



# DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA DE PNEUS E SUGESTÕES DE MELHORIA

**HORÁCIO DA SILVA AZEVEDO**

Novembro de 2012



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA DE PNEUS  
E SUGESTÕES DE MELHORIA**

**HORACIO SILVA AZEVEDO**

Mestrado em Engenharia Química

Ramo Optimização Energética na Industria Química  
Novembro de 2012



**ISEP – Instituto Superior de Engenharia Química**  
Rua António Bernardino de Almeida, 431 4200 – 072 Porto



## **DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA DE PNEUS E SUGESTÕES DE MELHORIA**

**MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**Orientador: Engenheiro Alfredo Crispim**

## Agradecimentos

A dissertação, apesar do processo solitário a que qualquer investigador está destinado, reúne contributos de várias pessoas. Desde o início deste trabalho, contei com a confiança e apoio de inúmeras pessoas e instituições. Sem esse auxílio, este estudo não teria sido possível. A todos os que directa ou indirectamente participaram na tese, expresseo o meu sincero agradecimento.

Agradeço á administração da CNB/CAMAC, pela oportunidade que me foi proporcionada da realização deste trabalho numa conceituada empresa portuguesa de construção de pneus.

Ao Sr. Mário Pinto que, com o seu conhecimento da realidade processual e equipamento da empresa, se disponibilizou para colaborar comigo na obtenção de informações fornecidas ao longo deste trabalho

Ao Engenheiro Alfredo Crispim, por ter aceite a orientação no ISEP da dissertação, pela enorme prestação, por todo o apoio que me concedeu, por toda a partilha do saber e pelas suas valiosas contribuições, um obrigado por me continuar a acompanhar em toda a jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento que se reflectiu num crescimento académico e pessoal. A sua vasta experiência foi particularmente útil em todo o trabalho de campo e na elaboração da dissertação.

A todos, agradeço também, a revisão crítica desta Tese e as correcções e sugestões que muito valorizaram este trabalho.

O meu muito obrigado à empresa, CNB/CAMAC e ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, que autorizaram a realização do estudo.

Aos meus amigos pela amizade incondicional ao longo dos anos.

Finalmente, o mais importante, expresseo a minha sincera gratidão aos meus pais pelo incentivo durante todo o meu percurso académico. Obrigado pelo amor, carinho, alegria, atenção e sacrifício durante estes anos.

A todos, agradeço a oportunidade de aprender, crescer e contribuir.

## Resumo

Cada vez mais a indústria tem vindo a sofrer algumas mudanças no seu processo produtivo. Hoje, mais que nunca, é preciso garantir que as instalações produtivas sejam as mais eficientes possíveis, procurando a racionalização da energia com um decréscimo dos custos.

Deste modo o objectivo desta dissertação é o diagnóstico energético na fábrica de pneus e sugestões de melhoria na empresa CNB/CAMAC.

A realização de um diagnóstico energético, para a detecção de desperdícios de energia tem sido amplamente utilizada. A optimização irá prospectar potenciais de mudanças e aplicação de tecnologias de eficiência energética. Pretende-se deste modo travar o consumo energético sem que seja afectada a produção, já que a empresa é considerada consumidora intensiva de energia.

Na empresa CNB/CAMAC há consumo de fuelóleo, gasóleo, vapor e energia eléctrica, sendo o vapor a forma de energia mais consumida (36,1%) seguido da energia eléctrica (33,8%), fuelóleo (29,9) e gasóleo (0,3%).

O levantamento energético permitiu estudar a influência de algumas variáveis, nos consumos anuais da energia, e assim apresentar propostas de melhoria.

Uma das propostas analisadas foi a possibilidade de efectuar um isolamento térmico a algumas válvulas no equipamento de produção e distribuição de vapor. Este isolamento conduziria a uma poupança de 33.540 kWh/ano. Também se propôs o isolamento dos tubos de transporte de vapor no sector da vulcanização o que geraria uma poupança de 549.826 kWh/ano.

Sugere-se a implementação de um economizador na caldeira nº1 uma vez que a temperatura média dos gases de chaminé se situa á volta dos 311°C. Uma vez que existe a pré instalação de um sistema de cogeração, sugere-se que este seja finalizado.

Propôs-se a implementação de balastos electrónicos, que conduziria a uma diminuição em energia eléctrica de 33.5877 kWh/ano.

Também se propõe a eliminação das fugas de ar na rede de distribuição do ar comprimido poupando assim 12,96kW/h

**Palavras-chave:** Diagnóstico energético, Sugestões de melhoria, Consumo de energia, Poupança de energia.

## Abstract

Increasingly, the industry has been undergoing some changes in its productive processes. Today, more than ever, we must ensure that the production facilities are as efficient as possible, looking for a rationalization of energy and costs reduction

Thus, the aim of this dissertation is the energy diagnosis of the manufacturing of tires at CNB/CAMAC and its optimization. Performing an energy diagnosis, to detect energy waste has been widely used. The optimization will prospect the potential changes application of energy efficiency technologies. The intention is to lock the mode energy consumption without affecting the production, as the company is considered an heavy users of energy. In CNB / CAMAC company there is consumption of fuel oil, diesel, steam and electricity, being steam the higher consumer (36.1%) followed by electricity (33.8%), fuel (29.9) and diesel (0.3%). The optimization made possible to study the influence of some variables in annual energy consumption, and thus make proposals for improvement.

One proposal discussed was the possibility of making a thermal insulation of some valves. This isolation would lead to a saving 33.540 kWh/year. Also proposed the implementation of electronic ballasts, which would lead to a decrease in power of 33.587. kWh / year..

**Keywords:** Energy diagnostic, Optimization, Energy consumption, Energy savings

## Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	II
Abstract.....	III
Índice .....	IV
Índice de figuras .....	V
Índice de tabelas.....	VI
Lista de abreviaturas.....	VII
1. Introdução .....	1
1.1. A Empresa .....	1
1.2. Organização da Dissertação.....	2
2. A energia na Indústria.....	4
2.1. Enquadramento Legislativo.....	6
3. Levantamento Energético.....	7
3.1. Descrição do processo.....	8
3.1.1. Processo de fabricação de pneus.....	9
3.1.1.1 Matérias primas.....	10
3.1.1.2 Misturação.....	11
3.1.1.3 Extrusão.....	14
3.1.1.4. Lonas.....	14
3.1.1.5 Entrelaçar de fios.....	14
3.1.1.6 Construção de telas.....	14
3.1.1.7. Construção de talão.....	14
3.1.1.8 Processo de construção.....	15
3.1.1.9Vulcanização.....	16
3.1.1.10 Inspeção final.....	17
3.1.1.11 Tecnologia do pneu.....	18
3.1.1.12Funções do pneu.....	18
3.1.1.13Alguns exemplos de tipo de pneus quanto á sua utilização.....	18
3.2 Energia utilizada.....	19
3.2.1Central de produção de vapor.....	19
3.2.2 Rede de vapor.....	23
3.2.3 Análise de eficiência da caldeira.....	24
3.2.4 Perdas na caldeira.....	25

3.2.5	Análise da perda de energia em algumas válvulas do processo.....	26
3.2.2	Energia eléctrica.....	31
3.2.2.1	Iluminação.....	32
3.2.2.2	Central de ar comprimido.....	32
3.3	Dados da produção.....	41
3.4	Distribuição dos consumos e custos.....	41
3.5	Consumos globais.....	41
3.6	Indicadores energéticos.....	42
3.7	Recomendações.....	43
4	Optimização energética.....	44
5	Conclusão.....	46
6	Bibliografia.....	47
7	Anexos.....	55
	Anexo A: Cálculo dos consumos e custos das várias utilidades.....	49
	Anexo B: Central de Vapor – cálculo de perdas.....	53
	Anexo C – Cálculos de Optimização.....	66

## Índice de figuras

<b>Figura 1.1</b>	Vista da Camac, situada em Santo Tirso.....	2
<b>Figura 2.1</b>	Balanço energético de um sistema de cogeração.....	11
<b>Figura 2.2</b>	Balanço energético de um sistema.....	11
<b>Figura 3.1</b>	Fluxograma do processo produtivo.....	17
<b>Figura 3.2</b>	Misturador Bambury.....	18
<b>Figura 3.3</b>	Placas de borracha saídas do misturador.....	19
<b>Figura 3.4</b>	Extrusão de perfis de borracha.....	20
<b>Figura 3.5</b>	Entrelaçar dos fios metálicos.....	21
<b>Figura 3.6</b>	Processamento de telas.....	21
<b>Figura 3.7</b>	Fases de construção.....	22
<b>Figura 3.8</b>	Prensa de vulcanização .....	23
<b>Figura 3.9</b>	Fases a partir da vulcanização.....	23
<b>Figura 3.10</b>	Inspeção final.....	24
<b>Figura 3.11</b>	Corte de secção de um pneu.....	24
<b>Figura 3.12</b>	Ligeiros, 4x4 e comerciais.....	25
<b>Figura 3.13</b>	Camiões e autocarros.....	25

<b>Figura 3.14</b> Agrícolas.....	25
<b>Figura 3.15</b> Diagrama ilustrativo da rede de vapor .....	30
<b>Figura 3.16</b> Valvula do tipo globo com fole flangelada.....	36
<b>Figura 3.17</b> Valvula de globo com fole flangelada.....	36
<b>Figura 3.18</b> Fugas de ar comprimido vs diâmetro do furo .....	46
<b>Figura 3.19</b> Valores anuais da intensidade carbónica(KgCO <sub>2</sub> /Tep) nos diferentes sectores.....	47

### Índice de tabelas

<b>Tabela 3.1</b> Características dos geradores de Vapor. ....	27
<b>Tabela 3.2</b> Elementos para a obtenção do rendimento da caldeira.....	29
<b>Tabela 3.3</b> Perdas por radiação da caldeira.....	33
<b>Tabela 3.4</b> Análise dos gases de combustão(%) na caldeira.....	34
<b>Tabela 3.5</b> Perda de calor e perda de energia nas válvulas presentes nos diferentes equipamentos.....	37
<b>Tabela 3.6</b> Média de consumo diário de energia por sector da fábrica.. ....	39
<b>Tabela 3.7</b> Desperdício de energia provocados por vazamentos.....	45
<b>Tabela 3.8</b> Descarga de ar em l/s através de diferentes orifícios.....	45
<b>Tabela 3.9</b> Características dos compressores existentes na fábrica.....	47
<b>Tabela 3.10</b> Indicadores energéticos na empresa.....	48
<b>Tabela 3.11</b> Utilidades utilizadas consumos, custos no ano 2010.....	49
<b>Tabela 3.12</b> Consumo específico anual de todas as utilidades.....	49
<b>Tabela 3.13</b> Valores anuais da intensidade carbónica nos diferentes sectores.....	50

## Lista de abreviaturas

### Siglas

- ARCE -Acordo de redução dos consumos de energia
- ASME -American Society of Mechanical Engineers
- CIE- Consumidora Intensiva de Energia
- DGEG- Direcção Geral de Energia e Geologia
- ENE- Estratégia Nacional de Energia
- IC- Intensidade Carbónica
- ISEP- Instituto Superior de Engenharia do Porto
- PReN -Plano de Racionalização dos Consumos de Energia
- RGCE- Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia
- SGCIE- Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
- URE -Utilização Racional de Energia

- **Variáveis**

- **Variável Descrição Unidades**

- Av -Área de transferência de calor  $m^2$
- Cp- Calor específico  $\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$
- D -Diâmetro externo m
- Gr- Número de Grashof -
- $H_{vTeb}$ -Calor latente de vaporização à temperatura de ebulição  $\text{cal/g}$
- $H_v$  -Calor latente de vaporização à temperatura de trabalho  $\text{cal/g}$
- h -Coeficiente de transferência de calor  $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$



## 1. Introdução

O trabalho aqui desenvolvido foi realizado na empresa CNB/CAMAC no âmbito da disciplina de Dissertação do curso de Mestrado em Engenharia Química – Ramo Optimização Energética na Indústria Química.

O facto de me ter sido facultado a realização de um trabalho directamente na Indústria é desde já uma mais valia, uma vez que conheço o processo produtivo da empresa. Deste modo, os conhecimentos académicos que foram adquiridos durante o decorrer do curso são adaptados à realidade e aplicados com um maior sentido crítico.

Cada vez mais se verifica um ambiente competitivo em todos os mercados, que faz com que as empresas desejem um melhor desenvolvimento dos seus processos de produção, com uma redução de energia e de custos. Para tal, uma das principais preocupações que deve existir actualmente diz respeito à Eficiência Energética.

O objectivo deste trabalho centraliza-se num Diagnóstico Energético da Indústria de produção de pneus e sugestões de melhorias na produção e distribuição do vapor produzido bem como de todas as outras formas de energia consumidas na empresa.

O tema é muito actual e com grande interesse face à grande preocupação dos gastos com a energia e do impacto ambiental que os mesmos acarretam. Neste sentido, serão contabilizados os consumos de energia e respectivo custo, por parte das diferentes utilidades presentes na fábrica.

Na sequência das ideias anteriormente referidas apresenta-se a descrição de cada fase de trabalho realizado na empresa. Em seguida, com a aquisição do conhecimento do processo produtivo, procedeu-se ao levantamento energético.

Na busca pela eficiência e no combate das perdas, recomendam-se as medidas a adoptar para a redução do consumo e custo de energia sem afectar a produção.

Estudou-se então a forma como essas medidas podem ser implementadas na empresa.

### 1.1. A Empresa

#### Historia da Camac

A Camac foi fundada em 21 de Setembro de 1967, sob a designação de Fábrica de Pneus Fapobol, por José Pinto de Sousa, antigo presidente do Conselho de Arbitragem da Federação Portuguesa de Futebol. A fábrica começou a laborar a 10 de Março de 1969. A 29 de Abril de 1980 assume a nova denominação, que ainda mantém: CNB/Camac - Companhia Nacional de Borrachas. A empresa cai entretanto nas mãos do então banco BPA. O excêntrico empresário espanhol, Ruiz Thierry, compra a Camac ao

BPA em 1989. Poucos anos depois, deixa-a à beira da falência e entregue ao gestor judicial. O empresário José Serra, ligado ao sector têxtil, adquire a Camac em Dezembro de 1995. Carlos Pissarra, advogado e ex-administrador da SAD do Boavista, lidera um conjunto de cinco empresários na aquisição da Camac ao seu tio José Serra. Após vários anos a acumular prejuízos e com a tesouraria asfixiada, a Camac paralisa a 29 de Agosto de 2008, na sequência da greve dos 290 trabalhadores por atraso no pagamento de salários. Passados quatro meses é decretada a sua insolvência. Em Outubro de 2009, é aprovado o plano de insolvência da Camac, com o IAPMEI a garantir a injeção de quatro milhões de euros e os irmãos Rodrigues (do grupo bracarense General) um milhão de euros. A fábrica, situada em Santo Tirso, Figura 1.1, voltou a laborar em Março do ano passado.



**Figura 1.1** – Vista da Camac, situada em Santo Tirso

## **1.2. Organização da Dissertação**

A dissertação foi organizada em seis capítulos:

1. Introdução;
2. A Energia na Indústria;
3. Levantamento Energético;
4. Optimização Energética;
5. Conclusão;

No capítulo 1, Introdução, apresenta-se o tema que se vai desenvolver na empresa, faz-se inicialmente um enquadramento do tema de trabalho e apresenta-se o projecto. O capítulo termina com uma breve descrição da história da Empresa desde a sua origem até aos dias de hoje.

No capítulo 2, A Energia na Indústria, são apresentados conceitos importantes para melhor entender o tema do trabalho em questão, tais como Utilização Racional de Energia, Conservação de Energia e Auditoria Energética. Por último, apresenta-se a Estratégica Energética na Indústria Nacional.

No capítulo 3, Levantamento Energético, numa primeira fase, faz-se a apresentação do processo de fabrico de pneus. Faz-se ainda a descrição da produção e/ou distribuição das utilidades utilizadas e respectivo levantamento energético.

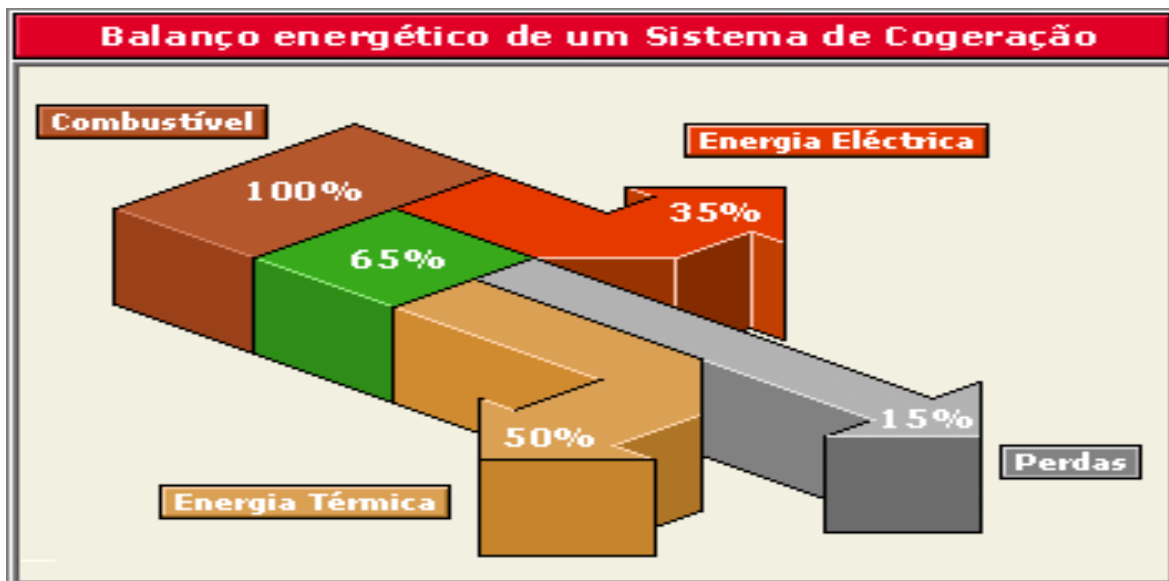
No capítulo 4, Optimização Energética, apresenta-se o estudo detalhado de algumas medidas de racionalização de energia que a empresa pode ter em consideração.

No último capítulo da tese, apresentam-se algumas considerações finais de acordo com todo o trabalho desenvolvido.

## **2. A energia na Indústria**

A Utilização Racional de Energia (URE) consiste num conjunto de acções e medidas, que têm como objectivo a melhor utilização da energia. A URE é cada vez mais um factor importante de economia energética e redução de custos no sector industrial. Tendo em conta uma série de recomendações e conselhos úteis, é possível reduzir os consumos energéticos mantendo a produtividade das actividades dependentes de energia.

A cogeração consiste no aproveitamento local do calor residual originado nos processos termodinâmicos de geração de energia eléctrica, que doutra forma seria desperdiçado. O aproveitamento pode dar-se sob a forma de vapor, água quente e/ou fria (trigeração), para uma aplicação secundária, que pode ou não estar ligada com o processo principal. Nos processos convencionais de transformação da energia fóssil em energia eléctrica (centrais termoeléctricas), por mais eficiente que seja o processo, a maior parte da energia contida no combustível, usado na accionamento das turbinas, é transformado em calor e perdido para o meio ambiente.

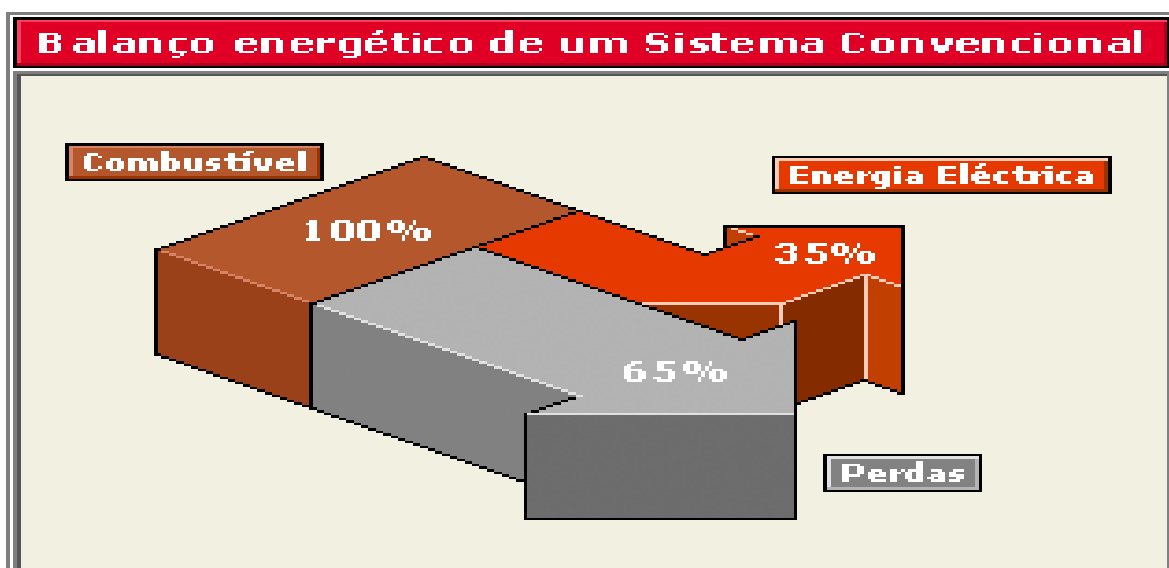


**Figura 2.1-** balanço energético de um sistema de cogeração

Existe uma limitação física que apenas permite o aproveitamento de um máximo de 40% da energia contida no combustível que é usada no gerador para produção de energia elétrica.

Assim, através da cogeração, é possível aproveitar o calor antes perdido, aumentando a eficiência energética do processo, a qual pode chegar aos 85% da energia contida no combustível.

Podemos definir, resumidamente, por cogeração como a produção simultânea de energia térmica e energia mecânica (elétrica), a partir de um único combustível.



**Figura 2.2-** Balanço energético de um sistema convencional

Uma das desvantagens da co-geração é que o calor só pode ser usado perto do centro produtor, devido à maior dificuldade no transporte da energia térmica (perdas térmicas nas tubagens), o que limita estas instalações a unidades relativamente pequenas se

comparadas com as centrais térmicas convencionais.

Os sistemas de cogeração mais utilizados são a turbina a gás, turbina a vapor, motor alternativo e célula de combustível, sendo as diferenças entre eles a relação entre as necessidades em energia térmica e eléctrica, os custos da instalação e da exploração e os níveis de emissões e de ruídos.

Estes sistemas abrangem os diferentes combustíveis e potências. A utilização da cogeração permite um sistema de maior repartição de produção de energia, ao contrário do que se passa em relação às grandes centrais produtoras de electricidade.

A necessidade de reduzir emissões de CO<sub>2</sub> incentivou nos últimos anos a adopção deste processo eficiente. Hoje, na Holanda e Finlândia, a cogeração já representa mais de 40% da potência instalada. Nos últimos anos, o novo modelo de sector eléctrico propiciou a produção eléctrica local tornando-a mais eficiente e de baixo custo e levando ao aperfeiçoamento da tecnologia da co-geração, inclusive ao nível da microgeração (inferior a 150 kW).

O cumprimento dos objectivos nacionais, quanto à redução de emissões, consagrados no Plano Nacional de Alterações Climáticas (PNAC) aprovado pelo Governo em 2004, estabelecem que a potência adicional em cogeração, a instalar até ao ano 2010, deverá ser de aproximadamente 800 MW, mantendo-se operacionais todas as instalações que se encontram já licenciadas.

A energia desempenha um papel indispensável na vida moderna, como factor de produção que proporciona o desenvolvimento económico da sociedade e o bem estar da população. Deste modo o consumo energético é um dos indicadores utilizados para expressar o padrão de vida e o nível de desenvolvimento atingido por uma nação.

A evolução da política energética, nas últimas décadas e a avançada idade de grande parte do “parque” industrial, faz com que as actividades de Reabilitação Energética passem a desempenhar um papel fundamental na redução da energia.

Deste modo emerge o conceito de Utilização Racional de Energia (URE), que surge como uma nova forma de encarar a energia, demonstrando ser possível crescer sem aumentar o consumo energético ou afectar a produção, [GASPAR, 2004].

Uma empresa na indústria, que deseja alcançar uma estrutura de custos racionalizada e tornar-se mais competitiva não pode admitir desperdício ou usar a energia de forma ineficiente e irresponsável. Para se fazer um bom trabalho de conservação de energia, levando em consideração o desenvolvimento sustentável, é necessário proceder a auditorias energéticas a todas as empresas ou instalações, até por obrigação legal.

Uma auditoria energética pode ser definida como um estudo pormenorizado das condições de utilização de energia numa determinada instalação, actividade, equipamento ou empresa, permitindo compreender de que forma a energia é usada, qual

a eficiência dos equipamentos e onde existe desperdícios de energia, indicando soluções para as anomalias detectadas. [EDP, 2010]. Ou seja, engloba um levantamento e uma análise crítica das condições de utilização de Energia (conforme definida no artigo 6.º do Decreto-Lei.º71/2008 – anexo E), com vista à detecção de oportunidades de racionalização energética, através de medidas com uma viabilidade técnico-económica aliciante. [BRAGA, 2009]. Acções deste tipo estão geralmente abrangidas em actividades de Reabilitação Energética, que permitem que o gestor de energia possa contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos equipamentos e as perdas que estão associadas a todo o processo. A finalidade última será reduzir essas mesmas perdas sem afectar a produção, isto é, economizar a energia através do uso mais eficiente da mesma. [GASPAR, 2004].

## **2.1. Enquadramento Legislativo**

Portugal é um país carente ao nível dos recursos energéticos próprios. Esta situação conduz a uma alta dependência energética do exterior, sendo portanto totalmente dependente das importações das fontes primárias de origem fóssil (gás natural, carvão e petróleo).

O Governo também empenhado na redução das emissões de CO<sub>2</sub> definiu grandes linhas estratégicas para o sector de energia, configuradas na Estratégia Nacional para a Energia. Esta estratégia estabelece vários objectivos para o sector, nomeadamente a criação de um relatório, onde é identificado o investimento em energias renováveis e a promoção da eficiência energética [BARRETO, 2008].

Neste contexto a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) tem também como missão contribuir para a concepção, promoção e avaliação das políticas relativas à energia e aos recursos geológicos, numa óptica de desenvolvimento sustentável.

Surgiu a Estratégia Nacional de Energia (ENE), que prevê medidas para o progresso da eficiência energética, emergindo deste modo o Regulamento de Gestão de Consumos de Energia (RGCE), que assenta em dois tópicos:

- Conversão dos Consumos para energia primária (tep), isto é, equalização de todas as formas de energia ao mesmo denominador, que possibilite a sua comparação.
- Cálculos utilizando consumos específicos de energia.

Este regulamento aplica-se a empresas que sejam Consumidoras Intensivas de Energia (CIE) e tem como principal objectivo a redução da energia primária nacional através da diminuição de consumo específico.

Recentemente, no âmbito da ENE, foi publicado o Decreto-Lei nº.71/2008 de 15 de Abril, bem como a Portaria nº 519 de 25 de Junho, o Despacho nº. 17313/2008 de 26 de Junho e o Despacho nº. 17449/2008 de 27 de Junho, que regulamenta o Sistema de Gestão

dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), anexo E, [BRAGA, 2009]. Este sistema aplica-se a empresas consumidoras intensivas de energia com consumos energéticos superiores a 500 tep/ano, de modo a compatibilizar o antigo regulamento, RGCE, com as “recentes” exigências ao nível das emissões de Gases de Efeito de Estufa. O sistema antevê que todas as empresas, como é o caso da CNB/CAMAC, que são consumidoras intensivas de energia, realizem periodicamente auditorias energéticas que incidem sobre as condições de aproveitamento de energia e promovam o acréscimo da eficiência energética. Aconselha ainda que se elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn). Estes planos baseiam-se na realização de uma Auditoria Interna através da qual se fixam metas de redução dos consumos de energia por famílias de produtos, tendo em conta o consumo actual da instalação e os consumos de referência definidos pela Direcção Geral de Geologia e Energia, em conformidade com a legislação em vigor. [EDP,2010]. O PREn deve ainda definir medidas relativas à intensidade carbónica (IC) e ao consumo específico de energia. São identificadas e qualificadas as medidas necessárias para atingir os objectivos definidos de redução dos consumos. Depois da aprovação da Auditoria Energética e respectivo (PREn), este último designa-se por Acordo de Racionalização do Consumo de Energia (ARCE), estabelecendo acordos de racionalização dos consumos de energia que é apresentado à DGEG, em forma de relatório. As actividades antevistas deverão ser complementadas com uma visita anual às instalações, em causa, para averiguar o estado de implementação das medidas sugeridas no ARCE e verificar a situação energética da empresa. Será indicado um técnico, reconhecido pela DGEG, para acompanhamento do ARCE, e emissão dos relatórios bianuais para DGEG.

### **3. Levantamento Energético**

O Diagnóstico Energético foi realizado em todos os sectores da empresa. Para a concretização do trabalho proposto, é importante referir que todos os valores de produção e consumos de utilidades remetem-se para o ano de 2010, onde o tempo de funcionamento dos equipamentos foi de 1.576 h/ano.

O diagnóstico energético incidirá sobre a concepção e o estado das instalações, tendo sido recolhidos os elementos necessários à elaboração do plano de racionalização dos consumos das diferentes energias usadas, bem como a verificação do cumprimento deste. Para tal é necessário conhecer o processo de produção e as utilidades mais utilizadas. Este capítulo incidirá sobre a análise dos seguintes itens:

- os consumos energéticos;

- efectuar uma “inspecção visual” aos equipamentos e sistemas consumidores de energia;
- esclarecer como é transformada a energia e quais os custos associados;
- determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica;
- verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia;
- verificar a existência do bom funcionamento dos aparelhos de controlo e regulação dos equipamentos de conversão e utilização de energia;
- realizar balanços de energia e de massa aos principais equipamentos consumidores de energia;
- determinar os consumos específicos de energia;
- definir as linhas orientadoras para a implementação de melhorias.

### **3.1-Descrição do processo**

O pneu, componente imprescindível ao funcionamento dos veículos passou por muitas etapas desde sua origem, no século XIX, até atingir a tecnologia actual. A invenção do pneu remonta há mais de um século e possui factos curiosos que até causaram a falência de alguns empresários. A borracha, por exemplo, não passava de uma goma utilizada para impermeabilizar tecidos e apresentava sério risco de se dissolver quando exposta a temperaturas elevadas. Para mudar esse cenário, muitas experiências iniciadas pelo americano Charles Goodyear, por volta de 1830, confirmaram acidentalmente que a borracha cozida a altas temperaturas com enxofre mantinha suas condições de elasticidade no frio ou no calor. Estava descoberto o processo de vulcanização da borracha que, além de dar forma ao pneu, aumentou a segurança nas travagens e diminuiu as trepidações nos carros. Alguns anos mais tarde, em 1845, os irmãos Michelin foram os primeiros a patentear o pneu para automóvel. As etapas iniciais de desenvolvimento dos pneus ainda passaram pelo feito do inglês Robert Thompson que, em 1847, colocou uma câmara cheia de ar dentro dos pneus de borracha maciça. A partir de 1888, com a utilização do pneu em larga escala, as fábricas passaram a investir mais em sua segurança.

Cada pneu passa por um extenso processo começando com matérias-primas e terminando com um exame final. A aparência externa remete à borracha. Ninguém imagina, no entanto, que a consistente circunferência fabricada para rodar por milhares de quilómetros em todos os tipos de estrada, campos enlameados, pedras, desertos e

até terras geladas, conta com muitos outros itens que são responsáveis pela estabilidade necessária para garantir a segurança dos motoristas.

As funções do pneu são basicamente as seguintes:

- Suportar a carga;
- Oferecer respostas eficientes nas travagens e aceleradas;
- Contribuir com a suspensão do veículo no conforto;
- Garantir a dirigibilidade do veículo;
- Alta resistência ao rasgo;
- Oferecer segurança;
- Não deve apresentar super aquecimento durante o uso.

A Figura seguinte esquematiza o processo produtivo do pneu.

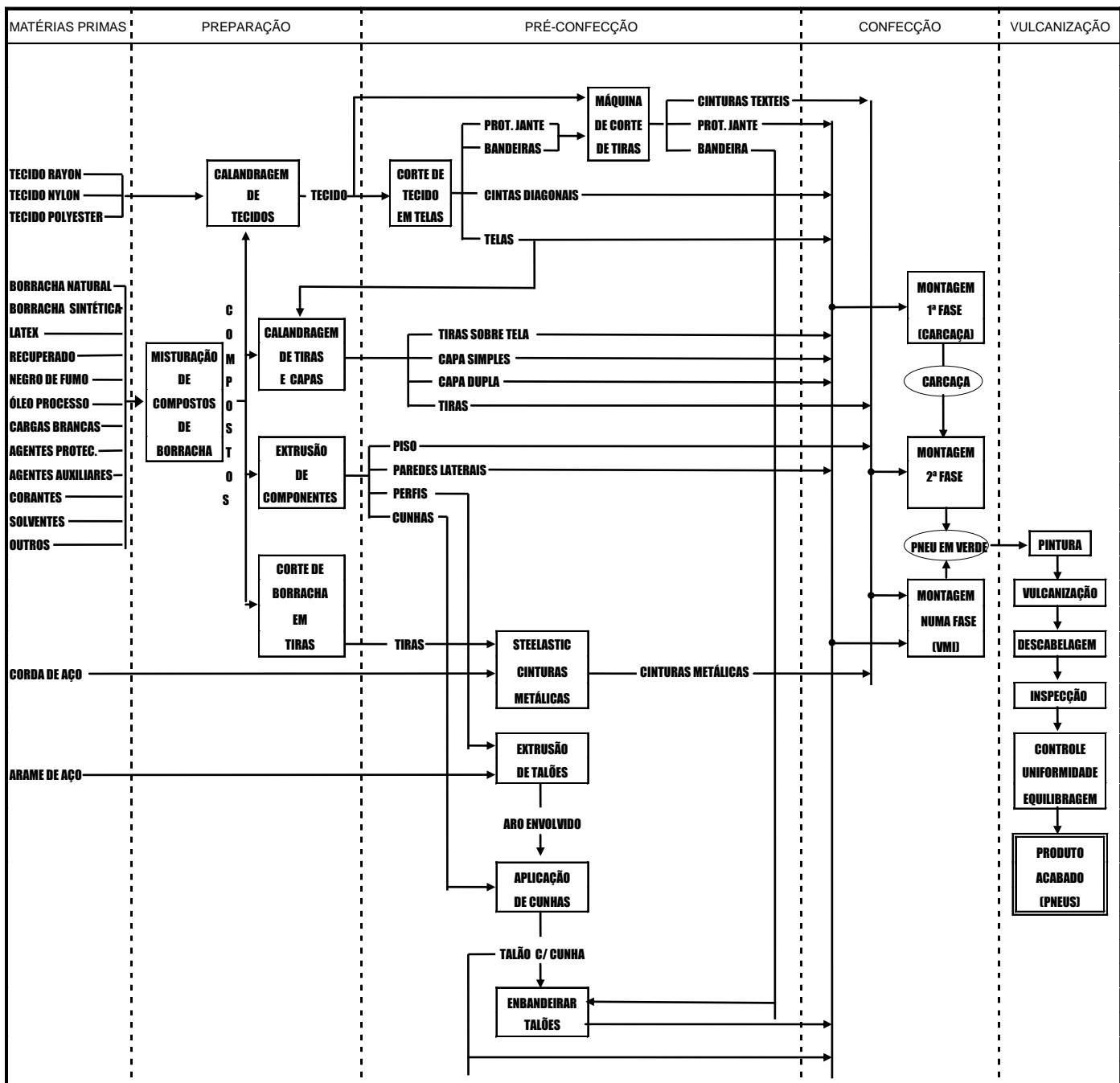


Figura 3.1-Fluxograma do processo produtivo

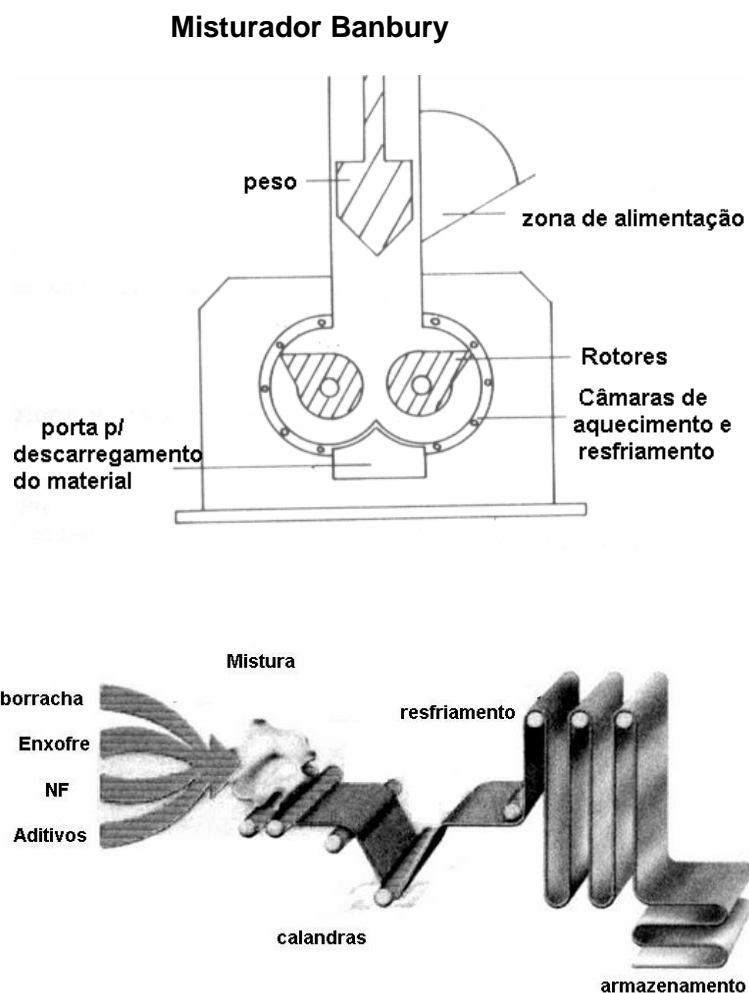
### 3.1.1-Matérias-primas.

A combinação perfeita de matérias-primas, como a borracha natural, derivados de petróleo, aço e produtos químicos, dá origem ao pneu, considerado um dos principais componentes dos automóveis. A parcela de utilização de cada um desses itens na fabricação varia de acordo com a utilização que será dada ao produto final. Prova disso é

a diferença da composição entre os diferentes tipos de pneus para diferentes aplicações. No pneu de passeio, a borracha predomina, sendo 27% sintética e 14% natural. O negro de fumo constitui 28% da composição. Os derivados de petróleo e produtos químicos respondem por 17%, o material metálico (ou aço) por 10% e o têxtil por 4%. Os pneus de automóveis são projectados para suportar altas velocidades, enquanto os pneus de carga são fabricados de acordo com o peso que deverão sustentar. Com isso, a quantidade de borracha natural nos pneus de caminhões está em torno de 30%.

### 3.1.2-Misturação

É a primeira fase da fabricação do pneu na qual vários elementos são misturados (borracha natural e sintética, negro de fumo, aceleradores, pigmentos químicos), sendo preparado o composto (borracha).



**Figura 3.2-Misturador Banbury**

Vários tipos de borracha natural e sintética são combinados com negro de fumo, enxofre e produtos químicos no misturador interno para atender aos requisitos de um dado composto específico. A mistura resultante é chamada de "grupo master", que é formada em folhas de borracha, e arrefecida. A borracha é usada para o processamento em fase de extrusão.



**Figura3.3-**Placas de borracha saídas do misturador

### **3.1.3-Extrusão**

A banda de rodagem (parte do pneu que entra em contacto com o solo) e a parede lateral do pneu passam por uma extrusora (espécie de rosca) e tomam os seus formatos finais. O calor é aplicado à borracha para torná-la mais elástica e, em seguida, é colocada em máquinas extrusoras onde o piso e outros perfis, que requerem eventualmente dois diferentes compostos de borracha, são formados nas formas necessárias. A extrusora produz uma folha contínua de piso, ou outros perfis de borracha, que são então arrefecidos e cortados em comprimentos específicos.



**Figura 3.4-** Extrusão de perfis de borracha

### **3.1.4-Lonas**

Lonas de borracha se juntam a tecidos de poliéster, nylon, rayon e outros formando as lonas de corpo. As lonas estabilizadoras são formadas por fios de aço. Eles são cobertos por uma camada de borracha, formando fitas que são cortadas em ângulos determinados

### **3.1.5-Entrelaçar dos fios**

Cabos de fiação, tais como o rayon, aço nylon, poliéster e outros passam por um processo chamado de "calandra", onde são tecidos em folhas e revestido com borracha em ambos os lados. As folhas são cortadas no ângulo apropriado em larguras e comprimentos específicos e, eventualmente, utilizadas para camadas de revestimento (telas) enquanto os cabos de aço são usados para as cintas.



**Figura 3.5** -Entrelaçar dos fios

### 3.1.6-Construção de telas



**Figura 3.6**-Processamento de telas

### 3.1.7-Construção do talão

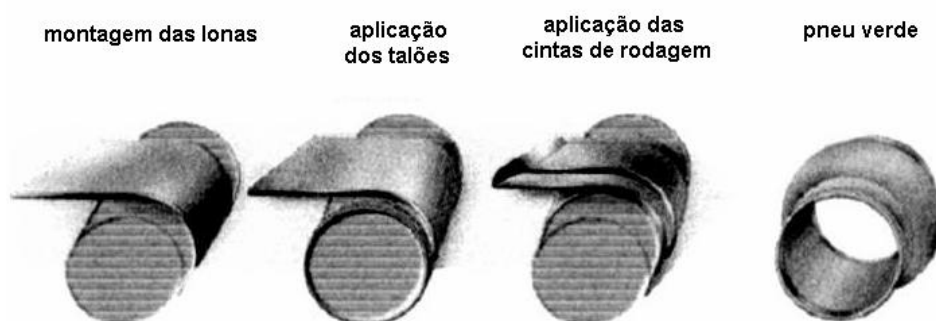
O talão (parte do pneu que faz ligação com a roda) passa por uma pequena extrusora, que aplica uma camada de borracha sobre fios de aço. Esses fios são enrolados em cilindros que formam o componente. O talão é construído conforme especificações do diâmetro, de forma a garantir a segurança de que o pneu não se solte do aro, quando submetido a esforços laterais.

### 3.1.8-Processo de Construção.

Todas as partes do pneu são aplicadas numa máquina, tipo tambor. Primeiramente é produzida a carcaça (esqueleto do pneu que sustenta a carga), em seguida é formada a primeira estrutura do pneu, o chamado pneu verde. O processo de construção envolve duas etapas:

Fase 1: Começando com a camada interna, as telas, os talões e paredes laterais são colocados no tambor de construção. Os talões correctamente posicionados são então anexados, o que resulta na quebra automática das bordas das em torno do núcleo do talão, e simultaneamente o movimento das paredes laterais para a posição. Neste momento temos a carcaça construída.

Fase 2: O pneu é formado ao insuflar a carcaça e aplicando, duas cintas de aço, uma cinta e por fim uma banda de rodagem em borracha para alcançar um pneu "verde".



**Figura 3.7-Primeira fase de construção**

### 3.1.9-Vulcanização

A vulcanização vai dar forma ao pneu. Ele é colocado numa prensa com temperatura, pressão e tempo determinados e moldado com suas características específicas.

O pneu "verde" é colocado numa prensa de vulcanização para um determinado período de tempo (10-15 minutos) a uma pressão específica e a temperatura. Uma vez aplicado o calor e a pressão ao pneu, é então removido do molde depois de ter atingido o seu final, tamanho, forma e padrão do piso.



**Figura 3.8**-.Prensa de vulcanização



**Figura 3.9**-Fases a partir da vulcanização

### 3.1.10-Inspeção final

Por último, o pneu passa pela inspeção final, onde são efectuados todos os testes para sua libertação, garantindo a fiabilidade no seu desempenho, até ser armazenado para ser distribuído, chegando às mãos do consumidor. Cada pneu é visualmente inspeccionado e é feito teste de equilíbrio e uniformidade. Esta verificação final garante um desempenho consistente e fiável.



Figura 3.10- Inspeção final

### 3.1.11-Tecnologia do Pneu

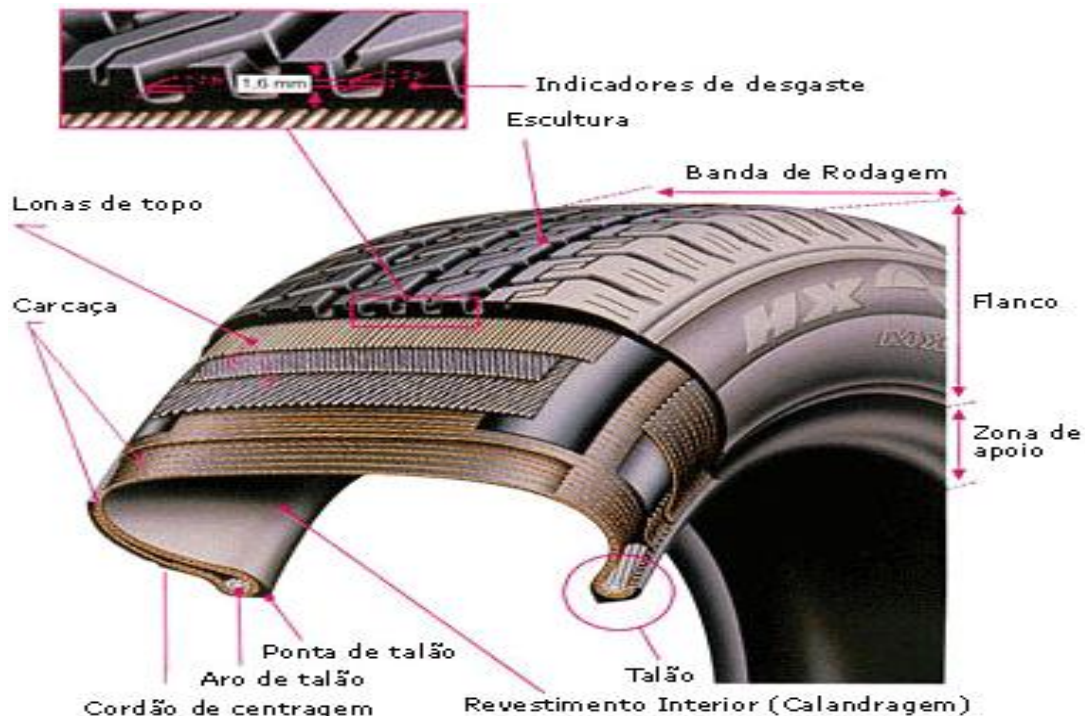


Figura 3.11- Corte de secção de um pneu

### 3.1.12- Alguns exemplos de tipos de pneus quanto á utilização



**Figura 3.12-** Ligeiros, 4\*4 e comerciais



**Figura 3.13-** Camiões e autocarros



**Figura 3.14-** Agrícolas

## 3.2- Energia Utilizada

Energia é toda a capacidade de produzir trabalho, isto é, tudo o que produz trabalho possui energia”. [Sindicato dos Fogueiros de Mar e Terra, 1992].

A utilização de energia, na empresa, é uma operação fundamental para o uso racional dos combustíveis e energia eléctrica. A gestão energética tem de se basear em dados concretos, exigindo para isso um controlo rigoroso dos consumos das várias formas de energia. A energia é utilizada para satisfazer uma serie de necessidades, que no caso concreto, se referem ao processo produtivo da unidade industrial. Nos diferentes sectores da empresa consomem-se predominantemente, fuelóleo, vapor , energia eléctrica e ar comprimido.

O fuelóleo é um combustível formado por uma mistura de hidrocarbonetos que é usado na geração de calor e força motriz na alimentação da caldeira.

O vapor apenas sobrevém, quando a água recebe calor suficiente para distanciar as moléculas umas das outras. A vaporização efectua-se em duas fases: primeiro, atinge-se a temperatura de vaporização quando à água é fornecido calor; seguidamente, continuando a fornecer calor há uma mudança do estado líquido para o estado gasoso e obtém-se o vapor saturado. A produção de vapor para toda a fábrica é assegurada através de caldeiras do tipo aquatubular.

A energia eléctrica é fornecida por uma empresa exterior. Na fábrica a energia eléctrica é usada na iluminação e força electromotriz.

### 3.2.1. Central de produção de vapor

O vapor de água é utilizado como meio de geração, transporte e utilização de energia. Imensas razões coadjuvaram para a formação de energia através do vapor, uma vez que a água é o composto mais abundante na Terra, portanto de fácil obtenção, associado a um baixo custo. A necessidade de caldeiras de maior rendimento, rapidez de geração de grandes quantidades de vapor com níveis de pressão mais elevados, levou ao surgimento da caldeira aquatubular. Nesse tipo de caldeira, os tubos que, nas caldeiras flamatubulares, conduziam gases aquecidos, passaram a conduzir a água, o que aumentou muito a superfície de aquecimento, aumentando bastante a capacidade de produção de vapor.

Na fábrica, a produção de vapor é conseguida através de duas caldeiras do tipo aquatubulares utilizando como combustível o fuelóleo. Actualmente só se encontra em funcionamento uma caldeira: a nº1.

A tabela seguinte apresenta as características das caldeiras presentes na fábrica para o abastecimento de vapor à fábrica (dados fornecidos pela empresa.)

**Tabela 3.1-** Características dos geradores de Vapor.

<b>Parâmetros</b>	<b>Gerador nº1</b>	<b>Gerador nº2</b>
Nº de registo na D.G.E.	5613/P	7501
Fabricante	Babcock e Wilcox Portuguesa	Babcock e Wilcox Portuguesa
Nº de construção	OF-2005	47/2-6835
Modelo	n.i.	FM 9/39
Tipo	n.i.	D
Ano de fabrico	1968	1968
Superfície de aquecimento (m <sup>2</sup> )	207	368
Capacidade(m <sup>3</sup> )	6.7	8.3
Vaporização nominal (kg/h)	7000	10000
Vaporização máxima (kg/h)	-	12600
Timbre (MPag)[barg]	-	(3.6) [36.0]
<b>Tipo de vapor produzido</b>		
Saturado	Ok	Ok
Pressão do vapor (MPag)[barg]	-	(3.0)[30.0]
<b>Tipo de câmara de combustão</b>		
Câmara tubular	sim	Sim
Nº de passagens	1	1
<b>Conteudo de tubos</b>		
Tubos de agua (aquatubular)	Agua dentro tubos	Agua dentro de tubos
<b>Tipos de isolamento</b>		
Tijolos refractários ou isolantes	Sim	Sim

La mineral	Sim	Sim
<b>Proteccao exterior</b>		
Chapa aço galvanizado	Sim	Sim
Temperatura média das paredes (°C)	43	43
<b>Chaminé</b>		
Saida de fumos	Para cima	Para cima
Isolamento térmico	Lã mineral	Lã mineral
Protecção exterior	Chapa de aluminio natural	Chapa de aluminio Natural
Tiragem	aço	Aço
Material construção	Toma para amostra de particulas	-
Controlo ambiental		
Altura desde o nível do solo (m)	12	12
<b>Equipamento de queima</b>		
Marca	Steambloc	Steambloc
Modelo	STB 1300	STB 1300
Potência do motor ventilador(kW)	29.4	29.4
<b>Tipo de funcionamento</b>		
Pressão de arranque (bar)	20.0	30.0
Pressão de paragem(bar)	18	32
Injecção mecânica	sim	Sim
Pressão do combustível (bar)	20	21
Temperatura do combustível (°C)	120	112
<b>Combustível</b>		
Thick fuelóleo (3.5% m/mS)	Sim	Sim
Burner	Sim	Sim

**Tabela 3.2-**Elementos para a obtenção do rendimento da caldeira

<b>Parâmetros/regime funcionamento</b>	<b>minimo</b>	<b>médio</b>	<b>máximo</b>
Teor de O <sub>2</sub> (%)	10,6	12,9	2.3
Teor de CO <sub>2</sub> (%)	7.9	6,2	14,2
Teor de CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	472	391	220
Teor de SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	2600	2486	4480
Teor de NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	364	413	445
Excesso de ar de combustão (%)	102	158	12
Temperatura dos fumos (°C)	253,7	311,5	437,9
Temperatura água alimentação (°C)	103		
Temperatura ar combustão °C)	37,6		

### 3.2.2-Rede de vapor

Na figura 3.15 é apresentado a rede de vapor da empresa, para abastecimento do sector de vulcanização de pneus

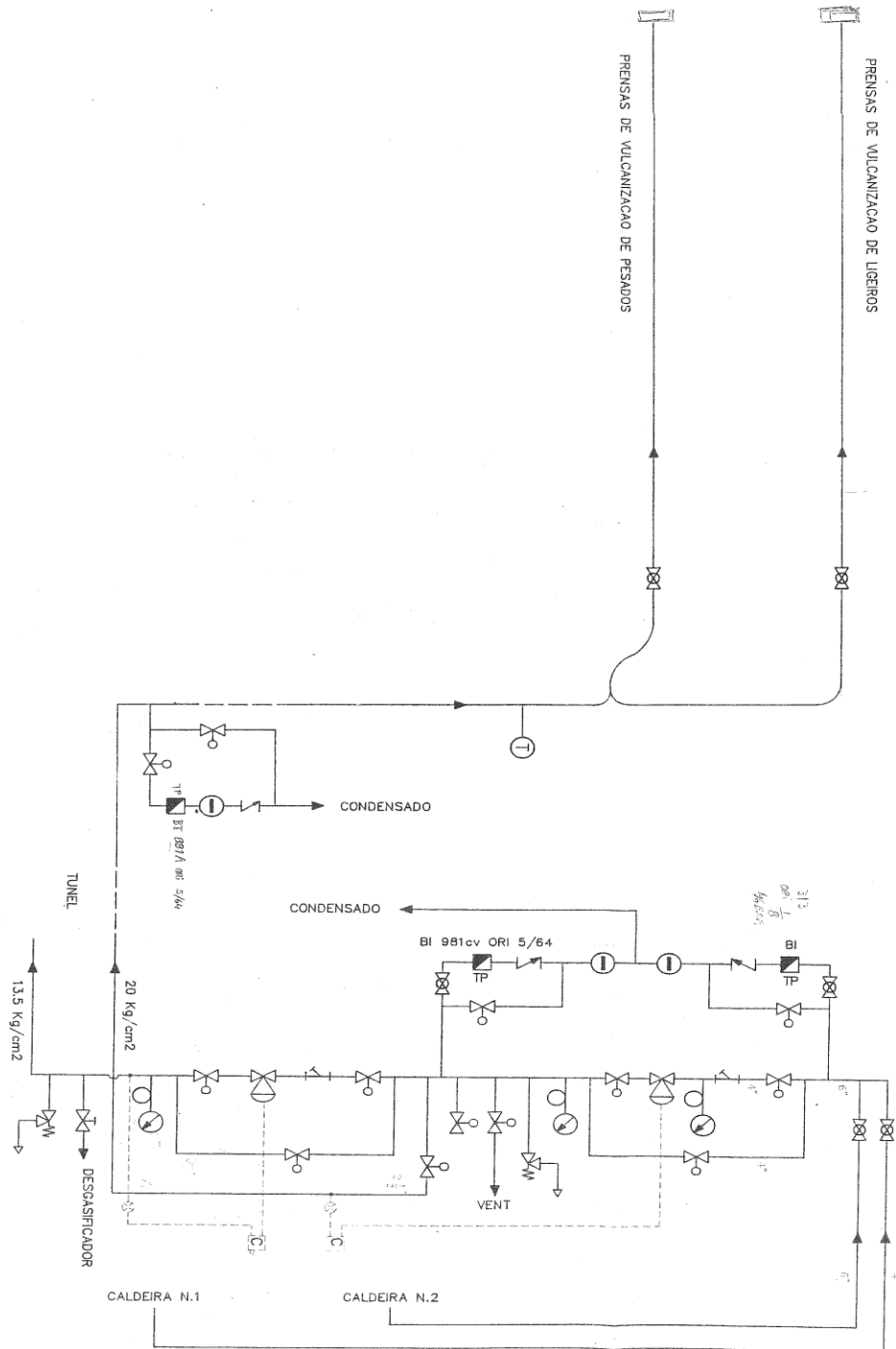


Figura 3.15- Diagrama ilustrativo da rede de vapor.

A água proveniente da rede pública, sofre um tratamento químico e segue para um descalcificador de modo a ser-lhe retirada iões de cálcio e magnésio. No permutador, a água já tratada é aquecida até 85°C e desloca-se para o desgasificador para se extrair os gases, como o oxigénio e o dióxido de carbono; nesta fase, são adicionados os condensados, que se encontravam no tanque de recuperação de condensados resultantes da linha do vapor. À saída do desgasificador a temperatura é de 85°C. Como esta caldeira não tem economizador, a mistura é alimentada à caldeira a 85°C.

Deveria ter um sistema de pré-aquecimento feito através da troca de calor com os gases de combustão que saem da caldeira, que possuem temperaturas bastante elevadas. Assim sendo, fazia-se o aproveitamento do conteúdo energético dos gases de combustão, que depois de cederem calor à água passam a estar a uma temperatura inferior e são libertados para a atmosfera.

O vapor produzido na caldeira, a uma temperatura de aproximadamente 235°C, é encaminhado para o colector de onde sai o vapor á pressão de 13,5 bar e 20bar depois de passar por um processo redutor de pressão (válvula redutora de pressão). Na fabrica, o vapor é utilizado no aquecimento das prensas, cilindros e câmaras. O condensado formado é purgado e segue para o tanque de recuperação de condensados para serem de novo alimentados à caldeira. Na água de alimentação à caldeira é imprescindível um tratamento químico adequado para impedir a geração de incrustações na caldeira, para minimizar a corrosão da mesma ou da tubagem de vapor, para evitar a contaminação do vapor de água que pode ser transportado quer por formação de espumas quer por arrastamento e para reduzir a corrosão devido ao oxigénio dissolvido na água de alimentação. [ASSIS, 2009]. É essencial recuperar o máximo de condensado presente na instalação. Após o vapor abastecer a fábrica é recuperado sob a forma de condensado. O condensado retorna quente e é uma importante fonte de água de reposição para a caldeira porque representa uma maior economia de energia no processo de geração de vapor, [ASSIS, 2009].

### **3.2,3-Análise da eficiência da caldeira**

As equações usadas, para a determinação da % excesso de ar, rendimento da caldeira e % de perdas presentes na mesma, podem ser encontradas no livro referido na bibliografia [BELEZA, 2001].

Para uma boa combustão é essencial uma boa mistura, ar suficiente, temperatura adequada e massa volúmica razoável para o desenvolvimento da chama. Para tal é fundamental a utilização de excesso de ar, da qual dependerá a composição dos gases

de combustão. O valor do excesso de ar é conhecido através da concentração dos gases de combustão e pode ser calculado seguindo a formula:

$$\% \text{excesso de ar} = \frac{\% O_2}{21\% - \% O_2} \times 100$$

Sendo a % O<sub>2</sub> medida nos gases de combustão.

A regulação do excesso de ar deve ter em conta dois factores:

- excesso de ar baixo - o combustível não é completamente queimado, aparecendo deste modo inqueimados. Tal facto, traduz uma perda de rendimento pois os elementos que não são queimados no interior da câmara de combustão, não libertam a sua energia que acaba por se perder sobre a forma de calor latente nos gases de combustão. Para além disso, parte do carbono que não é queimado acaba por sair pela chaminé, enquanto a restante parte é depositada nas paredes da câmara de combustão e forma-se uma camada isolante que dificulta a transferência de calor dos gases para a água/vapor.
- Excesso de ar elevado - provoca um maior arrefecimento da câmara de combustão e perde-se calor no aquecimento de um volume de ar desnecessário para a queima.

▪

Assim o excesso de ar deve ser mantido numa gama tal que permita obter uma combustão o mais completa possível. De uma maneira geral, o excesso de ar recomendado varia entre 5 a 15 %, correspondente a uma gama entre 1,2 a 2,5% de O<sub>2</sub> nos gases de combustão. [SPIRAX, 2010].

A eficiência da caldeira é determinada pelo seu rendimento, relação entre a energia transferida e a energia química fornecida pelo fuelóleo. Vulgarmente varia entre 70 a 90% e pode ser calculado por dois métodos: método directo e método indirecto, também designado por método das perdas. O rendimento foi determinado a partir do método das perdas, seguindo a equação abaixo

$$\eta = 100 - \sum \% \text{Perdas}$$

### 3.2.4-Perdas na caldeira

Considerou-se apenas a existência de perdas por radiação e convecção, perdas correspondentes aos gases secos de combustão e perdas pela humidade dos gases de combustão.

Para avaliação da perdas por radiação e convecção recorre-se ao quadro editado pela associação ASME (American Society Of Mechanical Engineers), tabela 3.3

**Tabela 3.3-** Perdas por radiação de caldeiras operando à capacidade nominal

Potência da Caldeira, MW	Perdas, %
0– 2	2,0
2– 5	1,6
>5	1,4

Como a caldeira opera em regime real, a perda por radiação e convecção obtém-se por meio da expressão seguinte:

$$\%Perda\ real = \frac{\text{carga nominal}}{\text{carga real}} \times \%perda\ nominal$$

As perdas relativas aos gases secos de combustão ( $P_{gc}$ ) obtidas a partir da equação abaixo:

$$\%P_{gc} = \frac{(K \times (T_g - T_{ar}) \times ((1 - (P_{cv} - P_{cf}))/100))}{(\%CO_2)}$$

$T_g$  e  $T_{ar}$  representam respectivamente a temperatura dos gases à saída e a temperatura do ar de combustão ( $^{\circ}C$ ). O segundo produto é desprezável, para o caso em concreto, sendo  $P_{cv}$  e  $P_{cf}$  as perdas associadas ao combustível nas cinzas volantes e nas cinzas fumo, respectivamente.  $K$ , é uma constante que depende do combustível utilizado, o seu valor encontra-se tabelado ou é calculado a partir da próxima equação, onde  $C$  é a fracção mássica de carbono e  $PCI$  o poder calorífico inferior do combustível.

$$K = \frac{255 \times C}{PCI}$$

As perdas devido à humidade dos gases de combustão incluem em geral as perdas devido à humidade do gás natural e do vapor de água resultante da combustão do hidrogénio, e calculam-se pela equação abaixo:

$$\%_{\text{PH}_2\text{SO}} = \frac{(H_2O + 9H)X(210 - 4,2XTar + 2.1xTag)}{P_{ci}}$$

H<sub>2</sub>O e H são respectivamente a % mássica da água e do hidrogénio presentes no gás natural. Neste caso considera-se que no gás natural a quantidade de água é desprezável – tabela 3.4.

A tabela 3.4 analisa os gases de combustão da caldeira de vapor nº1 e identifica o rendimento da mesma, para uma carga mínima e máxima, ou seja, trabalhando a 3 e 5 toneladas por hora. Os dados referentes às temperaturas, % O<sub>2</sub> e % CO<sub>2</sub> foram fornecidos pela empresa. Todos os outros, como % Excesso de ar, % perdas por convecção e radiação, % perdas pela chaminé e rendimento (%) da caldeira foram obtidos por cálculo de acordo com as equações anteriormente apresentadas. Os resultados obtidos podem ser analisado no exemplo de cálculo - anexo B.

**Tabela 3.4** Análise dos gases de combustão (%) e rendimento (%), na caldeira

	<b>Carga mínima de operação</b>	<b>Carga máxima de operação</b>
<b>Combustível</b>		
<b>Temp. dos gases sem economizador (°C)</b>	253,7	437,9
<b>Temp. ar combustão (°C)</b>	37,6	
<b>% Oxigénio</b>	10,6	10,6
<b>% Dióxido de Carbono</b>	7,9	14,2
<b>% Excesso ar</b>		159
<b>% Perdas por Convecção e Radiação</b>	-----	1,6+3,7
<b>% Perdas pela Chaminé</b>	-----	23,85
<b>Rendimento(%)</b>	72,45	

O rendimento da caldeira é baixo em carga máxima de operação. Os valores da % O<sub>2</sub> e % CO<sub>2</sub> são concordantes, como se averigua através de tabelas próprias [TAPLIN, 1991], tabela B.1. Verifica-se que, para um excesso de ar maior, o rendimento irá diminuir. A elevada percentagem de excesso de ar pode ser explicada devido a problemas ao nível do queimador, uma vez que deste modo a reacção de combustão carece de uma maior quantidade de excesso de ar.

Os gases de exaustão, trabalhando em carga máxima, abandonam a caldeira com uma temperatura superior à do vapor produzido, parte desse calor é recuperado através do economizador. Este equipamento é um aquecedor de água de alimentação que pode poupar até 5% de gás natural. [SPIRAX, 2010]

### 3.2.5– Análise da perda de energia em algumas válvulas do processo

Na verificação de um bom isolamento de válvulas deve-se quantificar a perda de calor a elas associada. Neste caso, o calor é perdido por convecção e radiação sendo por isso utilizada a seguinte expressão: [GEANKOPOLIS, 1993].

$$Q = h \times A \times (T_{vapor} - T_{ar}) + \varepsilon \times \sigma \times A \times (T_{vapor}^4 - T_{ar}^4)$$

Esta análise vai ser feita a algumas válvulas do processo de produção de placas de borracha, nas quais circula vapor saturado. Como estas válvulas não apresentam qualquer isolamento é de prever que as perdas de energia sejam bastantes elevadas. As perdas de energia existentes devem-se à convecção natural entre as paredes das válvulas e o ar ambiente e também à radiação entre a mesma superfície e a vizinhança.

Na falta de informação sobre a velocidade a que circula o vapor no interior das válvulas, e não sendo possível estimar a temperatura da parede interior ( $T_{pi}$ ), assume-se que esta temperatura será aproximadamente a temperatura do vapor ( $T_{vapor}$ ), 185°C. O coeficiente de transferência de calor por convecção forçada ( $h_{conv}$ . forçada) será bastante elevado. Por outro lado, sendo as válvulas de aço de material bom condutor, assume-se também que a  $T_{pi}$  é aproximadamente igual à temperatura da parede externa ( $T_{pe}$ ), tendo-se  $T_{vapor} = T_{pe}$ , motivo pelo qual se usa  $T_{vapor}$  na equação. No caso da radiação considera-se que as válvulas podem ser assumidas como um pequeno corpo num grande espaço e além disso, a temperatura da vizinhança ( $T_{vizinhança}$ ) é aproximadamente a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ),  $T_{vizinhança} = T_{ar}$ . Esta temperatura varia entre 35°C, na casa da caldeira e 20°C nos restantes espaços. Tendo em conta estas aproximações simplificativas, a determinação das perdas de energia é feita através da expressão identificada anteriormente. Em condições de convecção natural, a estimativa do coeficiente médio de transferência de calor por convecção é dado pela equação 3.8: [GEANKOPOLIS, 1993]

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{K} = a \times (Gr \times Pr)^m$$

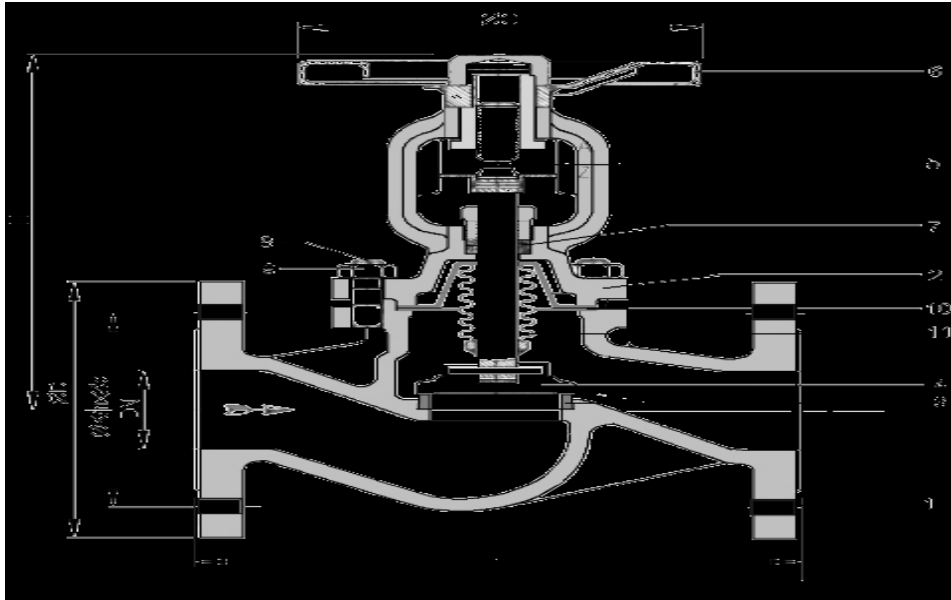
Onde  $a$  e  $m$  são constantes cujo valor se encontra tabelado em ábacos, tabela B.7. Para tal é essencial a determinação do número de Grashof ( $Gr$ ) e o número de Prandtl ( $Pr$ ). As propriedades físicas do ar são avaliadas à temperatura do filme,

$$T_{filme} = \frac{T_{pe} + T_{ar}}{2}$$

O parâmetro  $L_c$  representa uma dimensão característica tendo em consideração a geometria em causa. No caso concreto as válvulas são do tipo globo com fole, flangeadas, figura 3.16.



**Figura 3.16-** Válvulas do tipo globo com fole flangeada



**Figura 3.17** Válvula de globo com fole flangeadas. [fonte:www.pinhol.pt].

Face às figuras anteriores, em termos geométricos as válvulas podem ser aproximadas por 2 tubos cilindros, um horizontal – corpo da válvula – e outro vertical.

Isso implicaria que se determinasse dois coeficientes de convecção natural, usando a mesma equação. a dimensão característica,  $L_c$ , para o tubo horizontal é o diâmetro externo da válvula,  $D$ , para o tubo vertical a dimensão característica,  $L_c$ , será dado pela altura da válvula,  $H-(D/2)$ . Este procedimento leva a valores de coeficientes de convecção muito próximos, pelo que apenas se calculou o coeficiente de convecção para o tubo horizontal. Tendo em conta as mesmas figuras, o cálculo da área de transferência de calor é dado pela expressão:

$$A_v = \pi \times D \times L + \pi \times D \times K \times \left( H - \frac{D}{2} \right)$$

Para se determinar o comprimento do tubo equivalente à geometria da válvula,  $L_T$ , iguala-se a equação 3.10 à equação que permite determinar a área da parede lateral de um tubo cilíndrico

$$\pi \times D \times L + \pi \times D \times K \times \left( H - \frac{D}{2} \right) = \pi \times D \times L_T$$

As válvulas do processo estão presentes nos equipamentos apresentados na tabela 3.5, assim como os seus diâmetros nominais (DN), valores fornecidos pela empresa, diâmetro externo ( $D$ ), valores extraídos de ábaco - Anexo B tabela B.4.

Nesta tabela 3.5, apresenta-se também a perda de calor e perda de energia anual, determinados analiticamente, pela equação tendo usado as simplificações explicadas no texto.

**Tabela 3.5** Perda de calor,  $W$ , e perda de energia,  $Wh/ano$ , das válvulas presentes nos diferentes equipamentos.

Equipamentos	Diâmetro Nominal (DN)	Diâmetro externo (D0)mm	Pressão (bar)	Perda Calor(Q) w	Perda de Energia Wh/ano
<b>Caldeira 1</b>	1xDN150	285	31	1831	2885656
<b>Colector</b>	4xDN150	285	20	1679,4*4=6717,7	10587095,2
	3xDN125	250	20	1125,3*3=3375,9	5320418,4
	1Reg.DN150	285	20	1679,4	2646734,4
	1seg.DN125	250	20	1125,3	1773472,8
	1seg.DN125	250	13,5	1110,8	1750620,8
<b>Desgasificador</b>	2xDN50	165	13,5	384,2*2=768,4	1210998,4
	2xDN40	150	13,5	351,9*2=703,7	1109031,2
<b>Tubagem para</b>	1xDN125	250	20	1125,3	1773472,8

<b>Fabrica</b>					
<b>Tubagem para Fabrica</b>	1xDN125	250	13,5	1110,8	1750620,8
<b>Laboratorio</b>	1xDN50	165	13,5	384,2	605499,2
<b>Calandra</b>	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
<b>Misturador interno</b>	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
<b>Moinhos</b>	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
			<b>Ano (2010)</b>	<b>21574,1</b>	<b>34000781,6</b>

No ano de 2010, as perdas de energia na forma de vapor foram de 34.000.781,6 kWh/ano. Tendo sido este valor muito elevado é fundamental tomar medidas de melhoria, de modo a que estas perdas sejam reduzidas.

### 3.2.2. Energia Eléctrica

O desenvolvimento tecnológico alcançado na sociedade industrial actual, não seria viável sem a assistência de uma máquina, que na sua simplicidade e robustez, resolveu o problema de gerar movimento e energia mecânica. Essa máquina é o motor eléctrico de corrente alternada - Motor AC. Fabricou-se equipamentos eficientes de produção de ondas de corrente alternada com frequência e tensão controlada (conversores de frequência) que aplicadas ao motor fazem dele uma máquina tão versátil como o motor em contínuo, ou seja, com este tipo de conversor a energia mecânica pode ser produzida com motores eléctricos convencionais, de forma alternada controlada e flexível [FIGINI, 2002]. Como consequência atinge-se melhores prestações de eficiência e minimiza-se a contaminação ambiental.

O consumo de electricidade pelos motores eléctricos é influenciado por diversos factores que envolvem: a eficiência e o controlo da velocidade do motor, a qualidade da rede de alimentação, o dimensionamento dos sistemas, a rede de distribuição, os sistemas, mecânicos de transmissão, as práticas de manutenção e a eficiência do dispositivo utilizador final.

Na tabela 3.6 são apresentados os levantamentos energéticos por secção da empresa (média consumos diários).

**Tabela 3.6-** Media consumo diario de energia por sector da fabrica

<b>Sector</b>	<b>Consumo diário(kwh)</b>	<b>Consumo anual(kwh)</b>
Misturador interno	2300( <b>667 tep</b> )	447835.39(129,87tep)
Extrusora,moinhos,calandra	1725( <b>500.25 tep</b> )	335876.48(97,40tep)
Pré.confecção,confecção	1150( <b>333.5 tep</b> )	223917.65(64,93tep)
Vulcanização	1380( <b>400.2 tep</b> )	268701,18(77,92tep)
Centrais de fluidos	4025( <b>1167.25 tep</b> )	783711,78(227,27tep)
Diversos	920( <b>266.8 tep</b> )	179134,12(51,94tep)
<b>Total</b>	<b>11500( 3335 tep)</b>	<b>2239177(649,36tep )</b>

### 3.2.2.1 Iluminação

A iluminação é responsável por parte da energia eléctrica consumida pelo sector de produção de placas de borracha. O sistema, sobre o ponto de vista de eficiência energética, deve ser capaz de fornecer apenas a energia necessária ao desempenho de cada actividade específica. Assim, procura-se instalar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação adequados ao desempenho das actividades reduzindo quer o consumo de energia eléctrica quer os custos de manutenção dos sistemas. Para tal deve ser tomada em consideração os seguintes parâmetros:

- Níveis de iluminação: a iluminação deve garantir os níveis de iluminação adequados quer à exigência das tarefas a desempenhar quer às características dos operadores. A comissão Internacional de Iluminação (C.I.E) recomenda níveis mínimos de iluminação para as diferentes tarefas.
- Encandeamento, directo ou reflectido, produz desconforto por parte dos utilizadores, em casos extremos pode conduzir à incapacidade de visão. É frequente a ocorrência deste fenómeno em instalações com lâmpadas fluorescentes montadas em régua desprotegidas, mas a sua anulação é fácil sendo instalado armaduras de grelhas.
- Equilíbrio da iluminação, evitando assim uma iluminação demasiado forte e reduzindo contrastes acentuados.
- Restituição de cor é o modo como a luz reproduz as cores dos objectos. Uma característica relevante nas lâmpadas é o seu índice de restituição de cor, factor determinante para a sua escolha em função das tarefas a desempenhar. [ASSIS, 2009]

Num sistema de iluminação subsistem lâmpadas de diferentes tipos, umas são utilizadas para fins de iluminação enquanto outras possuem aplicações especiais. Estas lâmpadas oferecem diferentes eficiências luminosas e o seu valor vem expresso em Watt, no caso particular são usadas lâmpadas fluorescentes T8. As luminárias presentes, armadura

fluorescente, são equipamentos que permitem filtrar, repartir e transformar a luz das lâmpadas, concebendo todos os acessórios para as fixar, proteger e unir ao circuito de alimentação eléctrica, apresentando também um rendimento. Os balastros, que são normais, são aparelhos que na sua constituição têm duas funções primordiais: limitar a corrente para valores apropriados para que possa atravessar a lâmpada e produzir o efeito desejado; elevar a tensão de forma a estabelecer uma diferença de potencial, para dar origem ao arco electrónico que provocará a descarga na lâmpada. [ADENE, 2004]

### **3.2.2.2 Central de ar comprimido**

Nos diversos processos industriais, os sistemas de ar comprimido desempenham papel fundamental na produção e representam parcela expressiva do consumo energético da instalação. Entretanto, nem sempre estas instalações recebem os cuidados devidos, passando a ser uma fonte constante de desperdícios.

Um sistema de ar comprimido correctamente projectado irá proporcionar maior fiabilidade e eficiência nas ferramentas pneumáticas, bem como diminuirá os custos com energia.

Esse sistema compreende três componentes principais: o compressor, a rede de distribuição e os pontos de consumo.

Vários factores influenciam a escolha de um compressor: vazão, pressão e qualidade requerida do ar. Existem diferentes tipos de compressores: alternativos, rotativos (palhetas ou parafusos), roots, etc.

A questão referente a qualidade do ar é muito importante e envolve:

- a) impurezas sob a forma de partículas sólidas, poeira ou ferrugem;
- b) água;
- c) óleo (proveniente da lubrificação)

Cada equipamento que consome ar comprimido possui suas exigências específicas quanto a qualidade do ar. Essas exigências devem ser atendidas para que o equipamento possa ter um desempenho adequado. Por exemplo: ar para instrumentação deve ser extremamente limpo; ar para pintura deve ser seco, isento de óleo e limpo.

Para assegurar a operação confiável do compressor, o ar aspirado deve ser limpo e não conter poeira, fuligem ou partículas sólidas, pois caso contrário, esses poluentes ficarão em suspensão no óleo lubrificante ocasionando desgaste excessivo dos cilindros, anéis dos pistões, mancais, etc. e conseqüentemente aumentando os custos de manutenção.

Assim, deve-se evitar que a casa dos compressores fique localizada perto de chaminés, caldeiras, fornos ou equipamentos de jactos de areia. Sua localização ideal é próxima dos principais pontos de consumo do ar, visando redução no custo da tubulação e menor perda de pressão.

Outro aspecto importante para assegurar a aspiração de um ar limpo é a instalação no compressor de um filtro de admissão de ar (no mínimo a 2 metros acima do solo e 2,5 metros de distância de qualquer parede). Devem ser instalados directamente na entrada do compressor.

Em linhas de aspiração muito longas, poderá haver condensação de água e nesse caso, aconselha-se o uso de separadores de humidade antes do cilindro.

Um compressor de ar deve ter necessariamente um sistema de regulação de capacidade de tal ordem que adapte sua produção as condições de consumo. Os tipos básicos para compressores de deslocamento positivo são:

a) Parada e partida

O motor eléctrico que acciona o compressor é desligado quando a pressão do reservatório atinge um determinado valor. Geralmente utilizado em compressores pequenos e serviço intermitente.

b) Velocidade constante

O motor eléctrico que acciona o compressor permanece sempre ligado. Quando a pressão do reservatório atinge determinado valor pré-fixado, a válvula de aspiração será deslocada e permanecerá aberta. A partir desse momento, todo ar aspirado será descarregado pela válvula.

c) Duplo controle

Permite operar o compressor dos dois modos (Parada/Partida e Velocidade Constante) por intermédio de uma chave selectora. Recomendada para casos de consumo irregular com picos de demanda por um certo período e longos períodos de pouca ou nenhuma utilização de ar comprimido.

Actualmente os sistemas de controle dos compressores utilizam a tecnologia dos inversores de frequência. Desse modo, a velocidade do motor eléctrico é continuamente ajustada dependendo da demanda de ar, resultando em considerável economia de energia. Isso elimina a necessidade de alterar o controle para "partida" e "parada" ou então promover uma actuação na válvula de sucção.

O ar aspirado pelo compressor contém um determinado teor de humidade. Posteriormente, a medida em que o ar comprimido arrefecer na linha de distribuição, a humidade se condensará na tubulação, provocando corrosão, além de ser extremamente indesejável em certas aplicações como a pintura, transporte pneumático e na vida útil das ferramentas. Desse modo, após a compressão, torna-se necessário reter o vapor d'água existente no ar. Isso será feito no arrefecedor posterior que reduzirá a temperatura do ar comprimido a uma temperatura inferior a da linha de distribuição e conseqüentemente condensará esse vapor d'água. Junto a esse arrefecedor existirá um separador de condensado onde a humidade do ar será retirada manual ou automaticamente.

O melhor local para o arrefecedor é directamente junto ao orifício de saída do ar.

Uma instalação de ar comprimido é normalmente equipada com um ou mais reservatórios de ar que têm pôr funções: armazenar o ar comprimido para consumo; equalizar as pressões das linhas de consumo; eliminar humidade do ar.

A sua capacidade deve ser de 6 a 10 vezes a capacidade do compressor por segundo.

Deve ser instalado fora da casa dos compressores e preferencialmente na sombra.

Todo reservatório deve possuir válvulas de segurança, manómetro e termómetro.

Outra questão é que os arrefecedores posteriores e separadores de condensado, obtém uma eficiência na retenção da humidade em torno de 80-90%. O restante acompanha o ar comprimido até o reservatório, onde a velocidade é consideravelmente reduzida fazendo com que a maior parte dos condensados residuais deposite-se sobre as paredes e escorra para o fundo deste. Assim é muito importante a existência de uma tubulação de dreno na parte mais baixa do reservatório a fim de permitir a retirada dessa água (aproximadamente 5% da humidade é retida neste estágio).

Os secadores de ar consiste no terceiro estágio da separação da humidade contida no ar comprimido.

A sua finalidade é manter o ponto de orvalho do ar, na pressão de saída do sistema, 10°C abaixo da mínima temperatura do ambiente onde estão os instrumentos. Sua utilização é necessária quando um ar de altíssima qualidade é requerido (instrumentação). Os secadores podem ser por refrigeração ou com agentes secantes.

Para determinar-se o melhor traçado da tubulação é necessário conhecer a localização dos principais pontos de consumo, assim como os pontos isolados. O tipo de rede a ser empregue (aberta ou fechada) deve ser analisado. Em alguns casos pode ser adequado um circuito fechado em anel .

Outras situações podem exigir uma combinação de anéis e linhas directas ou ainda somente uma linha directa pode ser suficiente

A grande vantagem do circuito fechado é que se ocorrer um grande consumo inesperado de ar em qualquer linha, o ar pode ser fornecido de duas direcções, diminuindo a queda de pressão. Mesmo com todos os dispositivos de eliminação da humidade (já vistos), a tubulação nunca estará isenta do mesmo. Poços de drenagem (com purgadores) devem ser instalados ao longo da linha a fim de recolher o condensado formado. Recomenda-se que estes poços tenham diâmetro igual ao da linha e fiquem no máximo a 40 metros de distância entre si. Sempre que possível às tubulações devem ser inclinadas no sentido do fluxo, em pelo menos 5% para facilitar a drenagem e diminuir a perda de carga. As tomadas de ar devem ser feitas sempre pela parte superior da tubulação, assegurando assim fornecimento de ar de melhor qualidade ao equipamento. Mesmo com todos os dispositivos de eliminação da humidade (já vistos), a tubulação nunca estará isenta do

mesmo. Poços de drenagem (com purgadores) devem ser instalados ao longo da linha a fim de recolher o condensado formado.

Recomenda-se que estes poços tenham diâmetro igual ao da linha e fiquem no máximo a 40 metros de distância entre si. Sempre que possível às tubulações devem ser inclinadas no sentido do fluxo, em pelo menos 5% para facilitar a drenagem e diminuir a perda de carga.

As tomadas de ar devem ser feitas sempre pela parte superior da tubulação, assegurando assim fornecimento de ar de melhor qualidade ao equipamento. Definido o lay-out da rede principal, os ramais e as linhas de serviço aos pontos de consumo se definem os acessórios necessários.

#### a) Filtro comum

Para eliminação das partículas que contaminam o ar comprimido (poeiras, humidade, óleo) e que não foram eliminadas pelos separadores da rede.

#### b) Filtro coalescente

Sua principal característica é a grande eficiência na retirada do óleo contido no ar.

A coalescência consiste na colheita de finas partículas em suspensão nos gases, através da coesão entre elas, formando partículas maiores que são mais facilmente removíveis.

#### c) Reguladores de pressão

Muitas das operações devem ser realizadas a uma pressão menor que a da linha de alimentação. Para tanto, usam-se reguladores para adequar a pressão a um valor desejado. São usadas válvulas de acção directa (recomendadas para redução de pressão de um só equipamento, e em aplicações sem grandes variações de fluxo) e válvulas de duplo diafragma (recomendadas para fornecimento de ar a vários equipamentos).

#### d) Lubrificadores

Quando se usa o ar para accionar motores, cilindros, válvulas, etc. é necessário instalar um lubrificador. Os elementos lubrificantes reduzem o atrito e consistem basicamente de um depósito de óleo que tenha sido desenhado de tal maneira que, quando o ar circula por ele, uma quantidade de óleo transforma-se em neblina. O óleo conduzido pela corrente de ar, lubrifica as partes móveis do equipamento acoplado. Devem ser evitados óleos com aditivos, pois o óleo é eliminado sob a forma de vapor, através de válvulas de exaustão de equipamentos pneumáticos, sendo, portanto, tóxicos.

#### e) Purgadores

Eliminador automático da água que se acumula nas diferentes partes da instalação de ar comprimido. O mais indicado é do tipo eliminador de bóia, que abre somente para descarregar a água, fechando hermeticamente após a sua eliminação.

#### f) Separadores de humidade

Os purgadores se encarregam de descarregar a água acumulada no fundo do tubo principal ou em qualquer ponto da instalação; nada pode fazer com relação a neblina de gotículas de água que podem estar suspensa no ar. Os separadores de humidade cumprem esta missão.

#### g) Mangueiras

Ferramentas pneumáticas e outros dispositivos accionados a ar comprimido são em geral ligados à rede de ar através de mangueiras. Essas mangueiras devem ser leves, flexíveis e suportar a pressão do ar (4 a 5 vezes a pressão máxima de trabalho) e resistir as intempéries. É formada por uma camada externa de borracha, uma camada intermediária de lona e uma camada interna bastante lisa a fim de apresentar a mínima resistência possível para o ar. Mangueiras de 1" ou mais devem ser preferencialmente ser fixadas no solo.

#### h) Engates rápidos

As mangueiras são ligadas à rede e as ferramentas através de engates de acoplamento.

Quando a mangueira fica perfeitamente ligada à ferramenta, emprega-se com frequência o engate tipo rosca. O engate de garras é muito empregado e oferece grande possibilidade de combinação visto que as garras são de igual tamanho para vários diâmetros da tubulação ou mangueira.

Um sistema de ar comprimido ineficiente poderá acarretar um aumento significativo nos custos de operação. Os prejuízos resultantes dessa situação decorrem de uma baixa pressão de trabalho, aumento do ciclo de operação dos equipamentos, baixa qualidade do ar e vazamentos.

Os vazamentos merecem uma atenção especial, pois desperdiçam grande quantidade de energia. Na prática é impossível eliminar totalmente os vazamentos de um sistema, no entanto ele não deve exceder a 5% da capacidade instalada.

As tabelas a seguir apresentam o desperdício de energia provocado por vazamentos.

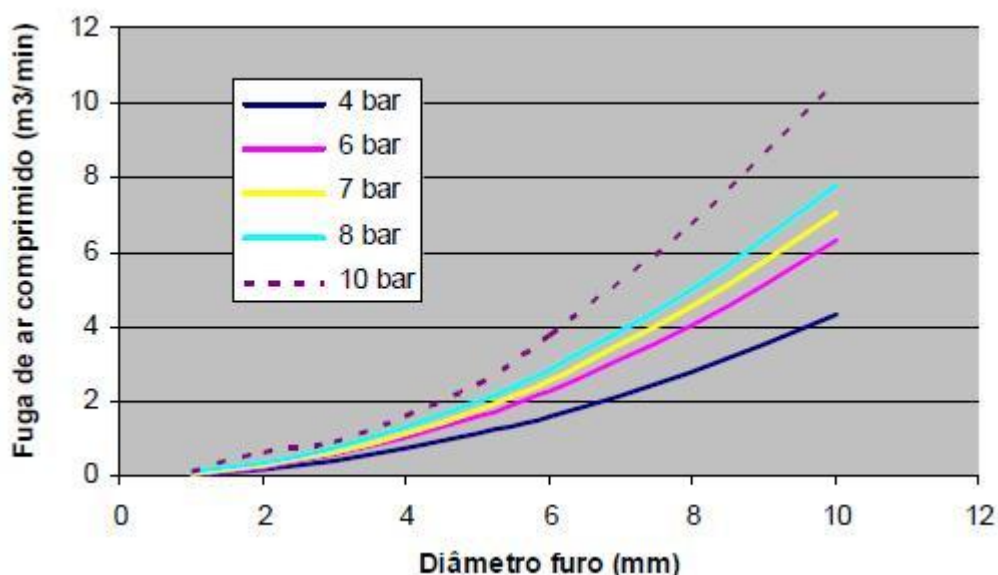
**Tabela 3.7-** Desperdício de energia provocado por vazamentos.

Diâmetro do furo	Vazamento de ar a 6 bar (~6 Kgf/cm <sup>2</sup> )		Potência requerida p/ compressão
	l/s	m <sup>3</sup> /min	
mm			kW
1	1	0,06	0,3
3	10	0,6	3,1

5	27	1,62	8,3
10	105	6,3	33

**Tabela 3.8-**Descarga de ar em L/s através de diferentes orifícios

Pressão Manométrica (bar)(kg/cm <sup>2</sup> )	0,5 mm	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm
	0,5	0,06	0,22	0,92	2,1
1,0	0,08	0,33	1,33	3,0	8,4
2,5	0,14	0,58	2,33	5,5	14,6
5,0	0,25	0,97	3,92	8,8	24,4
7,0	0,33	1,28	5,19	11,6	32,5



**Figura 3.18-**Fugas de ar comprimido vs diâmetro do furo

A temperatura de sucção do ar que será aspirado pelo compressor é um aspecto muito importante, pois quanto mais quente o ar, menor o rendimento da instalação.

Para cada 4°C de acréscimo na temperatura do ar aspirado, o compressor consumirá 1% a mais de potência para entregar o ar nas mesmas condições.

Este aumento de temperatura diminui a massa específica do ar (massa de ar contida numa unidade de volume) em cerca de 1%, resultando também 1% a mais no volume.

Para satisfazer essa condição é necessário captar o ar fora da casa dos compressores.

É de fundamental importância o conhecimento da quantidade exacta de ar necessária para todos os equipamentos pneumáticos existentes. Uma estimativa abaixo dessa

capacidade resultará em pressões inadequadas nos pontos de consumo e estimativas muito altas acarretarão grande investimento inicial e baixa eficiência do sistema.

A maioria dos equipamentos pneumáticos opera a 6 bar de pressão manométrica.

Para se conseguir esse nível de pressão no equipamento final é necessário um cuidadoso cálculo para se determinar a pressão de trabalho do compressor.

Devemos ter uma pressão de ar suficiente nos pontos de consumo. A pressão do ar exerce uma influencia muito grande no desempenho das ferramentas pneumáticas. Uma pressão de trabalho muito baixa, diminui a potência dessas ferramentas, resultando aumento no tempo de operação e conseqüentemente aumentando os custos de produção. Uma das causas da baixa pressão nos locais de consumo pode ser a produção de uma quantidade insuficiente de ar comprimido (é comum acrescentar novas ferramentas a uma linha já existente, sem verificar se isso afecta o desempenho do sistema).

Para evitarmos isso, devemos sempre ter um compressor de capacidade adequada a fim de manter a pressão nos pontos de consumo. Um sistema sobrecarregado, trabalhando além da capacidade original provocará uma baixa pressão nos locais de consumo.

Para obtenção da carga máxima do compressor será necessário somar o consumo total de todos os equipamentos consumidores existentes (em litros/s). A carga média do compressor é obtida multiplicando-se o consumo total de ar pelo factor de utilização (tempo estimado de trabalho de cada ferramenta durante uma hora).

Convém admitir uma tolerância de 10 a 15% da capacidade do compressor devido aos vazamentos e estimar o aumento da capacidade do sistema para futuras expansões também entre 10 a 15% ao ano.

**Tabela 3.9-** Características dos compressores existentes na empresa .

Marca	WORTHINGTOM	WORTHINGTOM
Modelo	Rollair	Creysensac
Tipo	Parafuso em banho de óleo	Parafuso em banho de óleo
Pressão (bar)	7	12
Potencia Motor	153 kW	153 kW
Capacidade	22 m <sup>3</sup> /min	18m <sup>3</sup> /min
Consumo especifico nominal	0,144 kW/m <sup>3</sup>	0,118 kW/m <sup>3</sup>
Velocidade(rot/min)	1468	1500
Regulação	Carga/ Vazio	Carga/ Vazio
Arrefecimento	Agua	Ar

Nota: temperatura média do ar ambiente junto aos compressores é cerca de 28°C

O tipo de rede a utilizado na empresa é aberta ou em galho.

Foram encontradas 25 pontos de fuga de ar cujo diâmetro médio dos orifícios é de 1mm. Dos 25 orifícios, 18 são da rede de 7bar e 7 são da rede de 12bar. Não é difícil perceber que durante um dia de trabalho há muito desperdício de ar e conseqüentemente consumo de energia eléctrica.

### 3.3. Dados de Produção

**Tabela 3.10-**Indicadores energéticos na empresa

Indicador		Obj.	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
Fuel gasto por produto vulc.	Kg por 100 kg	25.5	25.7	25.7	24.3	24.5	25.6	27.1	28.2
Energia gasta por produto vulc.	kWh por 100 kg	105.0	115.1	117.5	118.7	116	108.3	110.5	111.8

Dados fornecidos pela empresa

### 3.4. Distribuição dos consumos e custos

A análise energética de sistemas complexos deve ser precedida de um lúcido entendimento sobre consumo energético, pois a frase “Conservação de Energia” pode estabelecer armadilhas na percepção do fenómeno de transferência e conversão de energia.

As várias formas de energia não são igualmente convertidas umas nas outras, no entanto todas podem ser transformadas integralmente em calor mas o calor, por sua vez, não se pode converter completamente noutras formas de energia.

A energia final é a forma de energia medida em contadores, a sua unidade física depende da forma de energia, em causa sendo: kWh no caso da energia eléctrica, toneladas para o vapor. Todas as utilidades foram convertidas em tep (tonelada equivalente de petróleo), energia primária reconhecida mundialmente. A conversão de um consumo de energia final para um consumo de energia primária é feita de modo a avaliar da mesma forma todas as energias no processo para a produção de pneus.

### 3.5 Consumos globais

Na tabela seguinte encontram-se discriminados as utilidades utilizadas, consumos, custos (€) no ano de 2010.

**Tabela 3.11-** Utilidades utilizadas, consumos, custos (€) no ano de 2010.

Utilidades	Ton/kwh/kl	tep	Custo unitario(€)	Custo total(€)
vapor	10363,5ton	694.2	0,032	331632
Electricidade	2 239 177 kwh	649,4	0,135	302289
Thick fuelóleo	592,200 ton	573.8	0,56	331632
Gasóleo	6,360kl	5,3t	086	5469,6
<b>Total</b>		<b>1922,7</b>		<b>971022,6</b>

Como se pode verificar, a maior energia utilizada é o vapor cujo valor é de 694,2 tep.

De acordo com o Decreto-Lei nº.17313/2008, anexo E, a CAMAC é Consumidora Intensiva de Energia (CIE) uma vez que durante o período de auditoria, apresentou um consumo total de energia de 1922,7 tep, superior ao valor de 500 tep por ano referido no despacho.

A empresa deve produzir relatórios trimestrais da sua situação energética e enviar anualmente à DGEG um documento de comparação da situação real com as previsões indicadas no Plano de Racionalização. De cinco em cinco anos é necessário repetir a auditoria energética e apresentar um novo plano de racionalização.

### 3.6. Indicadores Energéticos

O artigo 7º, do Despacho nº 171449/2008 - anexo E, estabelece as metas relativas às intensidades energética e carbónica e ao consumo específico de energia.

O consumo específico é um indicador bastante utilizado quando se pretende equiparar a eficiência energética entre diferentes tecnologias no fabrico de pneus. É obtido com base na relação entre o consumo total de energia da fábrica (tep) e a produção (ton) da mesma, equação. A razão da sua utilização baseia-se na simplicidade do seu cálculo, compreendendo as grandezas de directa avaliação (caudal produtivo e potência). Esta

simplicidade não permite concluir o grau de otimização do processo. No período de auditoria, os valores anuais do Consumo Específico encontram-se abaixo tabelados

**Tabela 3.12-**Consumo específico anual de todas as utilidades

<b>Produção (ton.)</b>	<b>Consumo total Energia (tep.)</b>	<b>Consumo Específico (tep/ton)</b>
<b>1251</b>	<b>1307</b>	<b>1,04</b>

O Consumo Específico, durante o período da auditoria, é de 1.04 tep/ton e como já foi referido anteriormente, o consumo total de energia primária é superior a 500 tep. Então, de acordo com a legislação em vigor, a empresa é Consumidora Intensiva de Energia. A emissão excessiva de CO<sub>2</sub> e de outros gases com efeito estufa é uma das principais consequências da falta de eficiência no consumo de energia obtida da queima de combustíveis fósseis.

A Intensidade Carbónica é medida pelo quociente entre o valor das emissões dos gases de efeito estufa, resultantes das várias utilidades usadas na fabrica e o Consumo total de Energia (tep). Os valores da Intensidade Carbónica (kg CO<sub>2</sub> e/tep), durante o ano de 2010, encontram-se na tabela 3.13

**Tabela 3.13** Valores anuais da Intensidade carbónica (kgCO<sub>2</sub>/tep) nos diferentes sectores

<b>sector</b>	<b>Consumo anual(kwh)</b>	<b>Consumo anual(tep)</b>	<b>(%)</b>	<b>Custo (€)</b>	<b>Intensidad e Carbonica (kg Co2 e)</b>
Misturador interno	447835.39	129,87	20	60457,8	283895,8
Extrusora,moinhos,calandra	335876.48	97,4	15	45343,3	212916,4
Pré.confecção,confecção	223917.65	64,9	10	30228,9	141871,4
Vulcanização	268701,18	77,9	12	36274,7	170289,4
Centrais de fluidos	783711,78	227,3	35	105801,1	496877,8
Diversos	179134,12	51,9	8	24183,1	113453,4
<b>total</b>	<b>2239177</b>	<b>649,4</b>	<b>100</b>	<b>302288,9</b>	<b>1419588,4</b>

### 3.7. Recomendações

A Auditoria incidiu essencialmente sobre os aspectos relacionados com o consumo de energia das utilidades presentes na produção de pneus.

Este subcapítulo tem como intuito focar os principais pontos nos quais se deve efectuar a gestão dos recursos energéticos. Deste modo, são sugeridas medidas de boa gestão

energética, cuja implementação pode ser imediata na redução dos consumos energéticos e conseqüentemente na redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

São ainda definidas algumas medidas de intervenção estrutural, envolvendo algum investimento, mas com um tempo de retorno reduzido, que conduzem a fortes minimizações dos consumos das utilidades.

Na perspectiva de otimizar os sectores referidos, no capítulo seguinte, é feito um estudo do isolamento das válvulas na rede de distribuição de vapor e isolamento de tubos na área da vulcanização, no sector de iluminação e ar comprimido.

O programa de combate ao desperdício e a campanha educativa não se encerram e devem ser constantes, pois haverá sempre algum potencial de redução do consumo de energia e serão sempre necessárias orientações para garantir a mudança de hábitos.

Entre as acções de optimização que serão estudadas, poder-se-á ainda divulgar outras actividades a ter em conta na empresa, onde se destacam:

- Promover palestras de consciencialização, expondo os conceitos básicos do programa de luta contra os desperdícios de energia e os principais aspectos abordados no diagnostico.
- Divulgar os resultados, exibindo através de cálculos simples, os ganhos obtidos com as acções implementadas.

#### **4.Otimização Energética**

Verifica-se, nos dias actuais, uma crescente preocupação com o meio ambiente, e conseqüentemente uma maior consciência crítica que deve contribuir na busca da qualidade de vida e nas mudanças de hábitos de consumo.

Uma maneira mais eficiente de consciencialização será a criação de medidas de conservação de energia, que irão ser responsáveis pela elaboração das metas a serem atingidas, que visam disseminar a cultura do combate ao desperdício de energia, por parte da empresa. Deste modo podem-se desenvolver acções de intervenção em diversos tipos de equipamentos e sector. Para tal, e face aos objectivos do trabalho são analisados:

- Isolamento térmico – válvulas e tubos

Por falta de isolamento térmico ou por estar em estado precário de conservação, existe perdas de energia nos tubos e válvulas. Para solucionar este problema, sugere-se fazer uma análise na implementação do isolamento térmico às válvulas e tubos na área da vulcanização onde circula vapor (é onde se perde mais energia), fazendo duas análises:

- Poupança tendo em conta o isolamento usando lã de rocha;

- Custo de investimento.

Estudar-se-á de seguida a perda de calor e poupança de energia, caso esta medida de melhoria seja implementada, de modo a verificar se efectivamente é viável para a empresa esta alteração. Como é de esperar, com o isolamento térmico a temperatura da parede exterior das válvulas decresce; neste caso a temperatura passará para 40°C. Os cálculos são apresentados no anexo C.

Após a análise dos resultados verifica-se que com o isolamento das válvulas e tubos consegue-se uma elevada redução, 97% a 98% das perdas de energia para o exterior, tornando-se por isso uma medida de melhoria vantajosa para a empresa.

Estudou-se o custo a que este investimento está associado. Para isso foi necessária informação sobre o preço do isolamento para os diferentes diâmetros nominais, que foi fornecido pela empresa Portugalisol Norte – Isolamentos Industriais,Lda.

Através da análise de investimento afere-se a viabilidade económica do projecto, verificando se é rentável para a empresa implementar esta medida. A ferramenta de análise de investimento para examinar a rentabilidade do projecto utilizada é o Payback. Quanto maior o Pay-back, maior o tempo necessário para que o investimento seja pago pelos resultados anuais, sabendo também que maior é o risco, na medida que o futuro é incerto.

#### □ Iluminação

A concepção das instalações de iluminação, na óptica da utilização racional de energia, prevê a averiguação de alguns parâmetros fundamentais, para a diminuição dos consumos de energia, conservando ou aperfeiçoando as condições globais de iluminação nos espaços considerados. Assim, deve ter-se em consideração os seguintes aspectos:

- Dar prioridade à iluminação natural, mantendo sempre limpas as áreas de entrada de luz.
- Dimensionar correctamente os níveis de iluminação necessários para os locais, prevendo níveis gerais de iluminação e níveis específicos para os diferentes postos de trabalho.
- Optar correctamente pelo tipo de iluminação mais adequada para os locais em questão, tendo em atenção as necessidades de restituição de cor das tarefas a executar.
- Usar equipamentos de rendimento elevado, não só no que se refere ao tipo de lâmpadas como também das luminárias e seus acessórios.
- Empregar sistemas de controlo e comando automático nas instalações de iluminação.
- Proceder regularmente a operações de limpeza e manutenção das instalações, de acordo com um plano estabelecido, e apoiados preferencialmente nos sistemas

automáticos de gestão de iluminação.

- Decidir correctamente os períodos de substituição das lâmpadas, optando pelo método de substituição em grupos.

A eficiência de um sistema de iluminação amplia à medida que tornamos as salas mais claras devido à distribuição de cores nas superfícies envolventes dos espaços.

Este aumento pode atingir, em sistemas de iluminação indirecta, valores na ordem dos 50%, se compararmos com a situação inicial e definida como base. O aumento de rendimento do sistema pressupõe uma diminuição do número de luminárias instaladas e conseqüentemente uma redução da potência instalada e uma diminuição do consumo energético do sistema. [GASPAR, 2004]

Uma das melhorias a adoptar, por parte da empresa, neste sector diz respeito à alteração dos balastos normais por balastos electrónicos, uma vez que estes apresentam algumas vantagens, como são citadas posteriormente:

- Aumento da eficiência da lâmpada, devido ao uso de altas-frequências;
- Aumento do rendimento do balastro;
- Acréscimo da vida útil da lâmpada;
- Redução do ruído sonoro;
- Decrescimento das dimensões do balastro.

Torna-se necessário fazer um estudo sobre a viabilidade económica e a poupança de energia associada à implementação de balastos electrónicos. Para tal, de forma a averiguar qual a energia eléctrica consumida, em kWh/ano, com a utilização de balastos electrónicos e qual o seu investimento.

A utilização deste equipamento, mais eficiente, do ponto de vista energético traduz-se num decréscimo, anual e mensal, para cerca de 25% dos valores de energia relativa a utilização de balastos normais, [SIME, 2010].

O acréscimo do investimento inicial devido à implementação de balastos electrónicos não é recuperado em tempo aceitável, 10 anos. Uma das sugestões será analisar a recuperação do capital investido apenas para o sector de Pesagens/Mistura/ Zona 2ºPiso, por este ser o responsável por uma maior energia consumida.

#### □ Rede de ar comprimido

Uma das principais medidas a ser adoptadas pela empresa, é a análise da rede de distribuição de ar comprimido. É aconselhável que esta seja em forma de anel, para garantir que a pressão seja igual em todos os “pontos” da tubagem. No entanto, no caso particular, tal não acontece existindo deste modo queda de pressão, que faz com que os compressores trabalhem em esforço, para garantir que a pressão seja idêntica em todos os sectores da tubagem [NOVAIS, 1995].

## 5. Conclusão

A Auditoria incidiu essencialmente sobre os aspectos relacionados com as utilidades usadas, para a produção de pneus, e no respectivo consumo de energia.

O “saber usar” a energia é uma operação fundamental para a utilização racional dos combustíveis e energia eléctrica. Na empresa existem várias formas de energia: fuel oleol (utilizado para a alimentação da caldeira), vapor (usado para fornecer calor às prensas de vulcanização), e energia eléctrica (a iluminação e força electromotriz das máquinas).

Produz-se vapor na fábrica através da caldeira usando fuel oleo como combustível. Analisou-se os gases de combustão e o rendimento da caldeira, chegando-se à conclusão que a caldeira apresenta rendimento abaixo do recomendável 72%. Os valores em percentagem de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> estão concordantes mas a percentagem do excesso de ar encontra-se exagerada. O facto da % de excesso de ar ser elevado pode justificar o baixo rendimento da caldeira.

Analisou-se a perda de energia em algumas válvulas da rede de distribuição de vapor e nos tubos de transporte de vapor na área de vulcanização de pneus obtendo-se valores elevados para a perda de calor. Optou-se por otimizar este sector, através da implementação de isolamento..

A iluminação é responsável por parte da energia eléctrica consumida pela fábrica. Ainda pode ser reduzida através de medidas de melhorias.

A rede de ar comprimido também foi analisada sugeriu-se medidas de melhorias no que respeita as fugas verificadas na rede de ar comprimido.

A energia mais utilizada, na empresa, é o vapor, seguido da energia eléctrica .

De acordo com o Despacho nº 17313/2008, como a empresa apresentou, para o ano de 2010, um total de energia consumida superior a 500 tep e com um consumo específico de 1,04 tep/ton, a empresa é considerada consumidora intensiva de energia.

Como medida de optimização referiu-se a implementação do isolamento térmico usando lâ de rocha, desta forma reduz-se a perda de calor

Identificaram-se algumas medidas gerais a ter em conta no sector da iluminação, e estudou-se em concreto a alteração dos balastros normais, presentes na fábrica, por balastros electrónicos.

Na rede de ar comprimido é aconselhável que nesta sejam eliminadas as fugas verificadas

## 6. Bibliografia

- Assis, Carlos, “Apontamentos da cadeira - Utilidades na Indústria”, Mestrado em Engenharia Química, ramo: Optimização Energético na Indústria Química, ano lectivo 2008/2009.
- Barreto, Miguel, “Estratégia Nacional para a Energia”, artigo redigido em Fevereiro 2008.
- Braga, Luis, “Auditorias Energéticas Cenertec – documentação de apoio”, 2009.
- Figini, Gianfranco, “Electrónica Industrial – circuitos e aplicações”, Hemus Livraria, 2002.
- Gaspar, Carlos, “Eficiência Energética na Indústria – apontamentos”, curso de utilização racional de energia, 2004.
- Geankoplis, C.J., “Transport Processes and Unit Operations”, Prentice Hall Inc., 3 ed., 1993.
- CNB/CAMAC, “Informação interna – fornecida pela empresa”, .
- Novais, José, “Ar Comprimido Industrial – Produção Tratamento e Distribuição”, F. C. Gulbenkian, Lisboa, 1995.
- Perry, C. KirkPatrick, “Perry’s Chemical Engineers Handbook”, McGraw-Hill, 4 ed., 1950.
- Smith, Joseph, Ness, Hendrick, Abbott, Michael, “Introduction of Chemical Engineering Thermodynamics”, McGraw-Hill, 7ed., 2007.
- Taplin, Harry, “Combustion Efficiency Tables”, Libbum: The Fairmont Press, 1991.
- Teixeira, Francisco, Pereira, Isabel, Santos, Rosário, Beleza, Vitorino, “Tratamento de Água de Caldeiras” Publicações Politema, Colecção Cadernos Profissionais 7, 2001.

[www.eficiencia-energetica.com](http://www.eficiencia-energetica.com)

[www.cogenportugal.com/](http://www.cogenportugal.com/)

[www.bridgestone.pt/pneus](http://www.bridgestone.pt/pneus)

[www.valcontrol.pt](http://www.valcontrol.pt)

[www.bosch.com.br/br](http://www.bosch.com.br/br)

[www.fotoacustica.fis.ufba.br/daniele](http://www.fotoacustica.fis.ufba.br/daniele)

# Anexos

## Anexo A: Cálculo dos consumos e custos das várias utilidades

**Tabela A.1** Factores de conversão, para as diferentes utilidades presentes na empresa para o ano 2010

	tep/ton	FE	Custo	
		kg CO2 e/tep	€/kg	€/kWh
<b>Fuelóleo</b>	0,969	3236,4	0,56	
<b>Gasóleo</b>	0,835	3098,2	0,86	
<b>Vapor</b>	0,067	2724	0,032	
<b>Energia eléctrica</b>	tep/kWh	kg CO2 e/tep	€/kWh	
	0,000215	2186	0,135	

**Tabela A.2** Consumos por utilidade

Utilidades	Ton/kwh/kl	Tep	Custo unitario(€)	Custo total(€)
<b>Vapor</b>	10363,5ton	694.2	0,032	331632
<b>Electricidade</b>	2 239 177 kwh	649,4	0,135	302289
<b>Thick fuelóleo</b>	592,200 ton	573.8	0,56	331632
<b>Gasóleo</b>	6,360kl	5,3t	086	5469,6
<b>Total</b>		<b>1922,7</b>		<b>971022,6</b>

☐ Consumo de Energia Eléctrica

**Tabela A.3** Levantamento do consumo total de energia eléctrica por sector da fabrica

sector	Consumo diário(kwh)	Consumo diário(tep)	Consumo anual(kwh)	Consumo anual(tep)	(%)
Misturador interno	2300	667	447835.39	129,87	20
Extrusora,moinhos,calandra	1725	500.25	335876.48	97,4	15
Pré.confecção,confecção	1150	333.5	223917.65	64,9	10
vulcanização	1380	400.2	268701,18	77,9	12
Centrais de fluidos	4025	1167.25	783711,78	227,3	35
diversos	920	266.8	179134,12	51,9	8
<b>total</b>	<b>11500</b>	<b>3335</b>	<b>2239177</b>	<b>649,4</b>	<b>100</b>

### Iluminação

A iluminação é feita por lâmpadas do tipo fluorescente .Todas as lâmpadas têm luminárias e possuem balastro normal.

**Tabela A.4 – Consumos de energia por sector**

sector	Consumo diário(kwh)	Consumo diário(tep)	Consumo anual(kwh)	Consumo anual(tep)	(%)
Misturador interno	136	40	26870,1	7,8	20
Extrusora, moinhos,Calandra	103,5	30	20152,6	5,8	14,9
Pré.confecção,confecção	69	20	13435,1	3,9	10
vulcanização	82,8	24	16122,1	4,7	12,1
Centrais de fluidos	241,5	70	47022,7	13,6	34,9
diversos	55,2	16	10748	3,1	7,9
<b>total</b>	<b>690</b>	<b>200</b>	<b>134350,6</b>	<b>39</b>	<b>100</b>

O consumo de energia anual por parte da iluminação tem como valor 134350,6kWh/ano

A soma do consumo anual de energia eléctrica, por parte dos equipamentos e por parte da iluminação, corresponde ao consumo anual total de energia eléctrica. Esse valor é de **2239177 kWh/ano**.

De seguida é apresentado o custo (€) de energia eléctrica anual nas diferentes secções e a intensidade carbónica (kg CO2 e) correspondente

*Custo (€)*=447835.39\*0.135

*Custo (€)*=60457,8

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=129.87\*2186*

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=283895,8*

**Tabela A.5** Consumos de energia e intensidade carbónica

sector	Consumo anual(kwh)	Consumo anual(tep)	(%)	Custo (€)	Intensidade Carbonica (kg Co2 e)
Misturador interno	447835.39	129,87	20	60457,8	283895,8
Extrusora,moinhos,calandra	335876.48	97,4	15	45343,3	212916,4
Pré.confecção,confecção	223917.65	64,9	10	30228,9	141871,4
vulcanização	268701,18	77,9	12	36274,7	170289,4
Centrais de fluidos	783711,78	227,3	35	105801,1	496877,8
diversos	179134,12	51,9	8	24183,1	113453,4
<b>total</b>	<b>2239177</b>	<b>649,4</b>	<b>100</b>	<b>302288,9</b>	<b>1419588,4</b>

● **Consumo de Thick fuelóleo**

*Custo (€)=592,200\*.....*

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=573.8\*3236,4*

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=1857046,3*

**Tabela A.6**-Consumo de Thick fuelóleo

Thick fuelóleo		custo (€)	Intensidade Carbonica (kg Co2 e)
<b>592,200 ton</b>	<b>573.8 Tep</b>		1857046,3

● **Consumo de vapor**

Os consumos de vapor bem como a intensidade carbónica (kg CO<sub>2</sub> e) estão apresentados na tabela seguinte

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=694,2\*2724*

*Intensidade Carbónica( kgCO e)=1891000,8*

**Tabela A.7** Consumo de vapor vs intensidade carbónica

vapor		Intensidade Carbónica (kg Co2 e)
10363,5ton	694.2 Tep	1891000,8

### ☐ Consumo Específico

Para a determinação do consumo específico é necessário o cálculo do consumo anual de todas as utilidades. O consumo específico é a razão entre o consumo total de energia e a produção.

$$\text{Consumo específico( tep/ ton)} = \frac{\text{Consumo total Energia( tep)}}{\text{Produção(ton)}}$$

$$\text{Consumo específico( tep/ ton)} = \frac{1307 \text{ tep}}{1251 \text{ ton}}$$

$$\text{Consumo específico( tep/ ton)} = 1,04$$

**Tabela A.8** Consumo específico anual de todas as utilidades

Produção (ton.)	Consumo total Energia (tep.)	Consumo Específico (tep/ton)
1251	1307	1,04

### ☐ Repartição dos Consumos

Para a repartição anual dos consumos das várias formas de energia presentes na fábrica, é necessário o cálculo do percentual das mesmas, a tabela A.9 apresenta esses valores

**Tabela A.9** Percentual de energia consumida e custo das várias utilidades

utilidades	Ton/kwh/kl	Tep	% Energia	Custo(€)	
Vapor	10363,5ton	694.2	36,1	331632	

<b>electricidade</b>	<b>2 239 177 kwh</b>	<b>649,4</b>	<b>33,8</b>	<b>302289</b>	
<b>Thick fuelóleo</b>	<b>592,200 ton</b>	<b>573.8</b>	<b>29,9</b>	<b>331632</b>	
<b>gasóleo</b>	<b>6,360kl</b>	<b>5,3</b>	<b>0,3</b>	<b>5470</b>	
<b>Total</b>		<b>1922,7</b>	<b>100</b>	<b>971023</b>	

Exemplo de cálculo do percentual de energia consumida e do percentual de custo, para Thick fuelóleo .

$$\% \text{ Energia} = \frac{\text{Energia}}{\text{Energia total}} \times 100\%$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ Energia} = \frac{573,8}{1922} \times 100\%$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ Energia} = 29,85\%$$

## Anexo B: Central de Vapor – cálculo de perdas

### □ Análise dos gases de combustão

Todos os cálculos foram obtidos para o gerador nº1 uma vez que é a única que se encontra em laboração

De seguida é apresentada a tabela, mencionada no trabalho, que mostra os valores determinados da % de excesso de ar, % perdas por convecção e radiação, % perdas pela chaminé e rendimento (%) para uma carga média de operação

Exemplo de cálculo do % excesso de ar, para a carga mínima de operação.

$$\% \text{ excesso de ar} = \frac{\% O_2}{21\% - \% O_2} \times 100$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ excesso de ar} = \frac{12,9}{21 - 12,9} \times 100$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ excesso de ar} = 159\%$$

Apesar da % O<sub>2</sub>, % CO<sub>2</sub> e % Excesso de ar serem elevadas, os valores podem ser considerados concordantes entre si, conforme se pode verificar em tabelas apropriadas, para as temperaturas em causa, [TAPLIN, 1991].

Exemplo de cálculo das % perdas por convecção e radiação, para a carga média de operação.

Para o cálculo destas perdas é necessário determinar a potência da caldeira, Q<sub>v</sub>, para a carga nominal.

Usa-se a seguinte expressão

$$Q = m_v \times \Delta H_v$$

A produção nominal de vapor na caldeira em estudo é de 7 ton./h, que corresponde a um caudal de vapor de  $m_v = 1,94 \text{ kg/s}$ , e a pressão de operação 31bar.

Usando as tabelas de termodinâmica [SMITH, 2005]:

P = 31 bar, retirar:

$$H_v = 2804,2 \text{ kJ/kg}$$

$$H_L = 1013,62 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_v = H_v - H_L$$

$$\Leftrightarrow \Delta H_v = 2804,2 - 1013,62$$

$$\Leftrightarrow \Delta H_v = 1790,6 \text{ kJ/kg}$$

Então:

$$Q_v = 1790,6 \times 1,94$$

$$\Leftrightarrow Q_v = 3473,7 \text{ kW} \cong 3,5 \text{ MW}$$

Recorrendo à tabela seguinte:

**Tabela B.1** Perdas por radiação em Caldeiras, operando à carga nominal [ASME, 2010].

Potência da Caldeira, MW	Perdas, %
0– 2	2,0
2– 5	1,6
>5	1,4

Verifica-se que as perdas nominais são de 1,6 %.

A carga nominal é de 7 ton./h. A carga real é a carga mínima de operação que apresenta o valor de 3 ton/h

Com a equação seguinte é possível a determinação da % de perda real (% perda por convecção e radiação), [BELEZA, 2001].

$$\% \text{ Perdas real} = \frac{\text{carga nominal}}{\text{carga real}} \times \% \text{ perda nominal}$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ Perdas real} = \frac{7}{3} \times 1,6$$

$$\Leftrightarrow \% \text{ Perdas real} = 3,7$$

Exemplo de cálculo das perdas pela chaminé (%)

% perdas chaminé = % perdas gases secos combustão + % perda humidade dos gases combustão

% Perdas gases secos combustão

As perdas dos gases secos de combustão ( $P_{gc}$ ) são obtidas através da equação Indicada abaixo em que se considerou  $P_{cv}$  e  $P_{cf}$  desprezáveis [BELEZA, 2001]:

$$P_{gc} = \frac{K \times (T_{g\text{m}} - T_{ar})}{\%CO_2}$$

Então, para uma temperatura dos gases a 311,5 °C (carga média de operação) e  $k=0,54$

$$P_{gc} = \frac{0,54 \times (311,5 - 37,6)}{6},2$$

$$P_{gc} = 23,85 \%$$

Perdas relativas ao vapor de água presentes nos gases de combustão.

As perdas relativas ao vapor de água dos gases de combustão (PH<sub>2</sub>O) considereí desprezáveis uma vez quo o combustível tem pouco hidrogénio na sua composição

Depois de determinar todas as perdas, o rendimento da caldeira obtém-se a partir da equação:

$$\eta = 100 - \Sigma \% Perdas$$

Obtendo-se:

$$\eta_{carga\ media} = 100 - (23,85 + 3,7)$$

$$\Leftrightarrow \eta_{carga\ media} = 72,45\%$$

### **Análise da perda de energia em:**

1- Algumas válvulas do processo

Fez-se uma análise do tipo de válvula do processo (válvula de globo com fole, flangeadas) e através de tabelas apropriadas, Pinhol - Válvulas Industriais Zetkama, obtiveram-se as suas características, que se apresentam na tabela seguinte.

**Tabela B.2** Válvulas de globo com fole, flangeadas, dimensões características.

Fig. 234 C - Válvulas de globo com fole, flangeadas

Lista 4162

DN	L	Obturador	DK	D	K	n x d	PN	Kg	Código	Preço
DN15	130	plano	125	95	65	4 x 14	16/25	3,2	4234 C03D1	113,00 €
DN20	150	plano	125	105	75	4 x 14	16/25	3,9	4234 C04D1	120,00 €
DN25	160	plano	125	115	85	4 x 14	16/25	4,9	4234 C05D1	135,50 €
DN25	160	hiperbólico	125	115	85	4 x 14	16/25	5,0	4234 C05D7	165,00 €
DN32	180	plano	150	140	100	4 x 18	16/25	6,5	4234 C06D1	160,00 €
DN40	200	plano	150	150	110	4 x 18	16/25	9,0	4234 C07D1	182,00 €
DN40	200	hiperbólico	150	150	110	4 x 18	16/25	9,3	4234 C07D7	212,00 €
DN50	230	plano	150	165	125	4 x 18	16/25	11,0	4234 C08D1	212,00 €
DN50	230	hiperbólico	150	165	125	4 x 18	16/25	11,5	4234 C08D7	263,00 €
DN65	290	plano	175	185	145	** 4 x 18 * 8 x 18	16 16/25	15,8	4234 C09D1	291,50 €
DN80	310	plano	200	200	160	8 x 18	16/25	20,5	4234 C10D1	372,00 €
DN80	310	hiperbólico	200	200	160	8 x 18	16/25	21,4	4234 C10D7	455,00 €
DN100	350	plano	250	220	180	8 x 18	16	35,0	4234 C11C1	498,00 €
DN125	400	plano	300	250	210	8 x 18	16	49,0	4234 C12C1	767,00 €
DN150	480	plano	400	285	240	8 x 22	16	76,0	4234 C13C1	967,50 €

Na tabela B3 apresenta-se o número de válvulas e a respectiva dimensão, que estão associadas a cada equipamento.

**Tabela B.4** Perda de calor, W, e perda de energia, Wh/ano, das válvulas presentes nos diferentes equipamentos.

Equipamentos	Diâmetro Nominal (DN)	Diâmetro externo (D0)mm	Pressão(bar)	Perda Calor (Q)w	Perda de EnergiaWh/ano
Caldeira 1	1xDN150	285	31		
Caldeira 2	1xDN150	285	-		
Colector	4xDN150 3xDN125 1Reg.DN150 1seg.DN125 1seg.DN125	285 250 285 250 250	20 20 20 20 13		
Desgasificador	2xDN50 2xDN40	165 150	13,5 13,5		
Tubagem para fabrica	1xDN125		20		
Tubagem para fabrica	1xDN125	250	13,5		
Laboratorio	1xDN50	165	13,5		
Calandra	1xDN65	185	13,5		
Misturador interno	1xDN65	185	13,5		
Moinhos	1xDN65	185	13,5		

### Coeficiente médio de transferência de calor por convecção (h)

Para os colectores, caldeira e desgasificador, equipamentos presentes na casa das caldeiras, considerou-se uma temperatura média do ar durante o ano de 35 °C. O vapor encontra-se a uma temperatura de 220 ° C. A temperatura do filme, em cada espaço, é dada pela média das temperaturas, entre o vapor e o ar.

Em condições de convecção natural, o coeficiente médio de transferência de calor pode ser calculado através da expressão, [GEANKOPOLIS, 1993]:

$$Nu = \frac{h \times Lc}{k} = a \times (Gr \times Pr)^m$$

Onde **a** e **m** são constantes cujo valor encontra-se tabelado, para tal é essencial a determinação do número de Grashof (Gr) e o número de Prandtl (Pr); Lc, representa uma dimensão característica, que neste caso como os tubos são horizontais a dimensão a usar é o diâmetro externo; ΔT é a diferença positiva de temperaturas entre o vapor e a parede. As propriedades físicas são avaliadas à temperatura do filme.

Os valores das propriedades físicas do ar foram determinados com base nos valores da tabela abaixo que foram retirados de Geankopolis, 1993.

**Tabela B.5** Propriedades físicas do ar a uma dada temperatura

Propriedades físicas	valores
ρ	0,9224 kg/m <sup>3</sup>
Cp	1,011067 kJ/(kg.K)
M	2,20x10 <sup>-5</sup> Pa.s
K	0,03198 W/(m.°C)
B	0,002616 K <sup>-1</sup>
$\frac{g \times \beta \times \rho \times \mu^2}{\mu^2} \times \Delta T$	4,5x10 <sup>7</sup> 1/(K.m <sup>3</sup> )

Para a casa das caldeiras em que a T<sub>ar</sub>= 35°C, obtém-se:

$$Gr = \frac{g \times \beta \times \rho \times \mu^2}{\mu^2} \times Lc^3 \times \Delta T = 4,85 \times 10^7 \times (250 \times 10^{-3})^3 \times (235-35)$$

$$\Leftrightarrow Gr = 1,4 \times 10^8$$

$$Pr = \frac{cp \times \Delta T}{k}$$

$$\Leftrightarrow Pr = \frac{1,011067 \times 1000 \times 2,2 \times 10^{-5}}{0,03198}$$

$$\Leftrightarrow Pr = 0,696$$

$$Gr \times Pr = 1,40 \times 10^8 \times 0,696$$

$$\Leftrightarrow Gr \times Pr = 9,8 \times 10^7$$

Com o valor do  $Gr \times Pr$  recorre-se à tabela xx e retira-se o valores das constantes **a** e **m**.

$$a = 0,53$$

$$m = \frac{1}{4}$$

**Tabela B.7** Valores das constantes *a* e *m* a usar no cálculo do coeficiente médio de transferência de calor em convecção natural, [GEANKOPOLIS, 1993]

Geometria	$Gr \times Pr$	a	m
Placas ou cilindros verticais ( $L < 1m$ )	$< 10^4$	1,36	1/5
	$10^4 - 10^9$	0,59	1/4
	$> 10^9$	0,13	1/3
Cilindros horizontais ( $de < 0,20m$ )	$< 10^{-5}$	0,49	0
	$10^{-5} - 10^{-3}$	0,71	1/25
	$10^{-3} - 1$	1,09	1/10
	$1 - 10^4$	1,09	1/5
	<b><math>10^4 - 10^9</math></b>	<b>0,53</b>	<b>1/4</b>
	$> 10^9$	0,13	1/3
Placas horizontais: com a superfície superior aquecida ou a superfície inferior arrefecida	$10^5 - 2 \times 10^7$	0,54	1/4
	$2 \times 10^7 - 3 \times 10^{10}$	0,14	1/3
Placas horizontais: com a superfície inferior aquecida ou a superior arrefecida	$10^5 - 10^{11}$	0,58	1/5

Exemplo de cálculo do coeficiente médio de transferência de calor, para o

colector – 3×DN 125.

Usando a equação, vem:

$$h = \frac{(a \times (Gr \times Pr)^m)}{LC} \times k$$

Com  $L_c = D = 250 \text{ mm}$

$$\Leftrightarrow h = \frac{49,05 \times 0,03198^m}{\left(250 \frac{\square}{1000}\right)} = 6,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

A tabela seguinte apresenta os valores necessários de todos os membros utilizados no cálculo de  $h$ , bem como os respectivos valores deste nos diferentes equipamentos.

**Tabela B.8** Valores do coeficiente médio de transferência de calor.

Equipamentos	$\Delta T =$ T <sub>vapor</sub> - T <sub>média</sub> durante o ano (°C)	Gr	Pr	Gr*Pr	$a^*(Gr^*$ Pr) $)^m$	h (W/(m <sup>2</sup> . K))
<b>Caldeira 1</b>	235-35=200	$1,93 \times 10^8$	0,696	$9,8 \times 10^7$	52,7	5,9
<b>Colector</b>	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	0,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	0,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	0,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	0,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	0,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
	215-35=180	$1,36 \times 10^8$	0,696	$9,45 \times 10^7$	52,32	6,69
	215-35=180	$1,36 \times 10^8$	0,696	$9,45 \times 10^7$	52,32	6,69
	215-35=180	$1,36 \times 10^8$	0,696	$9,45 \times 10^7$	52,32	6,69
	215-35=180	$1,36 \times 10^8$	0,696	$9,45 \times 10^7$	52,32	6,69
	190-35=155	$1,17 \times 10^8$	0,696	$8,18 \times 10^7$	50,40	6,45

<b>Desgasificador</b>	190-35=155	$2,54 \times 10^7$	0,696	$1,77 \times 10^7$	34,35	7,32
	190-35=155	$2,52 \times 10^7$		$1,77 \times 10^7$	34,35	7,32
	190-35=155	$3,38 \times 10^7$		$2,35 \times 10^7$	36,9	7,15
	190-35=155	$3,38 \times 10^7$		$2,35 \times 10^7$	36,9	7,15
<b>Rede1 de vapor fabrica</b>	215-35=180	$1,88 \times 10^8$	,696	$1,31 \times 10^8$	56,65	6,35
<b>Rede2 de vapor fabrica</b>	190-35=155	$1,17 \times 10^8$	0,696	$8,18 \times 10^7$	50,40	6,45
<b>Laboratorio</b>	190-35=155	$3,38 \times 10^7$	0,696	$2,35 \times 10^7$	36,9	7,15
<b>Calandra</b>	190-35=155	$4,76 \times 10^7$	0,696	$3,31 \times 10^7$	40,21	6,95
<b>Misturador interno</b>	190-35=155	$4,76 \times 10^7$	0,696	$3,31 \times 10^7$	40,21	6,95
<b>Moinhos</b>	190-35=155	$4,76 \times 10^7$	0,696	$3,31 \times 10^7$	40,21	6,95

**Exemplo de cálculo da área de transferência de calor,  $A_v$ , para o colector – 3×DN 125.**

A área de transferência de calor,  $A_v$ , é determinada a partir das dimensões características, presentes na tabela abaixo

$$A_v = \pi \times D \times L + \pi \times D_k \times \left(H - \frac{D}{2}\right)$$

⇔

$$A_v = \pi \times 250 \times 10^{-3} \times 400 \times 10^{-3} + \pi \times$$

$$\left[300 \times 10\right]^{(-3)} \times \left[\left(400 \times 10\right)^{(-3)} - \left[\left(250 \times 10\right)^{(-3)} / 2\right]\right]$$

$$\Leftrightarrow A_v = 0,57 m^2$$

Pode-se analisar qual o comprimento do tubo horizontal equivalente à válvula que conduzirá à mesma área de transferência de calor.

$$\pi \times D \times L + \pi \times D_k \times \left(H - \frac{D}{2}\right) = \pi \times D \times L_r$$

$$\Leftrightarrow 0,57 = \pi \times 250 \times 10^{-3} \times L_r$$

$$\Leftrightarrow L_r = 0,73$$

Na tabela seguinte são apresentados os valores obtidos das Áreas, em m<sup>2</sup>.

**Tabela B.9** Valores das Áreas de transferência de calor

Equipamentos	Diâmetro Nominal (DN)	Diâmetro externo (de)mm	Área (Av) m <sup>2</sup>
Caldeira 1	1xDN150	285	0,854
Colector	4xDN150	285	0,854
	3xDN125	250	0,573
	1Reg.DN150	285	0,854
	1seg.DN125	250	0,573
	1seg.DN125	250	0,573
Desgasificador	2xDN50	165	0,189
	2xDN40	150	0,153
Tubagem para Fabrica	1xDN125		0,573
Tubagem para Fabrica	1xDN125	250	0,573
Laboratorio	1xDN50	165	0,189
Calandra	1xDN65	185	0,277
Misturador interno	1xDN65	185	0,277
Moinhos	1xDN65	185	0,277

### Perda de Energia

Depois de determinado todos os valores necessários, para a obtenção da perda de calor é utilizada a equação abaixo .

Sendo as válvulas de aço comercial considerou-se  $\varepsilon = 0,44$  , pela equação determina-se a perda de calor:

$$Q = h \times A_v \times (T_{\text{vapor}} - T_{\text{filme}}) + \varepsilon \times \sigma \times A_v \times (T_{\text{vapor}}^4 - T_{\text{filme}}^4)$$

$$\Leftrightarrow Q = (5,9 \times 0,854 \times 200 + 0,44 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 0,573 \times ((235+273)^4 - (35+273)^4))$$

$$\Leftrightarrow Q = 1831W$$

Como o tempo de funcionamento anual de 178 dias\*8 horas = 1576 h/ano,

a perda de energia obtém-se:

$$\text{Perda Energia} = Q \times \text{tempo funcionamento}$$

$$\Leftrightarrow \text{Perda Energia} = 1831 \times 1576$$

$$\Leftrightarrow \text{Perda Energia} = 2885656$$

Os valores obtidos apresentam-se na tabela xxx

**Tabela B.10** Valores de Perda de calor, W, e perda de Energia, Wh/ano, das válvulas presentes nos diferentes equipamentos

Equipamentos	Diâmetro Nominal (DN)	Diâmetro externo (D0)mm	Pressão(bar)	Perda Calor(Q)w	Perda de Energia Wh/ano
Caldeira 1	1xDN150	285	31	1831	2885656
Colector	4xDN150	285	20	1679,4*4=6717,7	10587095,2
	3xDN125	250	20	1125,3*3=3375,9	5320418,4
	1Reg.DN150	285	20	1679,4	2646734,4
	1seg.DN125	250	20	1125,3	1773472,8
	1seg.DN125	250	13,5	1110,8	1750620,8
Desgasificador	2xDN50	165	13,5	384,2*2=768,4	1210998,4
	2xDN40	150	13,5	351,9*2=703,7	1109031,2
Tubagem para fabrica	1xDN125	250	20	1125,3	1773472,8
Tubagem para fabrica	1xDN125	250	13,5	1110,8	1750620,8
Laboratorio	1xDN50	165	13,5	384,2	605499,2
Calandra	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
Misturador interno	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
Moinhos	1xDN65	185	13,5	547,2	862387,2
			<b>Ano (2010)</b>	<b>21574,1</b>	<b>34000781,6</b>

## 2-Tubos de transporte de vapor na área da vulcanização de pneus

$$Gr = \frac{g \times \beta \times \rho \times \Delta T \times L^3}{\mu^2} = 4,85 \times 10^7 \times (25,4 \times 10^{-3})^3 \times (185-35)$$

$$\Leftrightarrow Gr = 1,9 \times 10^8$$

$$Pr = \frac{c_p \times \mu}{k}$$

$$\Leftrightarrow Pr = \frac{1,011067 \times 1000 \times 2,2 \times 10^{-5}}{0,03198}$$

$$\Leftrightarrow Pr = 0,674$$

$$Gr \times Pr = 1,90 \times 10^8 \times 0,674$$

$$\Leftrightarrow Gr \times Pr = 1,2 \times 10^8$$

$$h = \frac{(a \times (Gr \times Pr)^m)}{LC} \times k$$

$$\Leftrightarrow h = \frac{55,47 \times 0,03198}{\left(25,4 \frac{m}{1000}\right)} = 70,1 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

## Perda de Energia

Sendo os tubos de aço comercial considerou-se  $\varepsilon = 0,44$ , pela equação abaixo determina-se a perda de calor:

$$l = 400 \text{ m}$$

$$Q = h \times A_v \times (T_{\text{vapor}} - T_{\text{filme}}) + \varepsilon \times \sigma \times A_v \times (T_{\text{vapor}}^4 - T_{\text{filme}}^4)$$

$$\Leftrightarrow Q = (70,5 \times 3,14 \times 0,025 \times 400 \times (185-35) + 0,44 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 3,14 \times 0,025 \times 400 \times ((185+273)^4 - (35+273)^4))$$

$$\Leftrightarrow Q = 359474,2 \text{ W}$$

Como o tempo de funcionamento anual de foi de 178 dias\*8horas = 1576 h/ano,

a perda de energia obtém-se:

$Perda\ Energia = Q \times tempo\ funcionamento$

$\Leftrightarrow Perda\ Energia/ano = 35947.2 \times 1576$

$\Leftrightarrow Perda\ Energia = 566531384W$

**Tabela B.11** Perda de calor, W, e perda de energia, Wh/ano, dos tubos na área da vulcanização

<b>Equipamentos</b>	<b>Comprimento(m)</b>	<b>Diâmetro externo (D0)m</b>	<b>Pressão(barr)</b>	<b>Perda Calor (Q)w</b>	<b>Perda de EnergiaWh/ano</b>
Prensa nº1	15	0.0254	16		
Prensa nº2	15	0.0254	16		
Prensa nº3	15	0.0254	16		
Prensa nº4	15	0.0254	16		
Prensa nº5	20	0.0254	16		
Prensa nº6	20	0.0254	16		
Prensa nº7	20	0.0254	16		
Prensa nº8	20	0.0254	16		
Prensa nº9	20	0.0254	16		
Prensa nº10	20	0.0254	16		
Prensa nº11	20	0.0254	16		
Prensa nº12	20	0.0254	16		
Prensa nº13	20	0.0254	16		
Prensa nº14	20	0.0254	16		
Prensa nº15	20	0.0254	16		
Prensa nº16	20	0.0254	16		
Prensa nº17	20	0.0254	16		
Prensa nº18	20	0.0254	16		
Prensa nº19	20	0.0254	16		
Prensa nº20	20	0.0254	16		
Prensa nº21	20	0.0254	16		
<b>TOTAL</b>	<b>400</b>	--	----	359474.2	566531384

## Anexo C – Cálculos de Optimização

### 1- algumas válvulas do processo

#### □ Isolamento térmico

Com o isolamento térmico a temperatura da parede exterior desse isolamento diminui para 40°C. Os valores da perda de calor, Q, e de perda de energia, apresentados na tabela C.1, são determinados da mesma forma, apenas com a alteração da temperatura da parede.

**Tabela C. 1** Perda de calor, Perda de Energia e respectiva poupança com a implementação de isolamento térmico.

Equipamentos	Diâmetro externo (D0)mm	Perda Calor(Q) w	Perda de Energia Wh/ano	Poupança de Energia %
Caldeira 1	285	38,15	1576h×38,15=60119,4	
Colector	285	40,28	1576h×40,28=63481,3	
	250	18,28	1576h×18,28=28809,28	
	285	40,28	1576h×40,28=63481,3	
	250	18,28	1576h×18,28=28809,28	
	250	18,28	1576h×18,28=28809,28	
Desgasificador	165	9,62	1576h×9,62=15161,12	
	150	7,95	1576h×7,95=12529,2	
Tubagem para fabrica	250	18,28	1576h×18,28=28809,28	
Tubagem para fabrica	250	18,28	1576h×18,28=28809,28	
Laboratorio	165	9,62	1576h×9,62=15161,1	
Calandra	185	18,28	1576h×18,28=28809,28	
Misturador interno	185	18,28	1576h×18,28=28809,28	
Moinhos	185	18,28	1576h×18,28=28809,28	
	<b>Ano (2010)</b>	<b>434</b>	<b>460407,7</b>	<b>98%</b>

#### Exemplo de cálculo para o investimento

O isolamento será feito com lã de rocha, cuja densidade é de 100 kg/m<sup>3</sup>. A empresa, Portugalisol Norte – Isolamento Industriais, forneceu as espessuras indicadas para os

diversos diâmetros e custos respectivos ao ano de 2010. As características dos dados recolhidos na empresa encontram-se nas tabelas seguintes.

**Tabela C. 2** Preço para tubagem recta, sem acessórios.

	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150
$\phi$ (")	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
Espessura (mm)	40	40	60	60	60	80	80	80	80	80	100
Eco (€/ml)	11,07	11,39	14,30	14,62	15,05	19,14	20,0	20,86	22,36	23,65	29,13

**Tabela C. 3** Tabela de equivalências para válvulas (€/ml).

$\phi$ (")	Válvulas
Até 1 1/2"	2,5
De 2 a 3"	2,5
De 4 a 6"	3,0
De 8 a 10"	3,0
>10"	3,0

O investimento apresentado na tabela c4 é determinado a partir das tabelas C.2 e tabela C.3.

De seguida apresenta-se o exemplo de cálculo para a caldeira (DN 150)

Para o diâmetro nominal de 150 é retirado da tabela C.2

$$\phi=6''$$

tabela C.3 retira-se a equivalência correspondente:

$$\text{equivalências} = 3,0 \text{ml} / \text{unidade}$$

$$\text{Investimento}(\text{€}) = 3 \times 29,13$$

$$\Leftrightarrow \text{Investimento}(\text{€}) = 87,39$$

**Tabela C. 4-Investimento**

Equipamentos	Diâmetro Nominal	Diâmetro externo	Investimento €
--------------	------------------	------------------	----------------

	(DN)	(D0)mm	
<b>Caldeira 1</b>	1xDN150	285	<b>87,39</b>
<b>Colector</b>	4xDN150	285	87,39×4= <b>349,56</b>
	3xDN125	250	70,95×3= <b>212,85</b>
	1Reg.DN150	285	<b>87,39</b>
	1seg.DN125	250	<b>70,95</b>
	1seg.DN125	250	<b>70,95</b>
<b>Desgasificador</b>	2xDN50	165	47,85×2= <b>95,7</b>
	2xDN40	150	37,62×2= <b>75,25</b>
<b>Tubagem para fabrica</b>	1xDN125	250	<b>70,95</b>
<b>Tubagem para fabrica</b>	1xDN125	250	<b>70,95</b>
<b>Laboratorio</b>	1xDN50	165	<b>47,85</b>
<b>Calandra</b>	1xDN65	185	<b>50</b>
Misturador interno	1xDN65	185	<b>50</b>
Moinhos	1xDN65	185	<b>50</b>
		<b>Ano (2010)</b>	<b>1389,79</b>

### Exemplo de cálculo para o retorno do investimento Pay-back

Para o cálculo do **Pay-back** é necessário a determinação da Poupança de energia, com a implementação do isolamento térmico.

$$Poupança\ energia = Perdas\ energia\ sem\ isolamento - Perdas\ energia\ com\ isolamento$$

$$Poupança\ energia\ (kWh/ano) = 34000,7816 - 460,4077$$

$$\Leftrightarrow Poupança\ energia\ (kWh/ano) = 33540,3739$$

Da tabela, a Poupança de energia é de 33540,3739×0,032€=**1073,29€/ano**

$$Pay\ back = \frac{Investimento\ total\ (€)}{Poupança\ energia\ \left(\frac{€}{ano}\right)}$$

$$Pay\ back = \frac{1389,79}{1073,29} = 1,29\ anos$$

### 2-Tubos de transporte de vapor na área da vulcanização de pneus

□ Isolamento térmico

Com o isolamento térmico a temperatura da parede exterior desse isolamento diminui para 40°C. Os valores da perda de calor, Q, e de perda de energia, apresentados na tabela C.5, são determinados da mesma forma, mesma equação apenas com a alteração da temperatura da parede

**Tabela C. 5** Perda de calor, W, e perda de energia, Wh/ano, dos tubos na área da vulcanização

Equipamentos	Comprimento(m)	Diâmetro externo (D0)m	Pressão(bar)	Perda Calor (Q)w	Perda de EnergiaWh/ano	Poupança de Energia com isolamento %
Prensa nº1	15	0.0254	16			
Prensa nº2	15	0.0254	16			
Prensa nº3	15	0.0254	16			
Prensa nº4	15	0.0254	16			
Prensa nº5	20	0.0254	16			
Prensa nº6	20	0.0254	16			
Prensa nº7	20	0.0254	16			
Prensa nº8	20	0.0254	16			
Prensa nº9	20	0.0254	16			
Prensa nº10	20	0.0254	16			
Prensa nº11	20	0.0254	16			
Prensa nº12	20	0.0254	16			
Prensa nº13	20	0.0254	16			
Prensa nº14	20	0.0254	16			
Prensa nº15	20	0.0254	16			
Prensa nº16	20	0.0254	16			
Prensa nº17	20	0.0254	16			
Prensa nº18	20	0.0254	16			
Prensa nº19	20	0.0254	16			
Prensa nº20	20	0.0254	16			
Prensa nº21	20	0.0254	16			
<b>TOTAL</b>	<b>400</b>	--	----	359474.2	566531384	<b>(97%)</b>

$$Q = h \times A_v \times (T_{\text{vapor}} - T_{\text{filme}}) + \epsilon \times \sigma \times A_v \times (T_{\text{vapor}}^4 - T_{\text{filme}}^4)$$

$$\Leftrightarrow Q = (70,5 \times 3,14 \times 0,025 \times 400 \times (40 - 35) + 0,44 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 3,14 \times 0,025 \times 400 \times ((40 + 273)^4 - (35 + 273)^4))$$

$$\Leftrightarrow Q_{\text{perdido}} = 10599,5W$$

Como o tempo de funcionamento anual foi de 178 dias\*8horas = 1576 h/ano,

a perda de energia obtém-se:

$$\text{Perda Energia} = Q \times \text{tempo funcionamento}$$

$$\Leftrightarrow \text{Perda Energia/ano} = 10599,5 \times 1576$$

$$\Leftrightarrow \text{Perda Energia} = 16704812W$$

$$\text{Poupança de Energia} = 566531384 - 16704812$$

$$\text{Poupança de Energia} = 549826572w \text{ (97\%)}$$

**Tabela C. 6- poupança total de energia**

<b>Equipamentos</b>	<b>Comprimento(m)</b>	<b>Diâmetro externo (D0)m</b>	<b>Poupança de energia(W)</b>
Prensa nº1	15	0.0254	
Prensa nº2	15	0.0254	
Prensa nº3	15	0.0254	
Prensa nº4	15	0.0254	
Prensa nº5	20	0.0254	
Prensa nº6	20	0.0254	
Prensa nº7	20	0.0254	
Prensa nº8	20	0.0254	
Prensa nº9	20	0.0254	
Prensa nº10	20	0.0254	
Prensa nº11	20	0.0254	
Prensa nº12	20	0.0254	
Prensa nº13	20	0.0254	
Prensa nº14	20	0.0254	
Prensa nº15	20	0.0254	
Prensa nº16	20	0.0254	
Prensa nº17	20	0.0254	
Prensa nº18	20	0.0254	
Prensa nº19	20	0.0254	
Prensa nº20	20	0.0254	
Prensa nº21	20	0.0254	
<b>TOTAL</b>	<b>400</b>	--	<b>549826572 (97%)</b>

$$\Leftrightarrow \text{Poupança energia( kWh /ano)} = 549826,572$$

Utilizando a tabela C.6, a Poupança de energia é de  $549826,572 \times 0,032\text{€} = 17594,5\text{€/ano}$

Investimento

$$400m \cdot 13,30 = 5320€$$

$$Pay\ back = \frac{Investimento\ total(\text{€})}{Poupan\ ca\ energia\left(\frac{\text{€}}{\text{ano}}\right)}$$

$$Pay\ back = \frac{5320}{17594,5} = 0,3 \text{ anos}$$

## • Iluminação

**cálculo para a determinação da poupança de energia com a utilização de balastros electrónicos, na fábrica**

$$Poupan\ ca\ balastros\ electr\ onicos = Energia\ (kWh/ano) \times 0,25$$

$$\Leftrightarrow Poupan\ ca\ balastros\ electr\ onicos = 134350,6 \times 0,25$$

$$\Leftrightarrow Poupan\ ca\ balastros\ electr\ onicos = 33587,7\ kWh/ano$$

**Cálculo para a determinação do investimento, na fabrica**

Conforme a potência das lâmpadas tem-se os seguintes preços, tabela C,7

**Tabela C. 7** Custo, €, por potência, W.

Potência (W)	Custo (€)
58	51,8
36	40,88

De acordo com a tabela c7 a potência das lâmpadas na fabrica são:

58w(sem balastros electronicos)	36w(com balastros electronicos)
100*2=200	280*2=360

*Investimento = Quantidade de luminarias × custo*

$$\Leftrightarrow \text{Investimento} = (200 \times 51,8)$$

$$\Leftrightarrow \text{Investimento} = 1036 \text{ €}$$

### Central de ar comprimido

**cálculo para a determinação do volume de ar proveniente de fugas na rede considerando a pressão de 6bar**

$$\text{volume ar (m}^3/\text{min)} = 0,06$$

$$\text{volume ar/min /orificio} = 0,06 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{volume ar total (m}^3/\text{min)} = 0,06 \times 25$$

$$\text{volume ar total (m}^3/\text{min)} = 1,5$$

$$\text{Potência requerida para recompressão (kW/min)} = 0,144 \text{ kW} \times 1,5 = 0,216$$

$$\text{Potência requerida para recompressão (kW/h)} = 0,216 \times 60$$

$$\text{Potência requerida para recompressão (kW/h)} = 12,96$$

$$\text{Desperdício (€/h)} = 12,96 \text{ kW/h} \times 0,135 \text{ €}$$

$$\text{Desperdício (€/h)} = 1,75$$

$$\text{Desperdício (€/8h)} = 14 \text{ €}$$

### Tabela C. 8 potência requerida

Diâmetro do furo	Vazamento de ar a 6 bar (~6 Kgf/cm <sup>2</sup> )		Potência requerida p/ compressão
	mm	l/s	m <sup>3</sup> /min
1	1	0,06	0,3
3	10	0,6	3,1
5	27	1,62	8,3
10	105	6,3	33