i: taxa de juros.

Conteúdo	
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Tema da Pesquisa	13
1.2 Delimitação do tema	13
1.3 Apresentação da Proposta	13
1.4 Objetivos	14
1.4.1 Objetivo geral	14
1.4.2 Objetivos específicos	14
1.5 Justificativa	14
2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	16
2.1 Frigoríficos de Abate de Aves	17
2.1.1 Recepção de aves	17
2.1.2 Escaldagem e depenagem	17
2.1.3 Evisceração	18
2.1.4 Chiller	18
2.1.5 Salas de Cortes	18
2.1.6 Embalagem e Estocagem	19
2.2 Setores de Utilidades	19
2.2.1 Energia Elétrica	19
2.2.2 Geração e Distribuição de Vapor (GVA)	19
2.2.3 Geração e Distribuição de Frio (GFA)	21
2.2.4 Geração de Ar Comprimido (GAC)	21
2.2.5 Fornecimento de Água	22
2.2.6 Estação de Tratamento de Água (ETA)	22
2.2.7 Estação de Tratamento de Efluente (ETE)	22
3 REVISÃO DA LITERATURA	23
3.1 Transferências de calor	23
3.2 Tocadores de calor	23

3.3 Classificações dos trocadores de calor	23
3.4 Trocadores de calor tipo placa	24
4 METODOLOGIA	25
4.1 Sistema de Reaproveitamento de Energia Disponível no Óleo dos Compressores de Ar Comprimido.	25
4.2 Planejamento do trabalho.....	25
4.2.1 Recuperação e aproveitamento de energia térmica	25
4.3 Estudo da Carga Térmica Disponível	27
4.3.1 Estudo do Calor Disponível no Óleo dos Compressores	27
4.3.2 Equipamentos Instalados na Planta	27
4.3.3 Quantidade de Energia Disponível	28
4.3.4 Cálculo da Redução do Consumo de Vapor	29
4.3.5 Cálculo da Economia Financeira Gerada	29
4.3.6 Orçamentação dos Equipamentos.....	30
5 ANÁLISE FINANCEIRA.....	31
5.1 Avaliação realizada através do VPL (Valor Presente Líquido)	31
6 EXECUÇÃO DO PROJETO.....	33
6.1 Definição do Layout	33
6.2 Processos de instalação	34
6.3 Armazenamento d' Água Quente.	34
6.4 Distribuição d' Água Quente.....	35
6.5 Controles de Nível (CN).	36
6.6 Posicionamentos dos equipamentos.	37
6.7 Temperaturas obtidas com o Projeto.	38
7 CONCLUSÃO	39
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1INTRODUÇÃO

1.1 Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Aproveitamento de energia térmica disponível no óleo dos compressores de ar comprimido.

1.2 Delimitação do tema

O trabalho visa à utilização da energia térmica disponível no óleo dos compressores de ar comprimido, através de um trocador de calor de forma que ocorra o aquecimento d` água a ser utilizada nos processos que demandam água quente, assim economizando energia térmica (vapor), consequentemente reduzindo o consumo de biomassa.

1.3 Apresentação da Proposta

Atualmente a refrigeração do óleo dos compressores é realizada através de um sistema fechado ar óleo, utilizando o ar como refrigerante, com isso o calor rejeitado é lançado para o ambiente conforme esquema abaixo na figura 01.

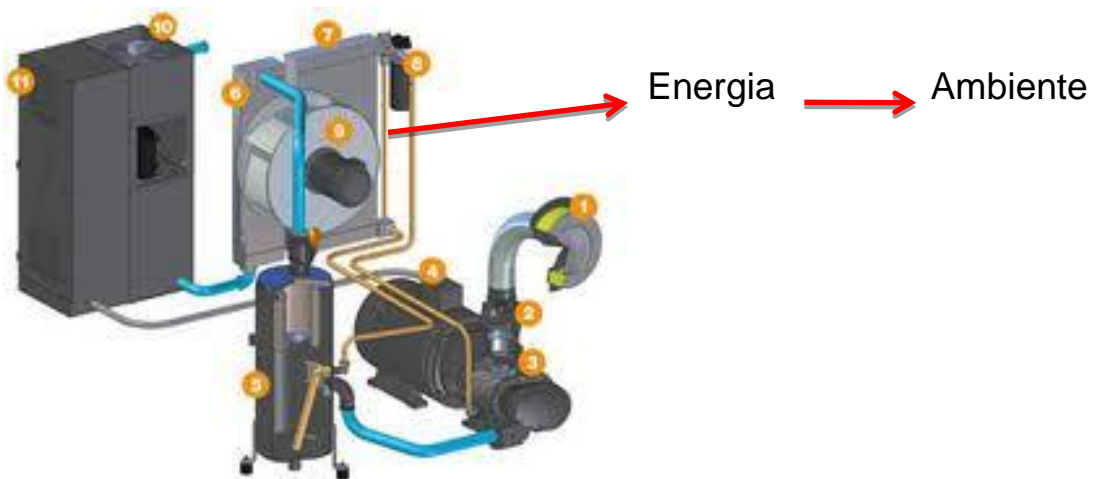


Figura 01: Esquema da refrigeração do óleo dos compressores (Óleo/Ar).

Fonte: Manual do fabricante (Atlas Copco).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Evidenciar a possibilidade de ganho em recuperação de energias que são descartadas para o meio ambiente (descarte de resíduos, resfriamento de componentes,...) em um processo industrial.

1.4.2 Objetivos específicos

Aproveitar a energia térmica proveniente do óleo dos compressores de ar comprimido, com isso preservando o meio ambiente. O objetivo é Instalar trocadores de calor óleo/água para refrigeração do óleo dos compressores, assim aproveitando a energia disponível, através de uma troca térmica entre o óleo e a água, sendo que a água será direcionada para tanques acumuladores (isolados), com isso teremos uma redução no consumo de biomassa da unidade. Na figura 02 podemos observar o esquema de instalação e suas aplicações.

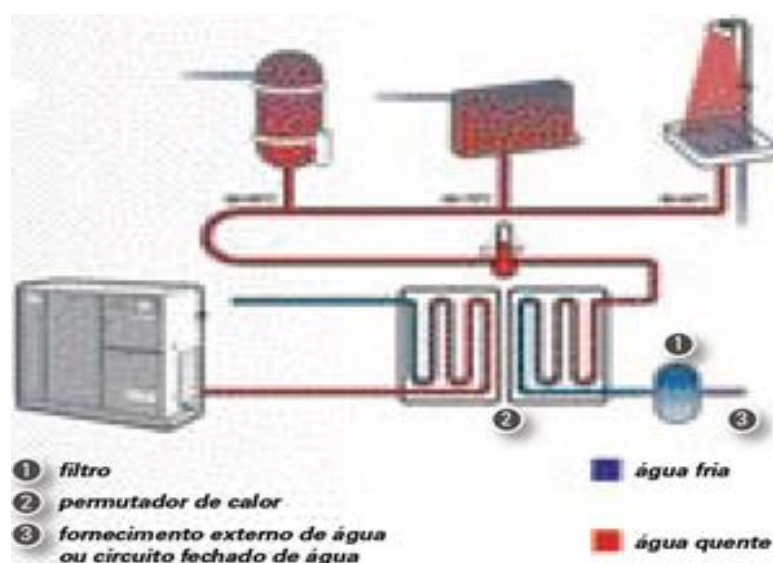


Figura 02: Esquema de instalação do trocador.

Fonte: Manual do fabricante (Atlas Copco).

1.5 Justificativa

No Brasil, bem como no resto do mundo, o uso da biomassa para geração de energia surgiu nos primórdios da humanidade, através do uso da madeira para cocção e aquecimento. Na área da energia, a madeira é conhecida como lenha e ou carvão vegetal. Atualmente ela tem ampla utilização no Brasil e corresponde a 13% do consumo final de energia.

Dada a necessidade pela diversificação da matriz energética, apreciar a madeira como vetor energético é de fundamental importância para o sucesso econômico do país. Desmistificar o seu uso e tirá-la da marginalidade é medida fundamental no planejamento energético nacional, promovendo políticas públicas que tornem o setor economicamente satisfatório, investindo em pesquisa e ações governamentais no que diz respeito à produção, geração, distribuição, transporte e uso final desta energia.

Por se tratar de uma fonte renovável de energia, diminui as incertezas de fornecimento a que estão submetidas às fontes fósseis. Importante destacar que apesar de ser uma fonte renovável de energia, ela apresenta índices de emissão de gases que provocam o efeito estufa. Além disso, as áreas de plantio da madeira devem obedecer aos ciclos da natureza, evitando assim impactos ambientais relacionados.

No que diz respeito aos impactos ambientais relacionados ao uso da madeira destacam-se: o manejo eficiente das áreas de plantio evitando a degradação da qualidade da terra, a preservação do solo e seus componentes para evitar a erosão, técnicas modernas de redução da emissão de gases que provocam o efeito estufa (transformação de lenha em carvão vegetal) e etc.

2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Para um melhor entendimento na figura 03 podemos visualizar o fluxograma de produção de um frigorífico de abate de aves, após será explicado todas as etapas do processo.

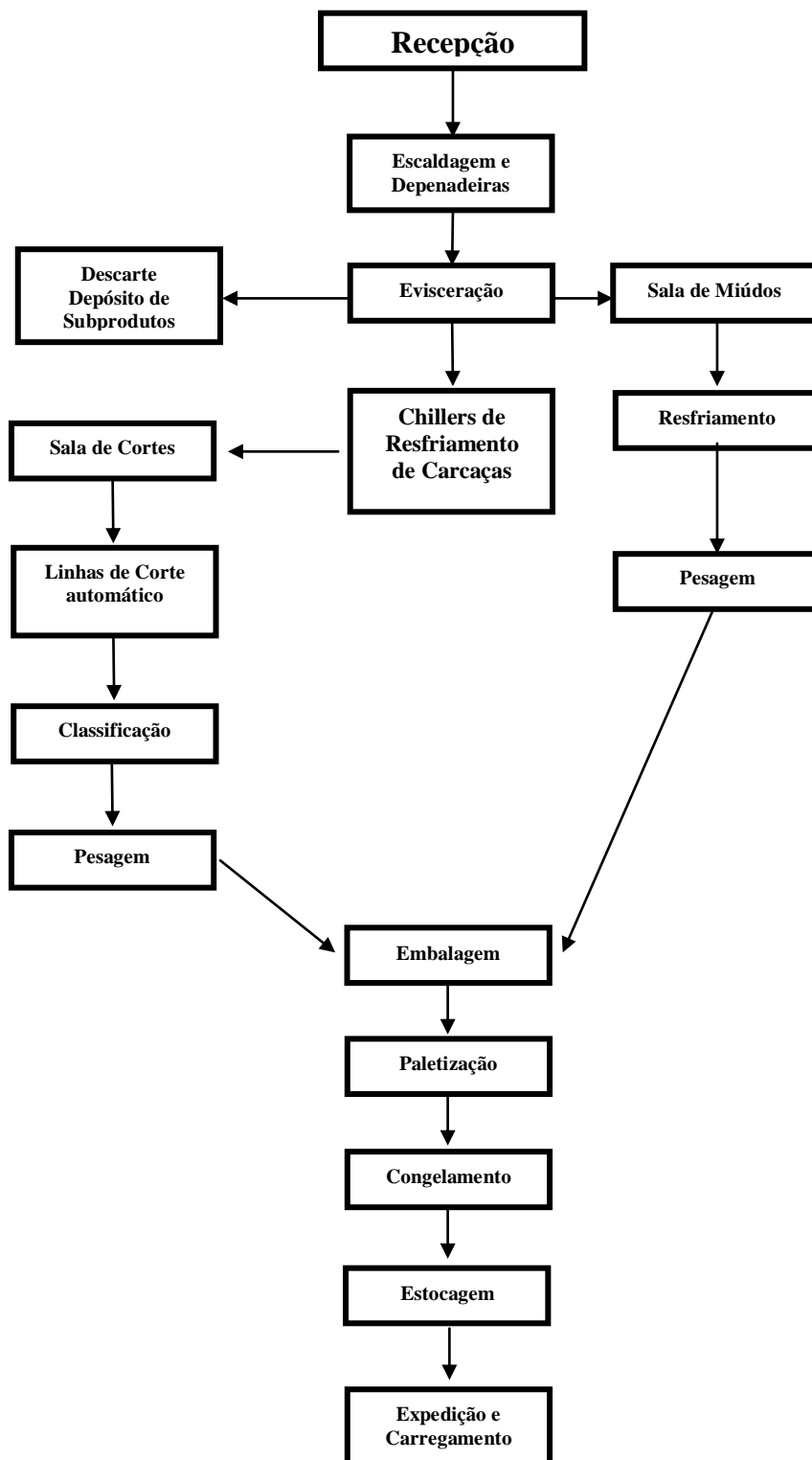


Figura 03: Fluxograma de produção de um frigorífico de aves.

2.1 Frigoríficos de Abate de Aves

O processo industrial inicia-se pela recepção de aves vivas e segue pelos setores num fluxo contínuo.

2.1.1 Recepção de aves

É aonde chega à matéria prima, transportada em caminhões adequados, com gaiolas plásticas para melhor movimentação e manuseio das aves.

As gaiolas são descarregadas dos caminhões manualmente por dois funcionários, e transportadas por esteira, até a estação de pendura, o frango é retirado das gaiolas manualmente e pendurado pelos pés em um transportador aéreo denominado chamado de nórea. Logo em seguida as gaiolas são lavadas e recarregadas nos caminhões onde os mesmos deslocam-se para o campo para recarregar com mais matéria prima (frangos vivos).

Os frangos seguem então até a área de abate, após para o túnel de gotejamento.

2.1.2 Escaldagem e depenagem

Logo após sair do túnel de gotejamento os frangos entram no setor de escaldagem e depenagem.

Neste setor os frangos passam por um tanque de água quente com um volume de 18 m³, e temperatura aproximada de 54 ° C, onde ficam submersos durante um período, assim ocasionando a escalda com o objetivo de soltar as penas do frango, em seguida os mesmos ainda pendurados na nórea são direcionados para as depenadeiras.

As depenadeiras agem sobre os frangos usando sequências de dedos de borracha, sendo ajustados conforme o peso da matéria prima, os dedos giram à alta rotação removendo as penas. Nesta unidade frigorífica existem três depenadeiras dispostas em linha, para auxílio na depenagem é injetado água a uma temperatura de 72° C, com uma vazão média de 15 m³/h.

As penas extraídas são direcionadas pela rede de esgoto, sendo transportadas através de bombas, até o depósito de subprodutos.

2.1.3 Evisceração

Após passar pelo setor de escaldagem e depenadeiras, os frangos seguem por uma série de equipamentos, os quais se destinam a retirar todas as vísceras e os miúdos automaticamente.

Todos os frangos passam pela Inspeção Federal (IF/órgão fiscalizador) e caso apresentem alguma anomalia, são condenados.

Os miúdos, coração, moela e fígado são separados manualmente, onde recebem os processos de limpeza, e então, são todos bombeados para serem congelados e embalados.

As vísceras seguem através das tubulações de esgoto e vão até o depósito de subprodutos, onde serão encaminhados para a fábrica de farinhas.

2.1.4 Chiller

O chiller é um tanque aberto com água gelada, onde em seu interior possui um eixo em forma de helicóide que faz com que as carcaças de frango sejam conduzidas do início ao final, sendo acrescentado água gelada e gelo, com o objetivo de fazer um pré-resfriamento na carcaça do frango. Por norma o frango deve sair com temperatura inferior a 8° C.

O frango sai do chiller e é pendurado novamente em outro transportador aéreo (nórea), e segue para a sala de cortes.

2.1.5 Salas de Cortes

Os frangos que chegam do chiller recebem o processo de corte e desossa de forma automática ou totalmente manual. Os cortes de peito, coxas, asas, filezinho, e demais cortes, são separados, pesados, colocados em bacias e transferidos para outros setores por meio de esteiras até o setor de embalagem.

2.1.6 Embalagem e Estocagem

Os produtos oriundos da sala de cortes seguem para a embalagem, onde são carimbados, encaixados e acondicionados em paletes para facilitar a estocagem nas câmaras frias e a expedição.

2.2 Setores de Utilidades

Os setores de Utilidades são responsáveis pelo fornecimento de todos os recursos energéticos para que o parque fabril possa operar normalmente. Os setores são: Energia Elétrica, Geração de Vapor, Geração de Frio, Geração de Ar Comprimido, Fornecimento de Água, Estação de Tratamento de Água (ETA), Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Todos estes recursos são gerenciados através de indicadores, de forma consciente, sendo que o Setor de Utilidades é responsável por desenvolver projetos de eficiência energética, buscando reduzir o consumo dos recursos naturais, e minimizar o valor agregado ao produto final. Nos próximos itens vamos conhecer um pouco mais sobre os processos.

2.2.1 Energia Elétrica

A energia elétrica é proveniente do mercado livre, sendo que a unidade frigorífica recebe em sua subestação em alta voltagem 30.000 V e rebaixa para 380 V. A unidade possui dois grupos geradores alimentados a óleo diesel, utilizados em caso de falta de energia, cada grupo gera 1.500 kW de potência.

2.2.2 Geração e Distribuição de Vapor (GVA)

O vapor utilizado na planta frigorífica é basicamente para aquecimento de água, pois o frigorífico em questão não produz produtos industrializados, e também não trabalha com fábrica de rações.

A distribuição de vapor segue da seguinte forma (tabela 01):

Tabela 01: Distribuição de vapor nos setores

Equipamento / Processo	Temp. da Água (°C)	Vazão de Vapor (kg/h)
Tanque de escaldagem	58	4303,45 (início) 341,1 (manter temp.)
Chiller escalda de pés	61	9,72
Trocador de calor pezinhos	60	455,17
Trocador de calor higienização	48	2670,31
Trocador de calor central de pias	38	232,64
Trocador de calor depenadeiras	70	1668,94
Máquina de lavar bacias	52	245,88
Preparação de caldo	51	377,47

Para atender todas as demandas da fábrica, é utilizado uma caldeira da marca Hbremer, com capacidade nominal de 3 toneladas de vapor por hora. A caldeira foi toda automatizada para aumentar a sua eficiência, trabalhando com uma pressão nominal de 8 bar.

Na tabela 02 abaixo podemos observar as especificações da caldeira.

Tabela 02: Especificações da Caldeira

Descrição	Valor	Unidade
Superfície de aquecimento	134	m ²
Produção de vapor	3.500	kg/h
Pressão de trabalho	8	kgf/cm ²
PMTA	10	kgf/cm ²
Pressão hidrostática	15	kgf/cm ²
Combustível	Lenha	
Tipo de vapor	Saturado	
Tiragem	Forçada por exaustão	
Ano	1984	
Número	602	
Código de projeto	ASME	
Tipo	Mista	
Categoria	B	
Pot. Ventilador ar de combustão	10	cv
Pot. Ventilador tiragem dos gases	20	cv
Alimentação de água	Intermitente	
Pot. Bomba de água	15	cv

Na figura 04 podemos observar um desenho da caldeira Hbremer.

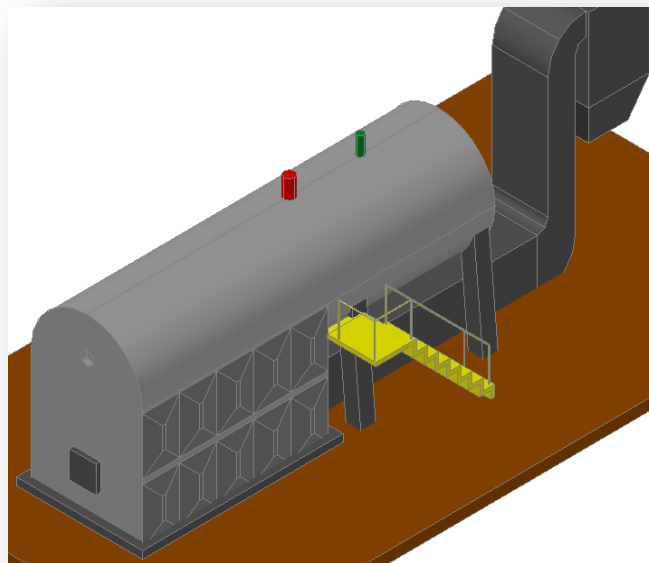


Figura 04: Desenho da Caldeira Hbremer

2.2.3 Geração e Distribuição de Frio (GFA)

Todos os ambientes dentro do frigorífico, com exceção do setor de evisceração, são climatizados a fim de manter o produto resfriado durante todo o processo. A sala de máquinas é composta por compressores alternativos e 5 compressores parafusos, totalizando 3.350 CV, sendo os regimes de trabalho -35°C responsável pelo congelamento dos produtos, -10°C regime intermediário e o 0°C responsável pela climatização dos ambientes e pelo fornecimento de água gelada.

2.2.4 Geração de Ar Comprimido (GAC)

O fornecimento de ar comprimido é realizado através de uma central composta por 4 compressores parafusos da marca Atlas Copco, abaixo vamos analisar as características de cada compressor:

Compressor 01:

Modelo: GA 30

Qar = $306\text{m}^3/\text{h}$

P = 40 CV

n = 3.550 rpm

Ano de fabricação: 2006

Tipo de partida: Estrela Triângulo

Compressor 02:

Modelo: GA 37 VSD

Qar = $434,8\text{m}^3/\text{h}$

P = 50 CV

n = 3.730 rpm

Ano de fabricação: 2007

Tipo de partida: Inversor de Frequência

A sigla VSD significa que o compressor trabalha com inversor de frequência, isto é, conforme a demanda de ar na fábrica diminui o compressor modula a rotação do motor, assim economizando energia elétrica.

Compressor 03:

Modelo: GA 37 +FF

Qar = $384,84\text{m}^3/\text{h}$

P = 50 CV

n = 3.550 rpm

Ano de fabricação: 2008

Tipo de partida: Estrela Triângulo

Compressor 04:

Modelo: GA 45 FF

Qar = 464,4m³/h

P = 60 CV

n = 3.550 rpm

Ano de fabricação: 2011

Tipo de partida: Estrela Triângulo

2.2.5 Fornecimento de Água

A água é um dos principais recursos energéticos utilizados em um abatedouro, tendo sua vazão mínima controlada pelo número de aves abatidas (litros / ave), também muito utilizado nos processos de higienização diários. O consumo total da planta em estudo, é de 3.500m³ por dia.

2.2.6 Estação de Tratamento de Água (ETA)

A unidade possui uma ETA de reuso, sendo reutilizada parte d' água que seria descartada na saída final, esta água é utilizada para fins específicos sendo: condensadores de amônia, resfriamento de equipamentos, sanitários, higienização dos meios externos, nos degelos de túneis de congelamento e câmaras frias, a água de reuso não entra em contato direto com o produto.

2.2.7 Estação de Tratamento de Efluente (ETE)

Todo o efluente gerado no processo produtivo é direcionado para a ETE, sendo 100% tratado após o mesmo é destinado para o meio ambiente. Este efluente atente todos os parâmetros exigidos pelo órgão fiscalizador.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Transferências de calor

Em situações onde existe diferença de temperatura no interior de um sistema, ou que dois sistemas a diferentes temperaturas forem colocados em contato, ocorrem alterações das temperaturas entre os mesmos, tendendo ao equilíbrio, este processo é chamado de transferência de calor.

3.2 Trocadores de calor

Quanto ao conceito de trocador de calor, pode ser definido como sendo um dispositivo utilizado para a realização da troca térmica entre dois ou mais fluidos de temperaturas diferentes. Em processos industriais são encontrados várias formas para a transferência de calor. O trocador de calor aquece ou esfria um determinado fluido e isso é de suma importância para a eficiência do processo como um todo.

A utilização de trocadores de calor faz-se necessário, sempre que houver um gradiente de temperatura entre dois fluidos, por exemplo, sendo que a transferência de calor faz com que a temperatura destes fluidos seja alterada, de forma geral um dos fluidos é resfriado enquanto o outro é aquecido.

Para Çengel e Ghajar (2012), a transferência de calor em um trocador geralmente envolve convecção em cada fluido e condução através da parede que separa os dois fluidos. Na análise de trocadores de calor, é conveniente trabalhar com o coeficiente global de transferência de calor U , que representa a contribuição de todos estes efeitos sobre a transferência de calor. A taxa de transferência de calor entre os dois fluidos em um local de um trocador de calor depende da magnitude da diferença de temperatura no local, que varia ao longo do trocador de calor.

3.3 Classificações dos trocadores de calor

A seleção de um determinado trocador de calor requer uma análise térmica para determinar o tamanho e a geometria necessária para satisfazer os requisitos de aquecimento ou resfriamento de um dado fluido, enfatizando a necessidade do conhecimento dos modelos e conceitos de trocadores de calor existentes para definir o mais adequado ou correto.

Basicamente os trocadores de calor são classificados segundo o processo de transferência de calor, grau de compactação da superfície, tipo de construção e da disposição das correntes dos fluidos (INCROPERA).

De acordo com o processo de transferência de calor, os trocadores de calor são classificados em contato indireto e direto. Quanto ao grau de compactação, representa alta razão entre a área de transferência de calor e o volume do trocador. Considerando o tipo de construção, são classificados em tubulares, de placas, de superfície estendida e regenerativa.

3.4 Trocadores de calor tipo placa

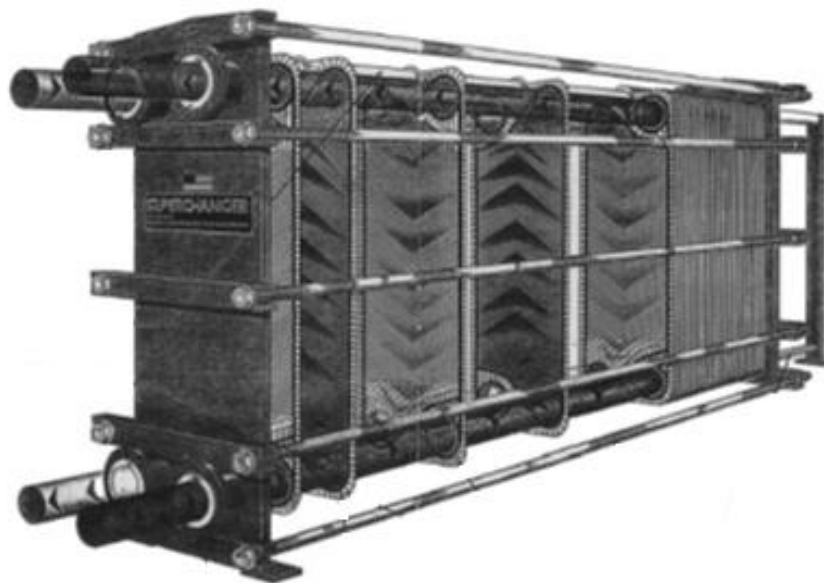


Figura 05: Trocador de calor de placas.

Fonte: Çengel e Ghajar (2012)

Trocadores de calor do tipo placa são geralmente construídos de placas delgadas, lisas ou onduladas. Este trocador, pela geometria da placa, não suporta pressões e diferenças de temperatura tão elevadas quanto um tubo cilíndrico, são ordinariamente projetados para temperaturas ou pressões moderadas.

4 METODOLOGIA

4.1 Sistema de Reaproveitamento de Energia Disponível no Óleo dos Compressores de Ar Comprimido.

A produção de ar comprimido pode representar mais de 40 % dos custos de eletricidade de uma fábrica. Ao optar pelos sistemas de recuperação de energia de alta tecnologia, pode-se usar de forma vantajosa o calor ou a energia de refrigeração que normalmente são desperdiçados.

Até 90 % da energia elétrica usada por uma solução de ar comprimido pode ser convertida em calor. Isto ocorre através da utilização dos sistemas de recuperação de energia, ou seja, através de trocadores de calor água/óleo, é possível recuperar até ± 75 % dessa entrada de potência, convertendo em água quente sem qualquer influência negativa no desempenho do compressor. Através da utilização eficiente da energia recuperada, podemos obter importantes desenvolvimentos no que se refere a custos com energia e um elevado retorno do investimento.

4.2 Planejamento do trabalho

4.2.1 Recuperação e aproveitamento de energia térmica

Todos os compressores analisados são da marca Atlas Copco, então em contato com a empresa foi ofertado equipamentos com o objetivo do projeto, sendo que a planta frigorífica em questão é a pioneira na região sul a trabalhar com este tipo de recuperação de energia.

O sistema é composto por:

Trocador de calor água/óleo em aço totalmente inoxidável;

- Válvula termostática com by-pass on/off com registro;
- Sensores de temperatura para controle de entrada e saída de água;
- Parafusos necessários, tubos, mangueira, etc;
- O sistema energy recovery também inclui termostatos, tanto para a válvula de derivação da unidade do energy recovery, quanto para válvula principal para a derivação do tubo do filtro de óleo;

- Tubos flexíveis para ligar o kit no compressor;
- Flanges;

Na figura 06 podemos visualizar os componentes do sistema:

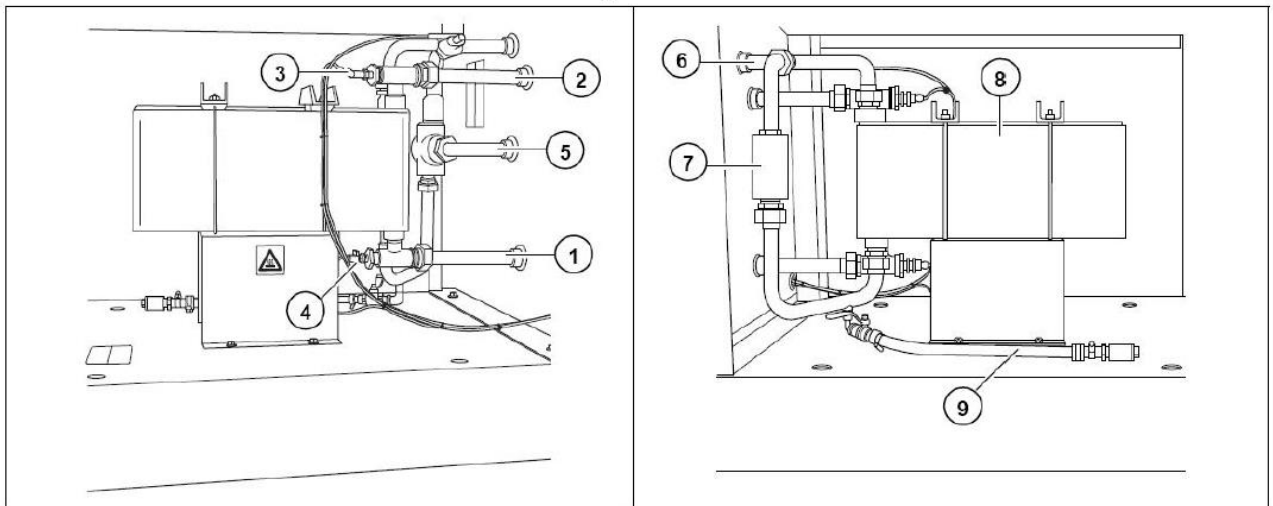


Figura 06: Componentes do Energy Recovery.

Fonte: Manual Atlas Copco.

1. Conexão de entrada de água
2. Conexão de saída de água
3. Sensor de temperatura de saída de água
4. Sensor de temperatura de entrada de água
5. Conexão da entrada de óleo
6. Conexão de saída de óleo
7. Primeira válvula de derivação com termostato e um registro manual para controle liga e desliga de unidade recuperadora de calor (Energy Recovery – ER)
8. Trocador de calor da unidade recuperadora de calor (ER)
9. Tubo flexível com uma válvula esfera para drenar o óleo.

Maiores detalhes podem ser visualizados nos anexos.

4.3 Estudo da Carga Térmica Disponível

4.3.1 Estudo do Calor Disponível no Óleo dos Compressores

Na Tabela 03, pode-se observar as especificações técnicas dos compressores através da potencia instalada.

Tabela 03: Especificações Técnicas.

Grande aumento da temperatura/baixo fluxo de água (sistema aberto de recuperação de água)

GA, GA+ e GA VSD* (potência nominal)		Energia recuperável		Fluxo de água		Aumento de temperatura	
kW	hp	kW	hp	l/min	GPM	°C	°F
11	15	8	11	1,8	0,5	60	140
15	20	10	13	2,4	0,6	60	140
18	25	12	16	3,0	0,8	60	140
22	30	15	20	3,7	1,0	60	140
30	40	22	30	4,5	1,2	71	158
37	50	27	36	5,5	1,5	71	158
45	60	33	44	6,7	1,8	71	158
55	75	41	55	8,3	2,2	71	158
75	100	56	75	11,3	3,0	71	158
90	125	68	91	13,6	3,6	71	158

* A recuperação de energia para VSD é indicada à velocidade máxima. A recuperação de energia não é aplicável ao GA 11 VSD. Os valores acima mencionados são apenas de referência; os valores exactos dependem das características de operação do ar condicionado e da água.

4.3.2 Equipamentos Instalados na Planta

Na Tabela 04, são identificados os compressores instalados na planta e a disponibilidade de energia a ser recuperada.

Tabela 04: Avaliação dos Compressores Instalados.

Equipamento	Vazão (m ³ /h)	Potência (cv)	Potência (kW)	Operação
GA30	306	40	29	Reserva
GA37 VSD	434,8	50	37	ok
GA37 ++	384,8	50	37	ok
GA45	464,4	60	44	ok
Total	1590	200	147	

4.3.3 Quantidade de Energia Disponível

Com os dados fornecidos pelo fornecedor, dispostos na Tabela 05, é possível observar a quantidade de energia a ser recuperada pelo sistema.

Tabela 05: Energia disponível no sistema.

Equipamento	Fluxo de água (l/min)	Fluxo de água (m ³ /h)	Diferença de Temperatura (°C)	Q (kcal/h)
GA30	4,5	0,27	71	19.170
GA37 VSD	5,5	0,33	71	23.430
GA37 ++	5,5	0,33	71	23.430
GA45	6,7	0,402	71	28.542
Total	22,2	1,332	284	94.572

A figura 07 apresenta um esboço de um trocador de placas, pode-se identificar a entrada e a saída do óleo, também identifica-se a entrada e a saída d'água.

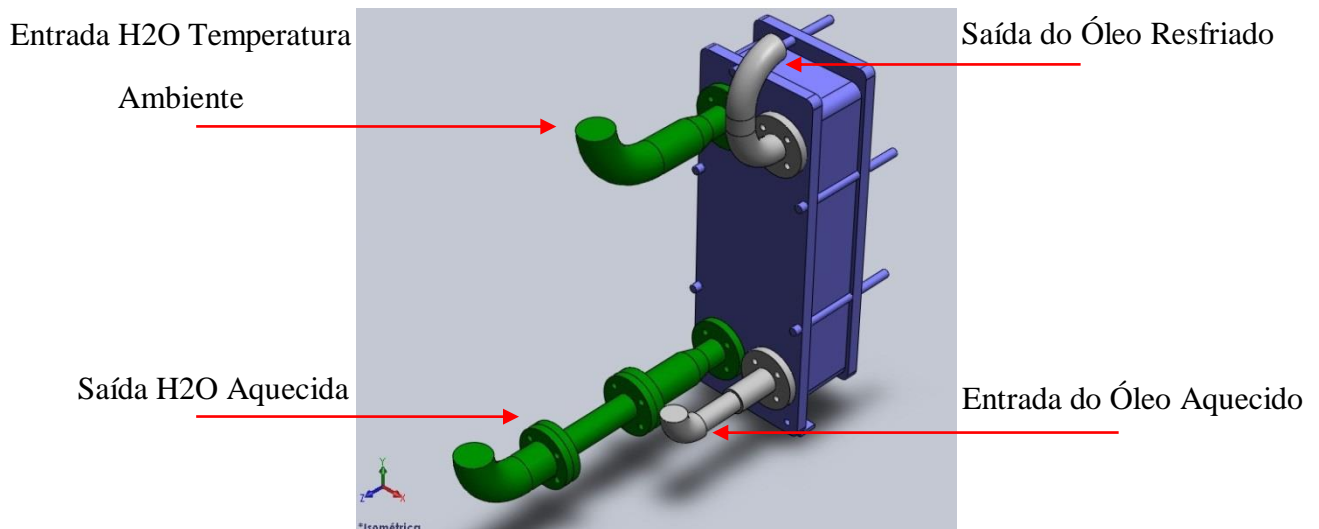


Figura 07: Esboço de um trocador de placas

Fonte: Arquivo Pessoal

Equação utilizada na Tabela 05 para o cálculo da energia disponível é:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (4.01)$$

Onde:

$c = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ (calor específico da água)

$Q =$ Carga térmica (kcal/h)

$m =$ Massa de água (kg/h)

$\Delta T =$ Diferença de temperatura (°C)

4.3.4 Cálculo da Redução do Consumo de Vapor

Para o cálculo do consumo de vapor foi utilizado os compressores GA37 VSD, GA37++ e GA45, pois são os equipamentos que estão em operação na unidade, então:

$$Q_t = 75.402 \text{ kcal/h}$$

$$Cl = 489,98 \text{ kcal/kg (Calor Latente do Vapor com Pressão de 7 bar)}$$

Entrando na equação 4.02 obtem-se:

$$q = Q/Cl \quad (4.02)$$

$$q = 153,9 \text{ kg/h (Consumo Equivalente de Vapor)}$$

A geração de ar comprimido trabalha 24 horas por dia então:

Redução diária de vapor de 3.693,31 kg/dia, ou seja: 3,69 toneladas/dia.

A fábrica analisada trabalha de segunda a sábado em dois turnos e para o cálculo da quantidade de vapor mensal considerou-se 25 dias trabalhados durante um mês, com isto tem-se uma redução mensal no consumo de vapor de 92,25 toneladas, multiplicando pelos 12 meses do ano, o total de vapor economizado em um ano é de 1.107 toneladas.

4.3.5 Cálculo da Economia Financeira Gerada

Na Tabela 06, está identificado os consumos mensais de lenha e vapor.

Tabela 06: Análise do consumo de vapor durante o ano de 2013.

CONSUMO DE VAPOR DURANTE O ANO DE 2013													
	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13	MÉDIA
Consumo de Vapor [ton]	1594	1554	1630	1724	1818	1850	2069	2070	1713	1993	1606	1481	1758,5
Consumo de Biomassa [m ³ st]	1033	1038	1061	1103	1169	1167	1307	1302	1087	1242	1035	956	1125
Indicador [tonv/TPA]	0,173	0,173	0,181	0,180	0,191	0,193	0,201	0,215	0,199	0,201	0,184	0,182	0,189

Na figura 08 é observado certa sazonalidade nos consumos, isto acontece por causa das quatro estações do ano bem definidas na região sul do Brasil.

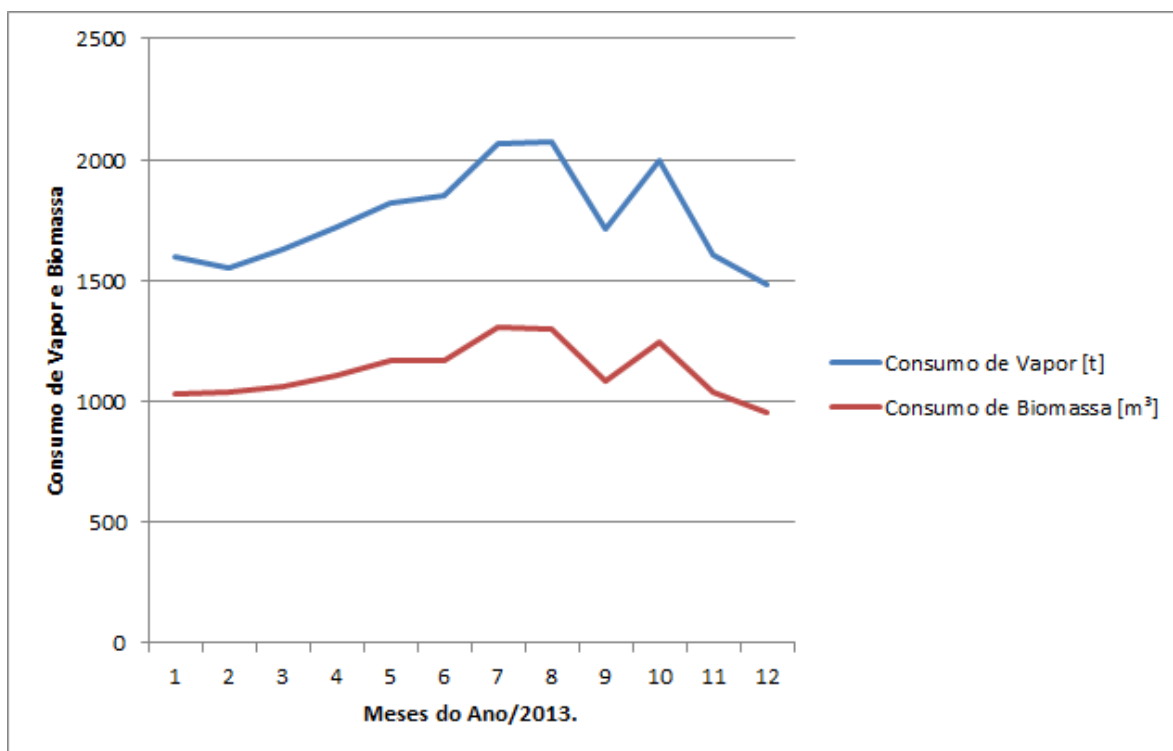


Figura 08: Sazonalidade dos consumos.

Conforme apresentado na Tabela 06, para o ano de 2013 o consumo de vapor médio foi de 1.758,5 toneladas de vapor, isto é, um total de 21.102 toneladas de vapor realizadas durante o ano. Também é observado que o consumo de lenha teve uma média de 1.125 m³ mensais, totalizando no ano 13.500 m³.

O m³ de lenha esta sendo pago em torno de R\$ 56,00 então a unidade tem um gasto médio mensal de R\$ 63.000,00. A partir deste valor, calculou-se o custo de uma tonelada de vapor, ou seja, divide-se o valor total mensal gasto pelo total mensal de vapor gerado, então obtêm-se o valor de R\$ 35,82 por tonelada de vapor.

Com a implantação do projeto tem-se uma redução anual de 1.107 toneladas de vapor, convertendo em reais, isto representa uma economia anual de R\$ 39.652,74.

4.3.6 Orçamentação dos Equipamentos

O projeto foi desenvolvido em parceria com o fabricante dos compressores, onde foi apresentado à tecnologia chamada de Energy Recovery conforme já apresentada neste trabalho.

Na Tabela 07, esta apresentado o valor do investimento para a implantação do projeto.

Tabela 07: Valor para a implantação do projeto.

Item	2 - Equipamentos (inclui serviços)	UM	Quant.	Unit (R\$)	Total (R\$)
1	Energy Recovery Ga37VSD	pç	1	24.939,49	24.939
2	Energy Recovery Ga37+	pç	1	24.939,49	24.939
3	Energy Recovery Ga45	pç	1	27.432,95	27.433
4	Tubulação/materiais	pç	1	5.000,00	5.000
5	Mão de obra	pç	1	3.200,00	3.200
Total Equipamentos				MR\$	85,5

O valor total para a instalação dos recuperadores de energia é de R\$ 85.500,00.

5 ANÁLISE FINANCEIRA

5.1 Avaliação realizada através do VPL (Valor Presente Líquido)

Avaliou-se o investimento pelo método VPL (Valor Presente Líquido), que avalia um projeto transferindo para o momento presente todas as variações de caixa esperada no período considerado, descontando à taxa mínima de atratividade.

O VPL pode ser calculado pela seguinte equação:

$$VPL = -I + A \cdot FVP_{(i,n)} \quad (5.01)$$

Onde:

O benefício auferido é definido por (A) e FVP (i, n) é o Fator de Valor Presente, obtido por:

$$FVP_{(i,n)} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (5.02)$$

Onde (i) é a taxa de retorno esperada e (n) a vida útil do equipamento.

Considerou-se uma taxa de atratividade de 19% a.a. (taxa adotada pela empresa) sendo que a vida útil do equipamento será de 10 anos, assim:

$$FVP_{(19\%,10)} = \frac{(1+0,19)^{10} - 1}{0,19 \cdot (1+0,19)^{10}} \quad (5.03)$$

$$FVP_{(19\%,10)} = 4,3389$$

Como a redução anual com o projeto é de R\$/ano 39.652,74 e o investimento é de R\$ 85.500,00 tem-se:

$$\text{VPL} = -85.500,00 + 39.652,74 \times 4,3389$$

$$\text{VPL} = \text{R\$ } 86.549,27$$

Como *VPL* foi positivo, significa que a alternativa de investimento é economicamente viável à taxa mínima de atratividade considerada.

Verificou-se uma viabilidade financeira para o projeto com taxa de atratividade de 19% a.a. de acordo com a avaliação do VPL.

6 EXECUÇÃO DO PROJETO

6.1 Definição do Layout

A grande dificuldade encontrada na execução foi o espaço físico disponível, o layout foi definido conforme o projeto mostrado na figura 09 e desenvolvido em SolidWorks (SW), onde foi reposicionado os compressores e o traçado das linhas de ar, para que todos os equipamentos pudessem ser instalados conforme as sugestões do fabricante.

O posicionamento dos compressores e as novas interligações das linhas de ar foram feitas em finais de semana para não comprometer a produção.

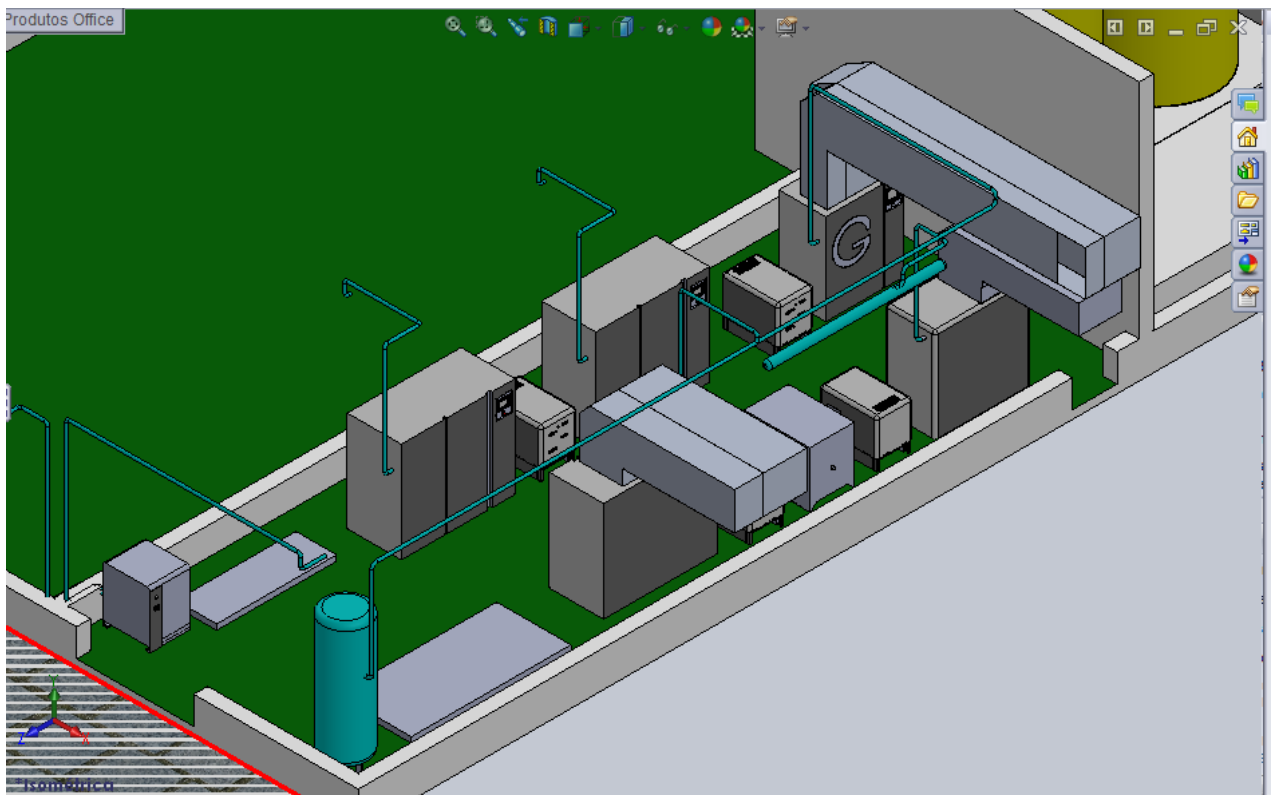


Figura 09: Layout da Sala de Geração de Ar Comprimido.

Fonte: Arquivo Pessoal

6.2 Processos de instalação

A figura 10 apresenta o processo de instalação dos Energy Recovery.



Figura 10: Posicionamento e interligações dos compressores.

Fonte: Arquivo Pessoal

6.3 Armazenamento d' Água Quente.

A água do projeto é toda direcionada para dois tanques chamados de termo acumuladores (TA), cada tanque tem a capacidade de 10.000 litros, sua função é armazenar a água quente e distribuir para o processo produtivo conforme a demanda. A figura 11 apresenta uma visão geral do projeto, onde se pode visualizar a localização dos tanques termo acumuladores.

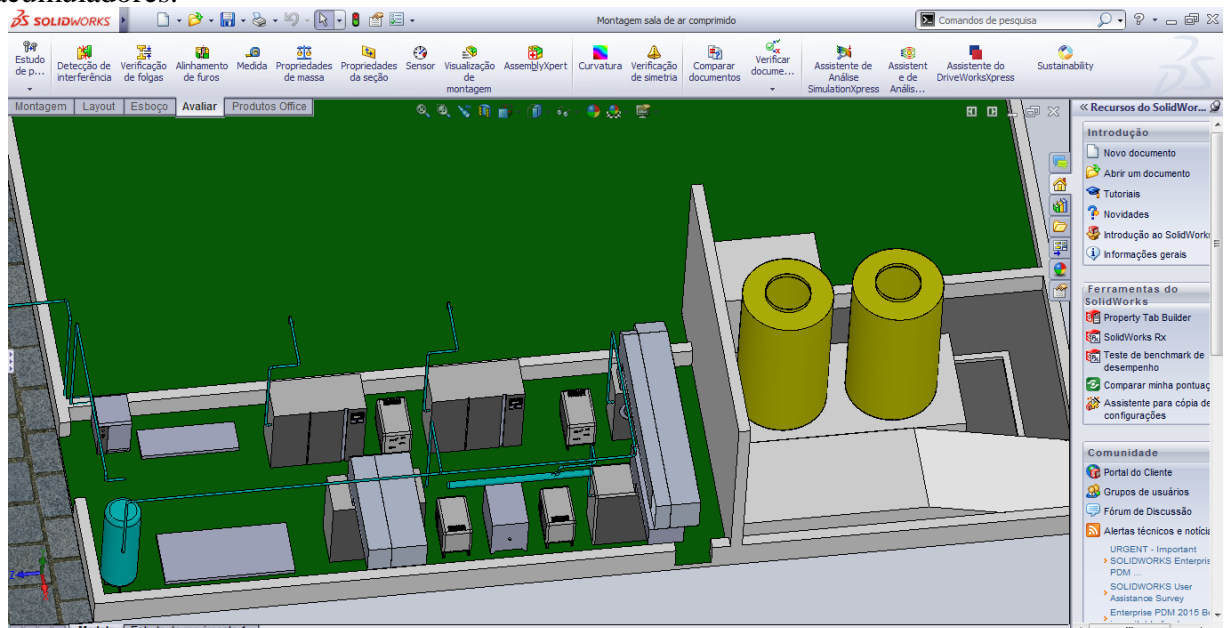


Figura 11: Localização dos tanques termo acumuladores.

Fonte: Arquivo Pessoal.

Os tanques foram fabricados em polipropileno (PP), receberam um isolamento térmico para evitar as perdas de calor, espessura de 50 mm, sendo utilizado lã de rocha e alumínio.



Figura 12: Tanques termo acumuladores.

Fonte: Arquivo Pessoal

6.4 Distribuição d' Água Quente.

A distribuição da água quente armazenada nos tanques é realizada por um sistema de bombeamento inteligente, isto é, por três bombas verticais alimentadas por inversores de frequência, à medida que a pressão interna da tubulação varia as bombas modulam a velocidade de bombeamento para atender ao processo. Quando o consumo é cessado e a pressão equaliza e as bombas se desligam automaticamente, ficando prontas para voltar ao funcionamento quando a pressão baixar.



Figura 13: Sistema de bombeamento.

Fonte: Arquivo Pessoal

Obs.: Neste projeto não foram considerados os valores dos tanques termo acumuladores e nem do sistema de bombeamento, pois os mesmos foram contemplados em outro projeto cujo retorno foi maior.

6.5 Controles de Nível (CN).

O controle de nível nos tanque termo acumulador é feito através de transdutores de pressão, onde é medido a coluna de líquido, quando os tanques estiverem cheios o controlador (N 1100) manda o sinal para uma válvula automática on/off que é responsável pelo fechamento d' água, quando o nível começa a baixar o transdutor de pressão emite o sinal para a abertura da válvula.

Quando a água é fechada a refrigeração do óleo dos compressores volta a ser feita através do radiador original do compressor, mantendo assim a temperatura do óleo sempre na condição ideal, com isto a integridade do equipamento não será afetada.

No quadro de comandos também foi instalado um hidrômetro digital, onde conseguimos identificar a quantidade de água que esta passando pelo sistema. A figura 14 mostra os controles de nível.



Figura 14: Sistema de controle de nível e hidrômetro.

Fonte: Arquivo Pessoal.

6.6 Posicionamentos dos equipamentos.

As figuras 15, 16, 17 e 18 mostram o posicionamento dos compressores e dos recuperadores de energia e a sala finalizada.



Figura 15: Sala de geração de ar comprimido.

Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 16: Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 45.

Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 17: Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 37 +FF

Fonte: Arquivo Pessoal.



Figura 18: Sala de geração de ar comprimido, compressor GA 37 VSD

Fonte: Arquivo Pessoal.

6.7 Temperaturas obtidas com o Projeto.

As temperatura de saída d`água não são iguais, pois o objetivo é manter a temperatura do óleo dentro da faixa tolerada pelo fabricante. O indicador na parte superior é a temperatura de entrada d` água e os outros indicadores são as temperaturas após o recuperador de energia.



Figura 19: Indicadores de temperatura d` água.

Fonte: Arquivo Pessoal.

7 CONCLUSÃO

Conforme foi apresentado neste trabalho, utilizou-se o calor rejeitado pelos compressores, resultado do processo de compressão do ar, sendo que esta energia estava sendo liberada para o meio ambiente, assim buscou-se a eficiência energética através da reutilização desta fonte de calor utilizando-a para aquecimento d'água destinada para os processos produtivos, reduzindo os custos com a geração de vapor.

O projeto visa à redução do consumo de vapor, conseqüentemente tem-se a redução no consumo de biomassa, contribuindo para a preservação do meio ambiente, e também tornando os produtos mais acessíveis, ou seja, mais competitivos, pois para produzir as mesmas quantidades o gasto com a geração de vapor é menor, então reduz o valor agregado.

A recuperação de energia disponível no óleo dos compressores de ar comprimido tornou-se viável, sendo que com um investimento de R\$ 85.000,00 a empresa consegue economizar R\$ 39.652,74 por ano, este projeto foi aprovado em fevereiro de 2014 e finalizado em setembro de 2014.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE - Handbook, 1996, "**HVAC Systems and Applications**", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

STOECKER, W. F., Jabardo, J., M., 2002, "**Refrigeração Industrial**", Edgard Blücher Ltda.

BABCOCK & WILCOX, **Steam: its generation and use**, Babcock & Wilcox, New York, 1985.

2ª SIEF – Semana Internacional das Engenharias da FAHOR

BEGA, E.A. **Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras**, Editora técnica, Rio de Janeiro, 1989.

HARTLEY, J.; WOODRUFF, G.; BLACK, W. **Thermodynamic Properties, Version 2.0 (software) to Accompany Thermodynamics**, Second Edition, Harper Collins Publishers, 1990.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. **Fundamentals of Classical Thermodynamics**, John Wiley and Sons, 1973.

DEWITT, D.P.; INCROPERA, F.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S.; **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos, 2008. 644 p.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N.; **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos, 2002. 681p. Tradução Francesco Scofano Neto, Albino José KalabLeiroz e Rodrigo Otávio de Castro Guedes. Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia. Tradução de: Fundamentals of engineering thermodynamics.

ATLAS COPCO, www.atlascopco.com.

ANEXO

Catálogo Atlas Copco

Custos limitados, aplicações versáteis

Desempenhando um papel fundamental nos processos de fabrico actuais, o ar comprimido constitui um instrumento excelente para se conseguir poupanças de energia significativas. A recuperação de energia que de outra forma seria perdida, permite disponibilizar várias aplicações. Desde o aquecimento até à limpeza industrial e utilização em instalações sanitárias, as possibilidades são espantosas!



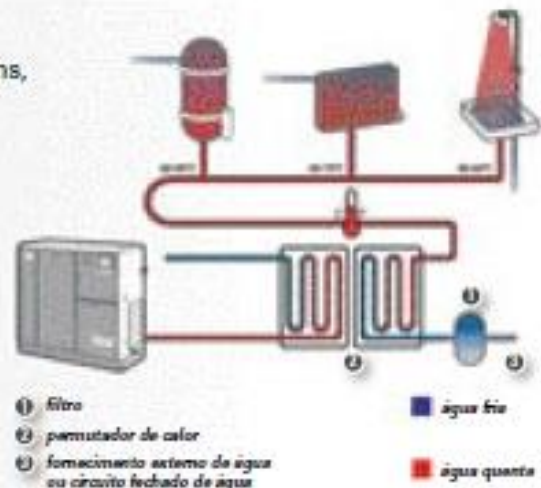
O VALOR DO AR COMPRIMIDO

Até 90 % da energia eléctrica usada por uma solução de ar comprimido é convertida em calor. Através da utilização dos sistemas de recuperação de energia da Atlas Copco, é possível recuperar até ± 75 % dessa entrada de potência como ar quente ou água quente

sem qualquer influência negativa no desempenho do compressor. Através da utilização eficiente da energia recuperada, conseguirá obter importantes poupanças no que se refere a custos com energia e um elevado retorno do investimento.

APLICAÇÕES

- Aquecimento auxiliar ou principal de armazéns, oficinas...
- Aquecimento de processos industriais
- Aquecimento de água para lavandarias, limpeza industrial e instalações sanitárias
- Cantinas e grandes cozinhas
- Indústria alimentar
- Indústrias de produtos químicos e farmacêuticos
- Processos de secagem



Especificações técnicas

Pequeno aumento da temperatura/grande fluxo de água (sistema fechado de recuperação de água)

GA, GA* e GA VSD* (potência nominal)		Energia recuperável		Fluxo de água		Aumento de temperatura	
kW	hp	kW	hp	l/min	GPM	°C	°F
11	15	8	11	12	3,2	10	50
15	20	10	13	15	4,0	10	50
18	25	12	16	18	4,8	10	50
22	30	15	20	24	6,3	10	50
30	40	22	30	32	8,5	10	50
37	50	27	36	39	10,3	10	50
45	60	33	44	48	12,7	10	50
55	75	41	55	39	10,3	15	59
75	100	56	75	54	14,2	15	59
90	125	68	91	65	17,2	15	59

Grande aumento da temperatura/baixo fluxo de água (sistema aberto de recuperação de água)

GA, GA* e GA VSD* (potência nominal)		Energia recuperável		Fluxo de água		Aumento de temperatura	
kW	hp	kW	hp	l/min	GPM	°C	°F
11	15	8	11	1,8	0,5	60	140
15	20	10	13	2,4	0,6	60	140
18	25	12	16	3,0	0,8	60	140
22	30	15	20	3,7	1,0	60	140
30	40	22	30	4,5	1,2	71	158
37	50	27	36	5,5	1,5	71	158
45	60	33	44	6,7	1,8	71	158
55	75	41	55	8,3	2,2	71	158
75	100	56	75	11,3	3,0	71	158
90	125	68	91	13,6	3,6	71	158

* A recuperação de energia para VSD é indicada à velocidade máxima. A recuperação de energia não é aplicável ao GA 11 VSD.
Os valores acima mencionados são apenas de referência; os valores exatos dependem das características de operação do ar condicionado e da água.

Nunca utilize ar comprimido como ar de respiração sem purificação prévia, em conformidade com a legislação e as normas locais.

Atlas Copco



Atlas Copco

Sistemas de Recuperação de Energia



Máxima eficiência de custos





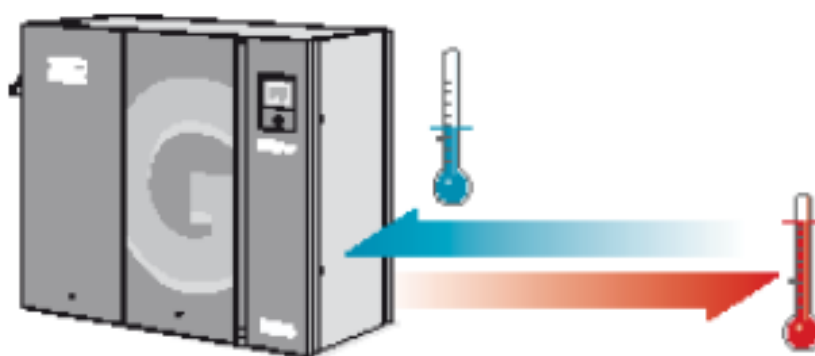
Recupere e poupe

A medida que a procura mundial de energia continua a crescer, enquanto a oferta diminui, as instalações de produção prosseguem a sua busca constante de potenciais poupanças de energia. O processo de compressão proporciona um meio verdadeiramente importante de poupança de energia. Esforçando-se constantemente por melhorar a sua eficiência, reduzir os custos e respeitar o ambiente, a Atlas Copco oferece sistemas de recuperação de energia sofisticados e totalmente integrados. Ao reutilizar o calor gerado no processo de compressão, as poupanças de energia ficam ao alcance de todos!



Boa recuperação de energia

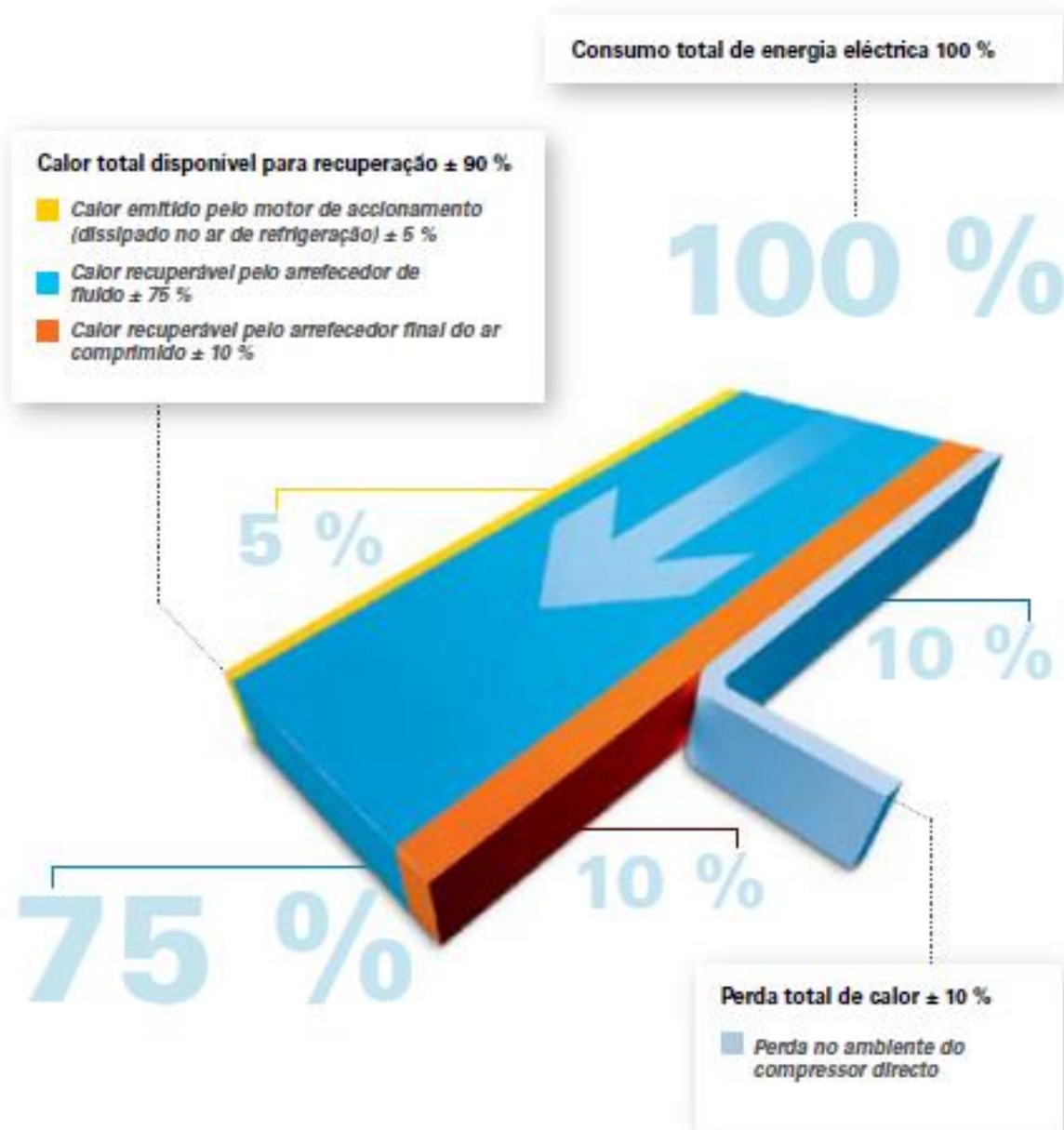
A produção de ar comprimido pode representar mais de 40 % dos custos de electricidade da sua fábrica. Ao optar pelos sistemas de recuperação de energia de alta tecnologia e pré-instalados da Atlas Copco, pode usar de forma vantajosa o calor ou a energia de refrigeração que normalmente seriam desperdiçados e reduzir significativamente os seus custos com energia!



Graças à construção fechada e compacta dos sistemas de ar comprimido da Atlas Copco, é possível poupar energia valiosa sob a forma de água quente para aplicações da linha de processos ou de aquecimento ambiental da área de produção.

VANTAGENS

- Custos de instalação e requisitos de espaço mínimos, graças a uma integração completa
- Tubagens limitadas através de ligações roscadas na entrada e na saída de água
- Solução chave-na-mão (pré-instalada)
- Custos com energia reduzidos, para um elevado retorno do investimento
- Monitorização central através de leituras da temperatura de entrada e de saída efectuadas pelo Elektronikon®
- Aplicações versáteis



- O sistema integrado de recuperação de energia inclui, como elementos principais:
- 1 Permutador de calor de óleo/água completo em aço inoxidável, que protege a qualidade do óleo e o circuito de água
 - 2 Válvula by-pass termostática
 - 3 Manipulo ligar/desligar de utilização simples