



Otimização Energética de Equipamentos Produtivos

HELENA SOFIA MOURÃO VINHAS

Outubro de 2016

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado em Engenharia Química

Ramo: Otimização Energética na Indústria Química

Otimização Energética de Equipamentos Produtivos

Dissertação

Helena Sofia Mourão Vinhas

Orientadora (ISEP): Doutora Paula Neto

Co-orientadora (ISEP): Doutora Anabela Guedes

Orientador (Continental-Mabor): Eng.º Roberto Araújo

Agradecimentos

Desejo agradecer à administração da Continental Mabor, pela oportunidade de realização do projeto curricular e tornar assim possível o meu primeiro contacto com a indústria.

Ao Eng.º Rui Nunes, chefe do departamento de engenharia, pela sua disponibilidade, interesse, experiência e incentivo que demonstrou ao longo de todo o projeto.

Ao meu orientador na Continental Mabor, Eng.º Roberto Araújo, pelo seu acolhimento, preocupação e ajuda para que o trabalho decorresse de acordo com o planeado e os resultados pretendidos fossem atingidos.

A toda a equipa envolvida nos departamentos de engenharia, nas áreas de construção, calandragem e energia, por toda a ajuda e cooperação. Principalmente à Eng.ª Filipa Trigo e Eng.ºs Emídio Arcipreste e Joaquim Ascensão, pelas excelentes pessoas que são, atenciosos e pacientes para comigo e que ajudaram em tudo o que podiam para que conseguisse alcançar os objetivos pretendidos.

Agradeço imenso às minhas orientadoras do ISEP, Doutora Paula Neto e Doutora Anabela Guedes, por todo o apoio, ajuda, dedicação e preocupação. Em particular à Doutora Paula Neto que foi incansável ao longo deste período.

Um enorme obrigada aos meus pais e família pelo carinho, amor e apoio incondicional demonstrado ao longo de todos estes anos. A todos os meus professores, colegas e amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

Por fim, agradeço ao meu namorado Nuno Guedes pelo apoio, companheirismo, ajuda na realização deste e outros trabalhos e pela paciência e compreensão ao longo desta jornada.

Resumo

A indústria automóvel é um dos setores mais exigentes do mercado global, por este motivo empresas como a Continental Mabor S.A., líderes no fabrico de pneus, necessitam de estar na linha da frente no que toca a programas de melhoria continua e de uma gestão orientada para um crescimento rentável e sustentado.

Nesta perspetiva, a presente dissertação tem como principal objetivo encontrar soluções de otimização energética, em dois sectores muito importantes no processo de fabrico dos pneus: calandragem e construção.

O desenvolvimento deste estudo passou por diversas fases como, a integração na empresa no sentido de perceber o processo produtivo da Mabor, a análise das utilidades consumidas relativamente ao ano 2015 nos sectores já referidos, nomeadamente na calandra de quatro rolos número dois e módulo de construção número um, identificação de oportunidades de redução de consumos sem prejuízo do rendimento produtivo e por fim a apresentação de soluções que, ao serem implementadas pela empresa, irão permitir essa mesma redução.

Para o módulo de construção foram sugeridas e avaliadas medidas de otimização, como: a deteção e redução de fugas de ar comprimido, a aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo, a criação do modo “stand-by” na máquina, a diminuição da pressão de trabalho de ar comprimido dos utilizadores de alta pressão e estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético. Com a redução de pelo menos 60 % do valor das fugas atuais, verificou-se que é possível economizar, no módulo 1, 448 €/ano o que em 48 máquinas se traduz em 21 482 €/ano. Quanto à aplicação do variador de frequência, a impossibilidade de contabilizar o consumo após a sua aplicação levou à análise da sua substituição por outro ventilador. Com isso, consegue-se uma poupança de 922 €/ano. O que face ao investimento, implica um *payback* de 4,9 anos. Com a criação do modo “stand-by” na máquina nas paragens de almoço/jantar/ceia e ausência de plano, concluiu-se que nos 48 módulos se conseguia poupar mais de 17 000 €/ano. Diminuindo a pressão de trabalho dos utilizadores de alta pressão economiza-se, 23 € anuais no módulo 1. Ao considerar que as 48 máquinas consomem o mesmo caudal de ar, tem-se uma economia anual superior a 1 000 €.

Já para a calandra de 4 rolos, as propostas analisadas foram a implementação de um pré-arranque, o reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa e, tal como no módulo de construção, o estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético. A implementação de um pré-arranque

na máquina leva a uma economia anual superior a 30 000 €, sem que seja necessário qualquer investimento. O reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa oferece uma poupança anual de 3 103 €. Neste caso, é necessária a aquisição de um permutador, o que conduz a um investimento de 3 600 €. Ou seja, um *payback* mínimo de 1,2 anos.

Em suma, de todas as soluções indicadas, as que mais se destacam são as implementações do modo “stand-by” no módulo de construção e do pré-arranque na calandra. Ambas podem ser adotadas para outro tipo de máquinas, não necessitam de investimento adicional e são das que apresentam valores superiores de poupança obtida.

Palavras - chave: Otimização energética, indústria automóvel; vapor; ar comprimido; energia elétrica

Abstract

The automobile industry is one of the most demanding sectors of the market. Therefore, companies like Continental Marbor S.A, market leaders need to be at the top of their game in what concerns programs of Continuous Improvement and need a management in which goals area a sustained and rentable progress.

In this perspective, the main aim of this dissertation study is to find solutions so that it would be possible optimize the two productive equipment's of tire manufacturing process.

The development of this study has gone through several phases such as, the integration in the company in order to study the production process of Mabor, analysis of the different utilities consumed for the year 2015 in the sectors mentioned above, the calender four rolls number two and construction module number one, identification of consumption reduction opportunities without harm the production output and finally the presentation of solutions that, when implemented by the company, will allow the same reduction.

For the construction module have been suggested as optimization measures, the detection and reduction of air leakage, the application of a frequency invertor on the motor of the centrifugal fan, the creation of "stand-by" mode into the machine, the decrease of compressed air operating pressure in high-pressure users and establish a default threshold for energy consumption. With the reduction of at least 60% of the value of the leakage current, it has been found that it is possible to save, in the module 1, 448€ / year, which translates into 21 482 € / year to 48 machines. The application of frequency invertor in the fan motor, due to the inability to account for engine use after the implementation of it, was analyzed the possibility of replacing it with another fan. With the replacement of the current fan with the SODECA fan selected, the total save ascend to 922 € / year. The investment for the 23 machines would be 4 526 €, implying a payback of 4.9 years. With the creation of "stand-by" mode on the machine in the lunch stops / dinner / supper and no plan periods, it was concluded that the 48 modules could save more than 17 000 € / year. Decreasing the working pressure of high-pressure users saves 23 € per year in the module 1. When considering the 48 machines use the same air flow, there is an annual saving of 1 000 €.

As for the four calender rolls have been proposed to implement a pre-boot, the recycling of the condensates from the greenhouse air heating, and such as in the construction module, establishing a default limit for the energy consumption. The implementation of a pre-boot the machine leads to an annual savings of 30 000 €, without

any investment required. The reuse of the condensates from the greenhouse air heating offers an annual saving of 3 103 €. In this case, it is necessary to obtain a heat exchanger, leading to an investment 3 600 €. That translate in a minimum payback of 1.2 years.

In short, from all the solutions listed, those that stand out are the implementation of "stand-by" mode in the construction module and the pre-start in calender. Both can be adopted for other types of machines, do not require additional investment and are those that have higher saving values.

Índice Geral

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice Geral.....	ix
Índice de figuras.....	xi
Índice de tabelas	xv
Nomenclatura.....	xvii
1 Introdução.....	1
1.1 Apresentação da Empresa.....	1
1.2 Panorama energético Mundial e Nacional.....	6
1.2.1 Energia na Indústria.....	8
1.2.2 Eficiência Energética.....	11
1.3 Enquadramento do trabalho.....	12
1.4 Objetivos do trabalho.....	13
1.5 Estrutura da dissertação	13
2 Produto e Processo de Fabrico.....	15
2.1 Constituição de um Pneu.....	15
2.2 Processo de Fabrico de um Pneu.....	17
3 Caso prático em estudo.....	21
3.1 Descrição do Processo do módulo de construção.....	21
3.2 Descrição do Processo da Calandra.....	28
4 Levantamento e Avaliação Energética.....	35
4.1 Produção e Consumo energético da Continental Mabor.....	35
4.2 Consumos energéticos e específicos do Módulo de Construção 1.....	37
4.3 Consumos energéticos e específicos da Calandra de 4 rolos 2.....	40
5 Otimização Energética dos equipamentos.....	45
5.1 Módulo de Construção 1.....	45

5.1.1	Deteção e redução das fugas de ar comprimido	45
5.1.2	Aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo	47
5.1.3	Criação do modo “Stand – By” na máquina.....	49
5.1.4	Diminuição da pressão de trabalho do ar da linha de alta pressão	55
5.1.5	Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético	57
5.2	Calandra de 4 Rolos número 2.....	57
5.2.1	Implementação de um pré-arranque na máquina.....	57
5.2.2	Reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa.....	59
5.2.3	Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético	62
6	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	63
	Referências Sitográficas e Bibliográficas.....	65
	ANEXOS	67
A.	Dados Fornecidos pela empresa	67
B.	Dados e exemplos de cálculo relativos às propostas de otimização do módulo de construção.....	81
C.	Dados e exemplos de cálculo relativos às propostas de otimização da calandra de 4 rolos	95

Índice de figuras

Figura 1.1 – Sede da Continental em Hannover, Alemanha (Continental, 2016).	1
Figura 1.2 – Continental AG nas diferentes zonas do Mundo (Continental, 2016).	2
Figura 1.3 – Instalações da Continental Mabor (Mabor, 2016).	4
Figura 1.4 - Valores do grupo Continental (Continental, 2016).	4
Figura 1.5 – Organigrama da Continental-Mabor (Mabor, 2016).....	5
Figura 1.6 – Representação gráfica da evolução do consumo total de energia no Mundo (Enerdata, 2016).	6
Figura 1.7 – Representação gráfica da evolução do consumo total de energia em Portugal (Enerdata, 2016).....	7
Figura 1.8 – Ciclo de energia (EDP, 2009).	8
Figura 1.9 - Representação gráfica da energia consumida mundialmente por sectores (IEA, 2015).	9
Figura 1.10 – Representação gráfica do consumo energético por sectores, em Portugal (Santos, 2009).	10
Figura 1.11 - Mapa da contribuição para o consumo de energia na indústria (%) (Agency, 2016).	10
Figura 1.12 - Objetivos gerais da aplicação dos conceitos de eficiência energética (RNAE, 2016).	11
Figura 1.13 - Pilares do desenvolvimento sustentável (BCSD, 2013).	12
Figura 2.1 - Ilustração representativa da composição genérica dos materiais constituintes de um pneu para carros ligeiros de passageiros (Continental, 2008).	15
Figura 2.2 - Principais elementos que integram a composição geral de um pneu (Continental, 2008).	16
Figura 2.3 – Diversas fases da produção de pneus da Continental Mabor com respetivas matérias-primas e máquinas (Nogueira, 2014).	18
Figura 3.1 - Fluxo de materiais da KM.	21
Figura 3.2 - Fluxo de materiais da PU.	22
Figura 3.3 – Desenho representativo das principais peças que constituem a KM 7 (Machinery, 2014a).	23
Figura 3.4 - Cassetes de alimentação da camada interior, primeira e segunda tela têxtil (Machinery, 2014a).	24

Figura 3.5 - Cassetes de alimentação para as tiras de reforço com cabo de aço (Machinery, 2014a).....	25
Figura 3.6 - Cassetes de alimentação para as tiras de reforço com têxtil (Machinery, 2014a).....	25
Figura 3.7 - Cassete que alimenta as paredes laterais à máquina (Machinery, 2014a).	26
Figura 3.8 - Desenho representativo das peças mais importantes da máquina PU 7 (Machinery, 2014b).....	26
Figura 3.9 - Cassete de alimentação ao tambor da tela metálica (Machinery, 2014b).	27
Figura 3.10 - Máquina PU, processo final da montagem do pneu em verde (P. Continental, 2016).	28
Figura 3.11 - Fluxo de materiais da calandra de 4 rolos têxtil.	29
Figura 3.12 - Mesa de borracha proveniente da Misturação e que alimenta a extrusora neste processo.....	29
Figura 3.13 - Alimentação da extrusora com o composto de borracha (Morais, 2016).	30
Figura 3.14 - Rolo do tecido que irá servir de forro para a tela têxtil, já calandrada (Morais, 2016).....	30
Figura 3.15 - Rolo do tecido em verde (Morais, 2016).	31
Figura 3.16 - Moinho de homogeneização.....	31
Figura 3.17 - Moinho final ou de alimentação.	32
Figura 3.18 - Calandra têxtil de quatro rolos número 2.	32
Figura 3.19 - Prensa de emenda.	33
Figura 3.20 - Local onde se acumula o tecido calandrado.	34
Figura 4.1 – Representação gráfica do volume de produção mensal relativa a 2015.	35
Figura 4.2 - Repartição percentual da produção que se dirige ao mercado de substituição e mercado de origem.	36
Figura 4.3 – Representação percentual do consumo energético total da fábrica.	36
Figura 4.4 - Representação gráfica dos gastos monetários que a CMIP teve no ano de 2015, relativamente a cada utilidade.....	37
Figura 4.5 - Representação percentual do consumo energético do módulo de construção.	38
Figura 4.6 - Custos correspondentes ao consumo energético de ar comprimido e eletricidade do módulo de construção.....	38

Figura 4.7 - Consumo energético mensal do ano de 2015 nas máquinas KM e PU.	39
Figura 4.8 – Quantidade mensal de pneus em verde construídos pelo módulo 1.	39
Figura 4.9 – Representação gráfica do consumo específico mensal do módulo de construção.	40
Figura 4.10 - Representação percentual do consumo energético da calandra de 4 rolos 2, dividido pelas respetivas utilidades.	41
Figura 4.11 - Custos correspondentes ao consumo energético de ar comprimido, vapor e eletricidade da calandra de 4 rolos.	41
Figura 4.12 - Consumo energético total ao longo do ano de 2015 na calandra de 4 rolos número 2.	42
Figura 4.13 – Produção mensal de tecido calandrado com os dois tipos de tecido em verde.	42
Figura 4.14 - Representação gráfica do consumo específico mensal da calandra de 4 rolos.	43
Figura 5.1 - Representações gráficas da contribuição percentual do consumo de fugas no consumo diário de ar comprimido, para a situação sem redução e com redução de 60%.	46
Figura 5.2 – Fotografias tiradas às lâminas de corte da KM.	50
Figura 5.3 – Comportamento da temperatura das lâminas ao longo do tempo.	52

Índice de tabelas

Tabela 5.1 – Consumos de ar comprimido diários nas máquinas KM e PU relativamente à pressão de 6 bar e respetivo consumo em fuga detetada no ano 2015.	46
Tabela 5.2 – Valores obtidos para a poupança no módulo 1 com a proposta referida.	47
Tabela 5.3 – Dados característicos do ventilador atual e do ventilador sugerido da marca SODECA (SODECA, 2014).....	48
Tabela 5.4 – Valores de investimento, respetiva poupança e <i>payback</i> em relação ao ventilador sugerido da SODECA (SODECA, 2014).....	48
Tabela 5.5 – Tempo obtido com o auxílio do suplemento solver para a paragem se almoço/jantar/ceia.	51
Tabela 5.6 – Tempos de aquecimento para cada lâmina quando a temperatura inicial da lâmina é de $24,5\text{ °C} \pm 2,5$	53
Tabela 5.7 - Valores correspondentes às potências consumidas das resistências, lâmpadas de halogénio, iluminação do módulo, lasers e unidade de controlo do módulo.	53
Tabela 5.11 – Resultados recolhidos do MESSDAS dos consumos médios da situação atual e dos três testes realizados.....	58
Tabela 5.13 – Valores obtidos para o consumo de ar comprimido no período de aplicação do pré-arranque e respetiva poupança.	59
Tabela 5.14 – Temperaturas de entrada e saída do permutador, para o ar e para os condensados, nas diferentes épocas do ano.	60
Tabela 5.15 – Valores obtidos para a quantidade de energia disponível nos condensados e respetivo caudal mássico de ar, para as principais épocas do ano. ...	61
Tabela 5.16 - Valores respetivos ao consumo das baterias de aquecimento da UTA, para os dois caudais de ar e respetiva poupança anual.....	61

Nomenclatura

Variável	Descrição	Unidades
A	Área corpo negro	m ²
A_{esc}	Área de escoamento no tubo	m ²
A_{tc}	Área de transferência de calor	m ²
A₀	Área de escoamento no orifício	m ²
c	Coefficiente descarga no orifício	-
cp	Capacidade calorífica	kJ/(kg K)
g	Aceleração gravítica	m/s ²
Gr	Número de Grashof	-
h	Coefficiente de transferência de calor	kW/(m ² K)
k	Condutividade térmica	kW/(m K)
L	Dimensão característica	m
m	Massa lâmina	kg
ṁ_{ar}	Caudal mássico do ar	kg/s
ṁ_{cond}	Caudal mássico do condensado	kg/s
Nu	Número de Nusselt	-
P	Potência de radiação	kW
Pr	Número de Prandtl	-
Q_{rad}	Potência de radiação	kW
Q_{conv}	Potência de convecção	kW
Q_{condensados}	Potência da corrente de condensados	kW
Q_{ar}	Potência da corrente de ar	kW
t	Tempo	s
t_{aq}	Tempo de aquecimento	s
t_{arr}	Tempo de arrefecimento	s
T_e	Temperatura de entrada	°C
T_{faq}	Temperatura final de aquecimento	K
T_{farr}	Temperatura final de arrefecimento	K
T_{iar}	Temperatura inicial de arrefecimento	K
T_{iaq}	Temperatura inicial de aquecimento	K

T_s	Temperatura de saída	°C
T_{viz}	Temperatura da vizinhança	K
Variável	Descrição	Unidades
T_∞	Temperatura do ar envolvente	K
V	Volume da lâmina	m ³
Y	Coeficiente de expansão	-

Letras Gregas

Variável	Descrição	Unidades
β	Coeficiente de dilatação térmica	K ⁻¹
μ	Viscosidade	(N.s)/m ²
ρ	Massa volúmica	kg/m ³
ε	Emissividade média do aço	-
σ	Constante de Stefan Boltzman	kW/(m ² K ⁴)
$\eta_{elétrico}$	Rendimento elétrico médio das centrais termoelétricas que usam combustíveis fósseis	-
Δx	Espessura da lâmina	m
$\Delta U_{lâmina}$	Variação de calor na lâmina	kW
ΔT	Diferença de temperaturas	kW/(m ² K)
ΔP	Diferença de pressão entre montante e jusante da placa orifício	Bar

Lista de Siglas

AMFE	Análise Modal de Falhas e Efeitos
CIE	Consumidora Intensiva de Energia
CMIP	Continental Mabor Indústria de Pneus
DE	Departamento de Engenharia
GAP	Grupo de Ação Positiva
GTC	Green Tire Conveyor
IEA	International Energy Agency

KM	Karkasse Machine
MO	Mercado de Origem
MS	Mercado de Substituição
MTC	Machine Tolerance Check
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico
PU	Production Unit
SGCIE	Sistema de gestão de consumos intensivos de energia
SUV	Sport Utility Vehicles
tep	toneladas equivalentes de petróleo
TPM	Total Productive Maintenance
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

1 Introdução

Neste capítulo é feita uma breve descrição do grupo Continental Aktiengesellschaft (Continental AG) e da empresa na qual foi realizada esta dissertação de mestrado, ou seja, a Continental Mabor indústria de pneus S.A (CMIP).

No que diz respeito à Continental Mabor S.A., é apresentada a política e missão da empresa e respetiva estrutura organizacional.

Para além disso, é feito o enquadramento do presente trabalho, referindo os objetivos do mesmo sendo e, por último, é apresentada a estrutura do relatório.

1.1 Apresentação da Empresa

Como já foi referido, de seguida é feita a apresentação do grupo Continental AG assim como da CMIP, empresa em que foi desenvolvido o estudo e sua estrutura organizacional.

Continental AG

A Continental AG foi fundada em Hannover (Alemanha), figura 1.1, em outubro de 1871. Na sua origem fabricava artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas. Em 1892 torna-se a primeira empresa alemã a produzir pneumáticos para bicicletas e em 1898, iniciou a produção de pneus lisos (sem desenho de piso) para automóveis. A partir de então, acompanha a evolução operada na indústria automóvel com o estudo e aplicação de técnicas, produtos e equipamento para a melhoria de pneumáticos. O seu prestígio ultrapassa as fronteiras da Alemanha e os pneus Continental passaram a equipar os carros vencedores das diversas competições automóveis.

Em 2006, a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e passa a fazer parte dos cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel ao mesmo tempo que começa a desenvolver a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia.

O Grupo Continental é especialista na produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas



Figura 1.1 – Sede da Continental em Hannover, Alemanha (Continental, 2016).

eletrónicos e sensores. A Divisão Pneus da Continental corresponde a 25% do faturamento total, destacando-se sempre pelas soluções tecnológicas avançadas adotadas aos seus produtos, que equipam originalmente os veículos das principais marcas automobilísticas, como BMW, Ford, Mercedes-Benz, Porsche e Volkswagen/Audi.

A Continental AG, pertencente ao top-five dos fornecedores da indústria automóvel e está dividida segundo cinco divisões:

- Chassis e Segurança, onde se concentram tecnologias modernas para a segurança ativa e passiva e de dinâmica do veículo;
- “Powertrain”, que representa soluções de sistemas inovadores e eficientes para o powertrain do presente e do futuro, para os veículos de todas as categorias;
- Interiores, onde se combinam todas as atividades relacionadas com a apresentação e gestão de informações do veículo;
- Pneus para viaturas de passageiros, pesados e comerciais ligeiros;
- ContiTech, que desenvolve e produz peças funcionais, componentes e sistemas para a indústria automóvel e para outras indústrias.

O grupo conta com cerca de 180 000 colaboradores, distribuídos por quarenta e nove países (figura 1.2).

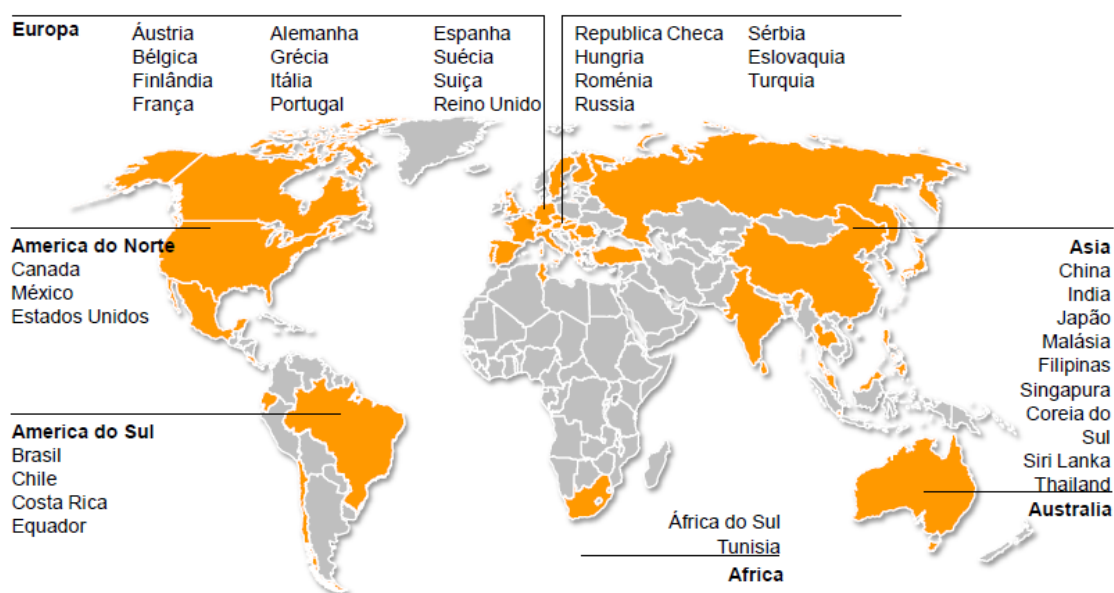


Figura 1.2 – Continental AG nas diferentes zonas do Mundo (Continental, 2016).

Continental Mabor

A Continental Mabor nasceu em dezembro de 1989, como empresa ligada à indústria de pneus. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor, a nível nacional, e a Continental AG., de dimensão mundial.

A Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A., foi a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal que iniciou a sua laboração em 1946. Em julho de 1990, iniciou-se o grande programa de reestruturação que transformou as instalações antigas da Mabor nas mais modernas, comparativamente às restantes 21 unidades industriais de produção de pneus da Continental AG.

Partindo de uma produção média diária de 5000 pneus/dia em 1990, foram atingidos os 21 000 pneus/dia em 1996, ou seja, a produção quadruplicou. Atualmente a Continental tem uma capacidade de produção média de 57 000 pneus/dia, apresentando-se assim, como uma das principais fábricas do grupo com melhores índices de produtividade.

Produzindo, inicialmente, apenas pneus da marca Mabor, a gama da Empresa é, atualmente, muito vasta quer em medidas, quer em tipos, quer em marcas. A Continental Mabor inclui, por exemplo, no seu portfólio, pneus destinados a SUV's (Sport Utility Vehicles) e a veículos de tração total.

Neste momento, mais de 98% da produção destina-se à exportação, abastecendo os dois tipos de mercado existentes. O designado “mercado de substituição” (M.S.) que absorve mais de metade da produção anual da Continental Mabor e o “mercado de origem” (M.O) que recebe o restante, que é distribuído pelas linhas de montagem dos mais privilegiados construtores da indústria automóvel.

Das cinco fábricas portuguesas pertencentes ao grupo, a CMIP localizada em Lousado (figura 1.3), é a maior e mais lucrativa fábrica do País, contando com cerca de 1800 colaboradores. A empresa funciona com 5 turnos – 3 turnos à semana e 2 ao fim-de-semana (com rotatividade semanal entre si) – durante os 7 dias da semana e 24h por dia todo o ano, à exceção das duas semanas de paragem de Dezembro e Agosto.

A política da empresa passa pela ambição de ser LIDER na divisão de pneus da Continental,

Lousado eficiente

Inova e antecipa as necessidades dos clientes

Desenvolve produtos de alta tecnologia

Excelente no conhecimento e nos processos

Rentável de forma sustentada



Figura 1.3 – Instalações da Continental Mabor (Mabor, 2016).

Tem como missão conseguir a **confiança** dos clientes nos serviços e produtos de tecnologia avançada, ser-se reconhecido pela eficiência, qualidade, flexibilidade, inovação e **paixão por vencer** e por último, promover a excelência de colaboradores qualificados, motivados e com **liberdade para agir** (Continental, 2016; P. Continental, 2016; Mabor, 2016).



Figura 1.4 - Valores do grupo Continental (Continental, 2016).

Estrutura Organizacional da Continental Mabor

O presente trabalho foi realizado e desenvolvido no Departamento de Engenharia (DE), mais concretamente na área de construção e preparação (DE 2 e DE 4). Na figura 1.5, é apresentada a estrutura organizacional da empresa, onde se

pode identificar o DE. A comunicação entre os diversos departamentos é rápida e eficiente graças a uma estrutura com um número reduzido de interfaces.

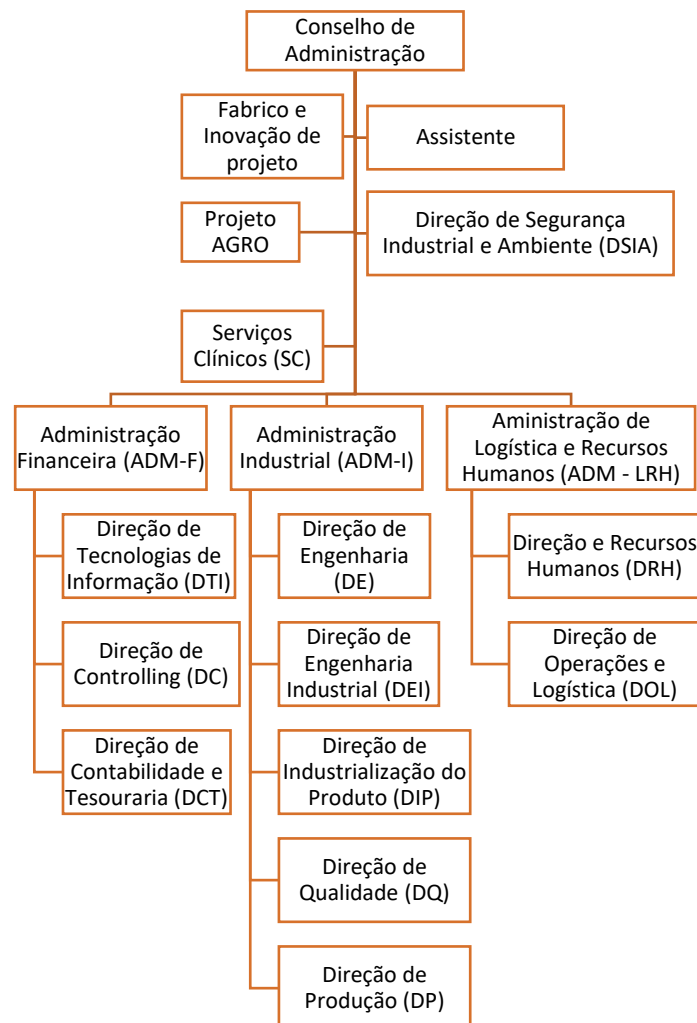


Figura 1.5 – Organograma da Continental-Mabor (Mabor, 2016).

Direção de Engenharia da Continental Mabor

Atualmente esta direção divide-se em seis subdepartamentos de engenharia - 1, 2, 3, 4; 5; 6, energia e infraestruturas e, por último, projetos em expansão. As suas principais responsabilidades passam por:

- Elaborar, coordenar e desenvolver os procedimentos e planos de manutenção preventiva e corretiva na Empresa;
- Implementar o programa MTC (*Machine tolerance check*);
- Maximizar a disponibilidade das máquinas para produção;
- Apoiar a implementação das ações corretivas, nos equipamentos e instalações, decorrentes dos planos de ação desenvolvidos pelos grupos

de Auditorias Internas, AMFE's (Análise Modal de Falhas e Efeitos), GAP's (Grupo de Ação Positiva), Sistemas de Sugestões, entre outros;

- Apoiar a formação dos elementos da Produção, nas operações dos novos equipamentos;
- Introduzir melhorias nos equipamentos, de forma a otimizar a sua capacidade;
- Executar todos os projetos de desenvolvimento e instalação de novas máquinas, assim como quaisquer alterações às instalações fabris;
- Participar na implementação do “*Total Productive Maintenance*” (TPM);
- Manter em bom estado de conservação, todas as instalações fabris;
- Assegurar a disponibilidade dos recursos energéticos necessários, otimizando a sua utilização (Mabor, 2016).

1.2 Panorama energético Mundial e Nacional

A evolução do uso da energia tem passado por várias fases progressivas até chegar à situação atual, na figura 1.6 encontra-se a representação gráfica da evolução do consumo total de energia no Mundo.

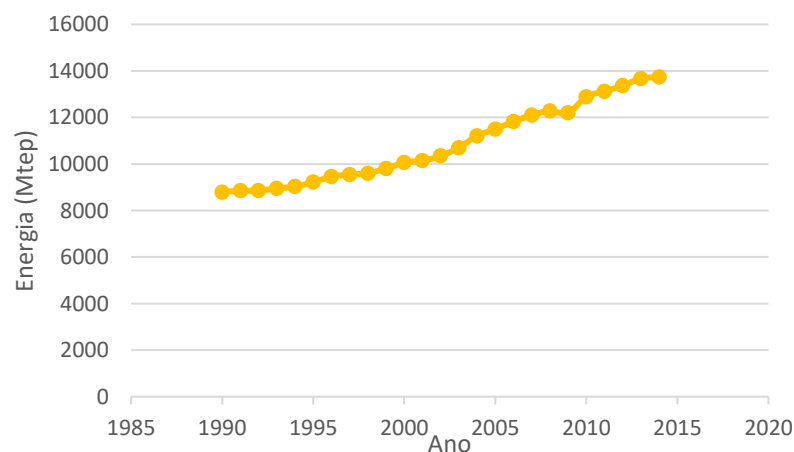


Figura 1.6 – Representação gráfica da evolução do consumo total de energia no Mundo (Enerdata, 2016).

Os 34 países, considerados desenvolvidos que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) são, historicamente, os maiores

consumidores mundiais de energia. Contudo a crise económica que se faz sentir atualmente, sobretudo no espaço europeu, tem tido um impacto muito relevante no sector energético, levando a um abrandamento na procura. Já nos países em desenvolvimento, a participação relativa, ainda que em alguns casos pouco expressiva, registou um aumento significativo nas últimas décadas.

Sendo assim, através da observação da figura 1.6 pode-se afirmar que a evolução do consumo total de energia no mundo tem vindo a aumentar, registando de 1990 a 2014 um crescimento de cerca de 56%.

A nível nacional, como resultado da contração da economia, verificou-se a mesma situação que os países pertencentes à OCDE, um abrandamento e até a diminuição da procura de energia (Bernardo, 2013; OECD, 2016). Na figura 1.7 está presente a representação gráfica da evolução do consumo total de energia em Portugal.

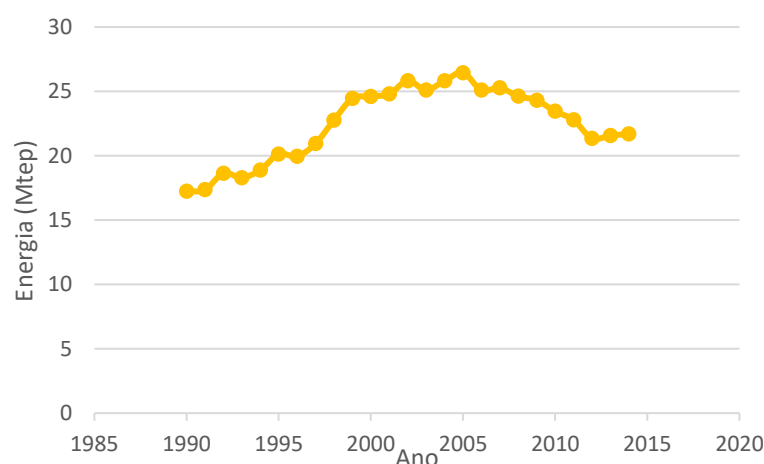


Figura 1.7 – Representação gráfica da evolução do consumo total de energia em Portugal (Enerdata, 2016).

Analisando a figura 1.7 verifica-se que, entre 1990 e 2005 o consumo energético teve uma evolução gradual, em 2005 houve uma ligeira quebra tendo-se registado em 2014, 22 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) representando um decréscimo de 18%. Este abaixamento resultou, não só do impacto de medidas de eficiência energética entretanto adotadas, mas também da recessão económica que alterou significativamente os padrões nacionais de consumo de energia e as expectativas de evolução até 2020 (Dias et al., 2013).

1.2.1 Energia na Indústria

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), a procura de energia é dividida em quatro sectores principais: o doméstico, o de serviços, o industrial e o de transportes. Na figura 1.8, para além de se observar os principais sectores consumidores, também se observa a longa trajetória que a energia percorre antes de se transformar em calor, frio, movimento ou luz. Durante esta transformação, parte desta energia é desperdiçada e a outra, que chega ao consumidor, nem sempre é aproveitada corretamente.

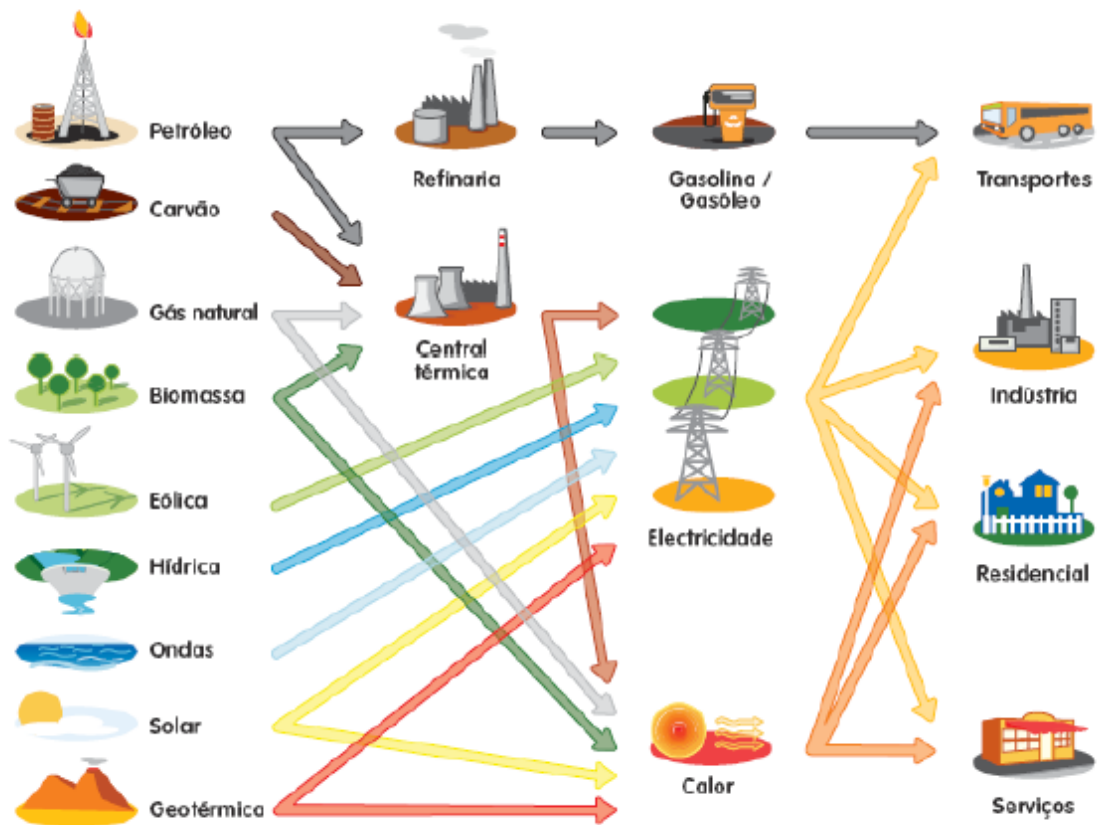


Figura 1.8 – Ciclo de energia (EDP, 2009).

O Sector Doméstico

É composto por famílias individuais, nos quais as principais categorias de utilizações energéticas são para o aquecimento ambiente, águas sanitárias, cozinhar, iluminação e outros aparelhos elétricos.

O Sector de Serviços

Este sector é composto por escritórios, lojas, escolas, hospitais, bancos, etc. As exigências energéticas deste sector são muito semelhantes às do sector doméstico,

porém o ar condicionado representa uma significativa parcela no consumo nesse sector, uma vez que geralmente é usado em grandes áreas e por períodos de tempo longos.

O Sector Industrial

Este sector abrange principalmente a indústria transformadora. Grande parte do uso industrial da energia também ocorre no interior de edifícios, porém esse consumo não é muito significativo em comparação com a utilização da energia nos próprios processos industriais. Aí, grandes quantidades de energia são necessárias para mover grandes equipamentos e processos que muitas vezes exigem altas temperaturas.

O Sector dos Transportes

Os veículos motorizados como automóveis, autocarros e camiões dominam o sector dos transportes. Na maioria dos países houve um enorme aumento dos transportes ao longo das últimas décadas. A maior parte deste processo envolveu o transporte motorizado, principalmente movido a derivados de petróleo e, por isso, a utilização de energia teve um aumento considerável bem como as emissões de CO₂ associadas a esse aumento.

O consumo final de energia por sector é o reflexo da estrutura da economia e do seu nível de desenvolvimento. Este fator está relacionado com o tipo de tecnologias utilizado na produção e com o perfil de consumo das famílias.

Nas figuras 1.9 e 1.10 são apresentadas as percentagens da energia consumida por sectores a nível mundial e nacional, para o ano 2013.

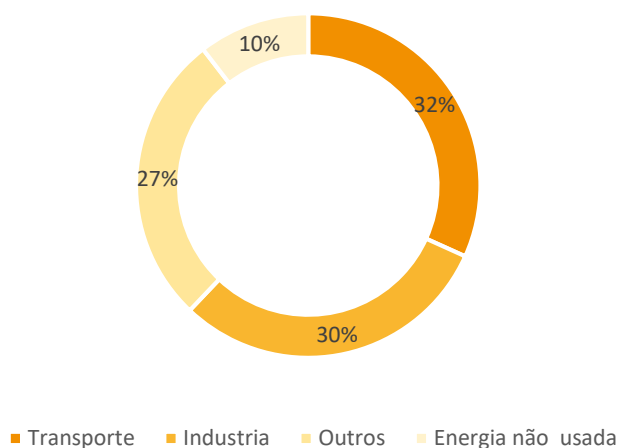


Figura 1.9 - Representação gráfica da energia consumida mundialmente por sectores (IEA, 2015).

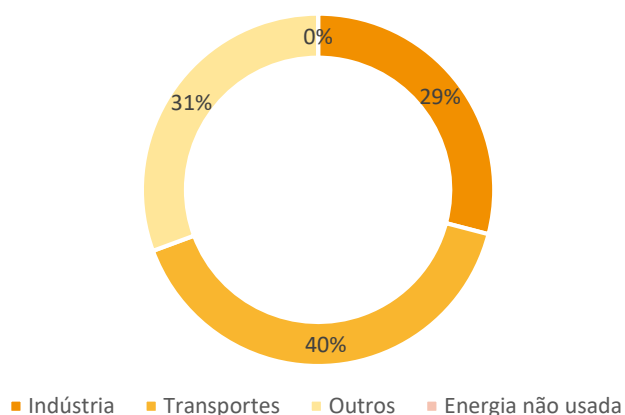


Figura 1.10 – Representação gráfica do consumo energético por sectores, em Portugal (Santos, 2009).

Através da observação das figuras 1.9 e 1.10, verifica-se que a indústria representa cerca de um terço da energia consumida no mundo, ou seja, praticamente o mesmo valor que em Portugal. Onde, cerca de 70% do consumo deve-se ao conjunto dos sectores da indústria e dos transportes. Apesar do valor percentual da indústria não ser representativo da maioria, este é significativo. Por isso, cada vez mais os ganhos de eficiência têm sido procurados pelo sector industrial, uma vez que é a única forma de se tornar competitivo no mercado. Uma realidade que é inexistente na construção, onde tudo se vende, seja ou não competitivo em termos energéticos.

Mundialmente, o sector da indústria possui uma contribuição, a nível de consumo energético, bastante distribuído. O mapa do cenário mundial da participação percentual da indústria no consumo de energia final está representado na figura 1.11. Portugal é um dos países que possui um contributo de 33 a 50%.

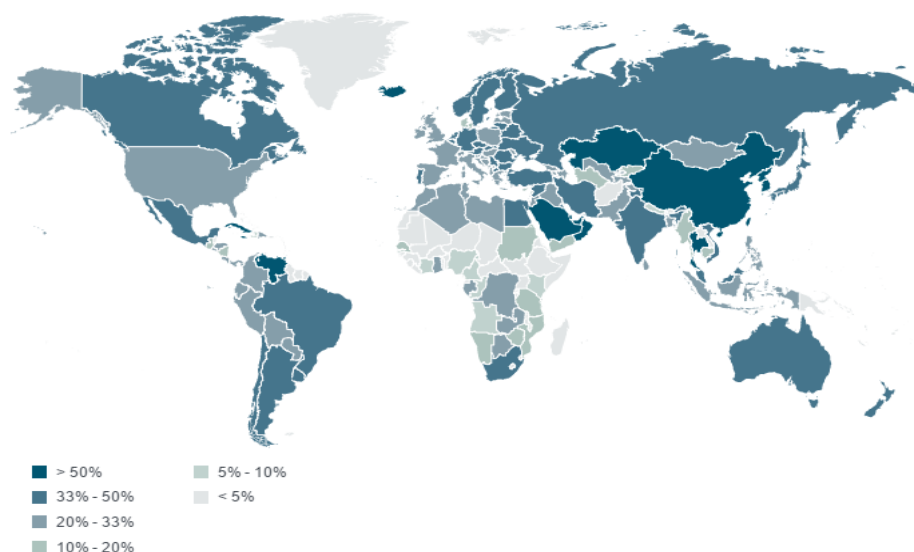


Figura 1.11 - Mapa da contribuição para o consumo de energia na indústria (%) (Agency, 2016).

1.2.2 Eficiência Energética

Hoje em dia, a sustentabilidade ambiental ocupa um especial protagonismo na agenda energética mundial. Numa Europa que se quer sustentável e segura do ponto de vista energético, vêm-se oficializando um número crescente de medidas e incentivos para uma aposta clara na diversificação das fontes de energia, com especial destaque para as energias limpas.

Assim, crescer sem comprometer a economia das futuras gerações é o grande desafio das comunidades atuais. A racionalização dos consumos energéticos e a redução da emissão de gases com efeitos de estufa são dois pontos fulcrais. Posto isto, a gestão da energia nas empresas, acaba por ser um dos impulsores de sucesso que contribui para aumentar as suas vantagens competitivas. Uma vez que o consumo de energia eficiente reduz os custos associados, contribui para melhores resultados financeiros e aumenta a sua capacidade de afirmação no mercado.

Portanto, gerir eficientemente a energia significa ser capaz de satisfazer as necessidades energéticas de uma empresa, consumindo menos, sem comprometer o seu desempenho. Aumentar os níveis de produção, sem acrescer o consumo de energia, é um dos grandes desafios dos gestores das empresas de todo o mundo. A gestão energética tornou-se, assim, uma exigência do mercado.

O processo de gestão de energia deverá ser contínuo, cíclico e ter objetivos traçados como se destaca na figura 1.12.

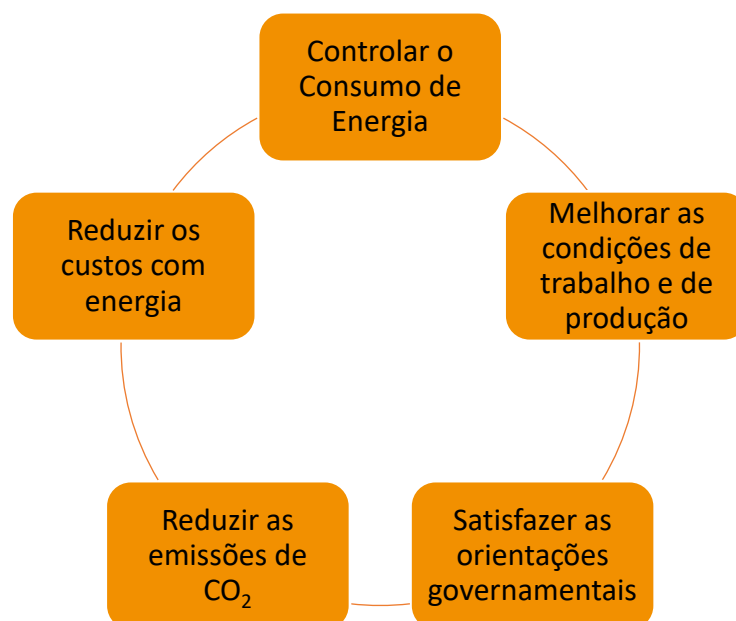


Figura 1.12 - Objetivos gerais da aplicação dos conceitos de eficiência energética (RNAE, 2016).

Da mesma forma que a empresa possui curvas de evolução, crescimento e transformação, a gestão energética deve acompanhar esses mesmos movimentos.

É imprescindível que todos os elementos da instituição acreditem nos benefícios da política de gestão energética, para que seja possível a concretização das medidas. Medidas aparentemente insignificantes podem resultar em poupanças expressivas e estimulantes a médio e longo prazo (RNAE, 2016).

1.3 Enquadramento do trabalho

O consumo de energia tem um peso elevado no que toca aos custos pertencentes a qualquer indústria e, sendo assim, é necessário desenvolver e adequar tecnologias de eficiência energética que permitam os mesmos resultados com um menor consumo de energia e consequente diminuição dos gastos monetários. Foi a energia que permitiu ao ser humano evoluir, no sentido de tornar a sua vida mais cómoda e produtiva. Porém, tem de haver sensatez no seu uso, daí o facto da gestão dos recursos energéticos não incluir apenas a redução do consumo de energia mas sim a sua utilização consciente e eficiente.

Assim, a chave para o desenvolvimento sustentável, aquele que procura dar resposta às necessidades das sociedades do presente, passa pela utilização racional da energia e dos recursos naturais sem comprometer a capacidade das gerações futuras. Só desta forma, é assegurado o equilíbrio entre o crescimento económico, o progresso social e o equilíbrio ambiental como se verifica na figura 1.13 (EE, 2014).



Figura 1.13 - Pilares do desenvolvimento sustentável (BCSD, 2013).

1.4 Objetivos do trabalho

O presente trabalho consistiu na avaliação e implementação de medidas de otimização energética a uma das calandras e a um dos módulos de construção, pertencentes a dois setores da empresa.

Para tal, foi feita a análise das utilidades consumidas relativamente ao ano 2015 na calandra de quatro rolos número dois e no módulo de construção número 1. Identificaram-se as oportunidades de redução de consumos sem prejuízo do rendimento produtivo e por fim, foram apresentadas as soluções que, ao serem implementadas pela empresa, irão permitir essa mesma redução dos consumos.

1.5 Estrutura da dissertação

O presente relatório encontra-se organizado em seis capítulos. No capítulo 1 são apresentados os objetivos do trabalho, a contextualização do mesmo no âmbito da empresa e o respetivo enquadramento no tema abordado – otimização energética. É também explanado o panorama energético mundial e nacional dividindo-se o mesmo em dois subcapítulos, Energia na Indústria e Eficiência Energética.

No capítulo 2 é feita a descrição sucinta acerca do sistema produtivo da Continental Mabor S.A., acompanhada da explicação e enumeração dos componentes que constituem o seu produto final, o pneu.

No capítulo 3 inicia-se o desenvolvimento prático do presente estudo, onde é feita uma descrição pormenorizada do processo dos sectores em estudo, o de construção e calandragem. Seguidamente é feita uma avaliação energética dos diferentes equipamentos, o levantamento energético referente ao ano 2015 e o cálculo dos consumos específicos.

As propostas de melhoria desenvolvidas são apresentadas no capítulo 4 referente à otimização energética, onde é apresentado o estudo das variáveis de produção, assim como as respetivas simulações.

Por fim, no capítulo 6 são descritas as conclusões do trabalho, bem como algumas sugestões para trabalho futuro.

2 Produto e Processo de Fabrico

2.1 Constituição de um Pneu

A Mabor fabrica pneus desde jante 14 até jante 22. Apesar de apresentar marca própria (Continental), esta também produz pneus de outras marcas como, Uniroyal, Mabor, Barum, Semperit, entre outras.

Os componentes deste produto podem variar consoante as características que se pretendem fornecer ao mesmo, tendo em conta a existência de vários tipos de pneu (pneus para ligeiros, pesados, motociclos, etc). Na figura 2.1 pode-se observar a composição genérica dos vários materiais que constituem um pneu para carros ligeiros de passageiros.

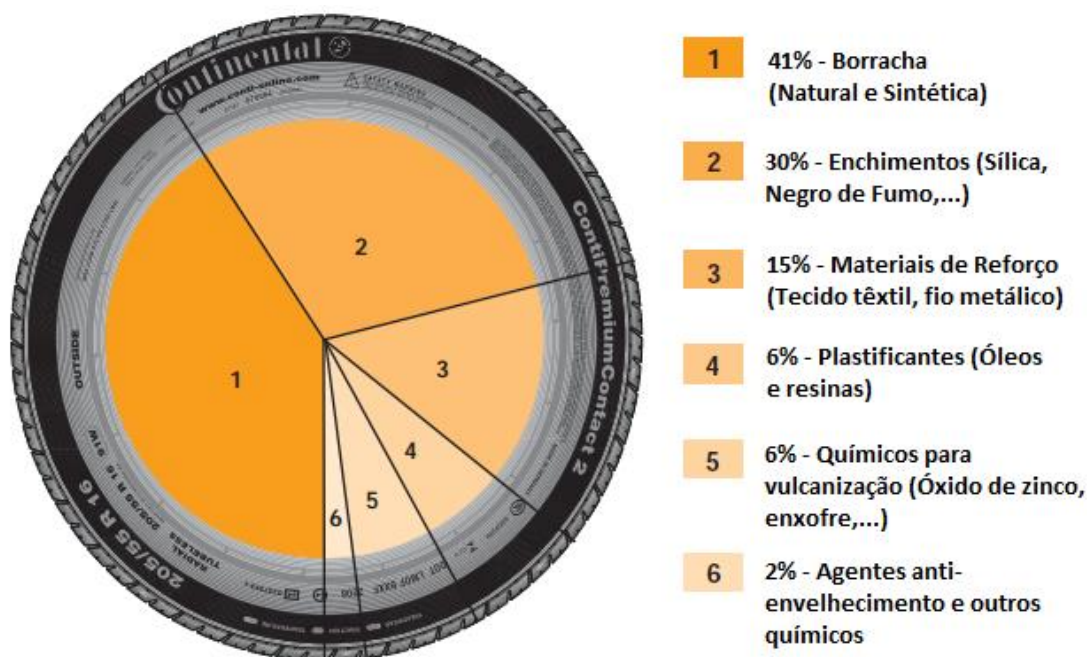


Figura 2.1 - Ilustração representativa da composição genérica dos materiais constituintes de um pneu para carros ligeiros de passageiros (Continental, 2008).

De uma maneira geral, o pneu é composto pelos elementos identificados na figura 2.2.

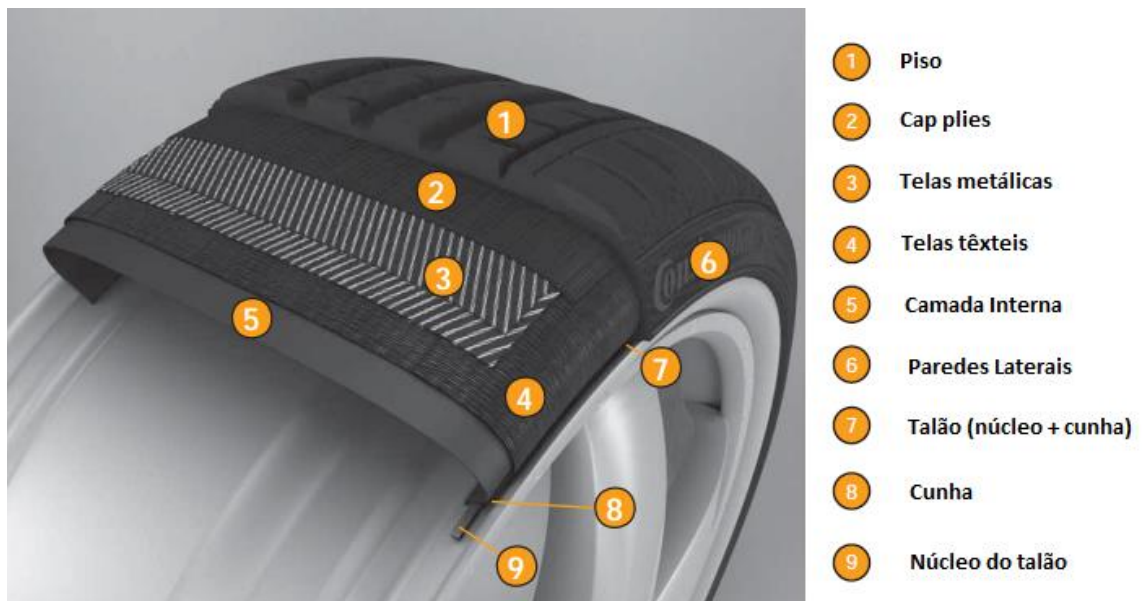


Figura 2.2 - Principais elementos que integram a composição geral de um pneu (Continental, 2008).

Assim, pela observação da figura 2.2, verifica-se que os principais elementos que constituem um pneu são, o piso, as cintas têxteis (“Cap plies”), as telas metálicas (“breakrs”), as telas têxteis, a camada interna (“innerliner”), as paredes laterais e o talão que é a junção do núcleo e da cunha.

O piso deriva de um perfil extrudido e é a parte do pneu que fica em contacto com o solo, este subdivide-se em três partes, a capa onde as suas principais funções passam por fornecer aderência, resistência ao desgaste e estabilidade direcional, a base que reduz a resistência ao rolamento e protege a carcaça e o extremo que garante a transição do piso para a parede.

As cintas têxteis correspondem a tiras de nylon cobertas por borracha, estas promovem a adaptabilidade para as altas velocidades a que os pneus são sujeitos.

As telas metálicas são fios metálicos impregnados numa camada de borracha que servem para reter a forma e estabilidade direcional e, para além disso, proporcionam ao pneu a segurança necessária mantendo a pressão interna requerida, de modo a suportar a carga e os impactos.

Já as telas têxteis, são resultado final da impregnação de tecido têxtil (nylon, rayon e poliéster) em borracha e são responsáveis pelo fornecimento da consistência ao pneu, funcionando assim como o seu reforço estrutural.

A camada interna consiste numa camada de borracha extrudida (borracha butil) que apresenta uma baixa permeabilidade ao ar, funcionando como câmara-de-ar nos pneus modernos.

No que toca às paredes laterais, estas são à base de borracha natural e protegem a carcaça contra choques laterais e contra a degradação atmosférica.

O talão trata-se da junção do núcleo e da cunha, a cunha trata-se de borracha que fornece estabilidade direcional, precisão na condução e melhora o conforto já o núcleo, assegura que o talão assente com firmeza na jante do pneu e é constituído por fios de aço revestidos por borracha (Continental, 2008; Mabor, 2016).

2.2 Processo de Fabrico de um Pneu

Geralmente, os sistemas de produção de uma unidade fabril são caracterizados pela receção da matéria-prima necessária ao processo de fabrico, pela produção em si e finalmente pelo armazenamento e expedição do produto acabado.

O processo de fabrico da Continental Mabor está dividido em cinco fases principais: a misturação, a preparação, a construção, a vulcanização e a inspeção final.

A produção, como se pode verificar na figura 2.3, inicia-se com a misturação, onde são produzidos os vários tipos de borracha que depois seguem para a preparação. De seguida, todos os componentes que irão constituir o pneu passam à construção onde é feita a sua montagem propriamente dita. Na penúltima fase, processo de vulcanização, o pneu irá assumir a sua forma/relevo sendo ainda submetido à inspeção final para que todos os requisitos de qualidade sejam verificados. Posteriormente será realizada, separadamente, uma breve descrição de cada uma destas fases.

Receção das Matérias-Primas

Inicialmente, antes de as matérias-primas serem alocadas ao sistema produtivo da Continental Mabor, estas permanecem no respetivo armazém. Este é o local de contacto entre os diversos fornecedores e a própria empresa, pois os mesmos são os responsáveis pela colocação das matérias-primas no armazém.

As matérias-primas utilizadas pela CMIP são, entre outros, o arame, o tecido têxtil, óleo mineral, sílica, negro de fumo, borracha (natural e sintética), pigmentos e corda metálica. Todos estes materiais são submetidos a processos de controlo de qualidade, de maneira a garantir que se encontram conforme as especificações pretendidas. Somente após a sua aprovação é que os mesmos transitam para o processo de fabrico.

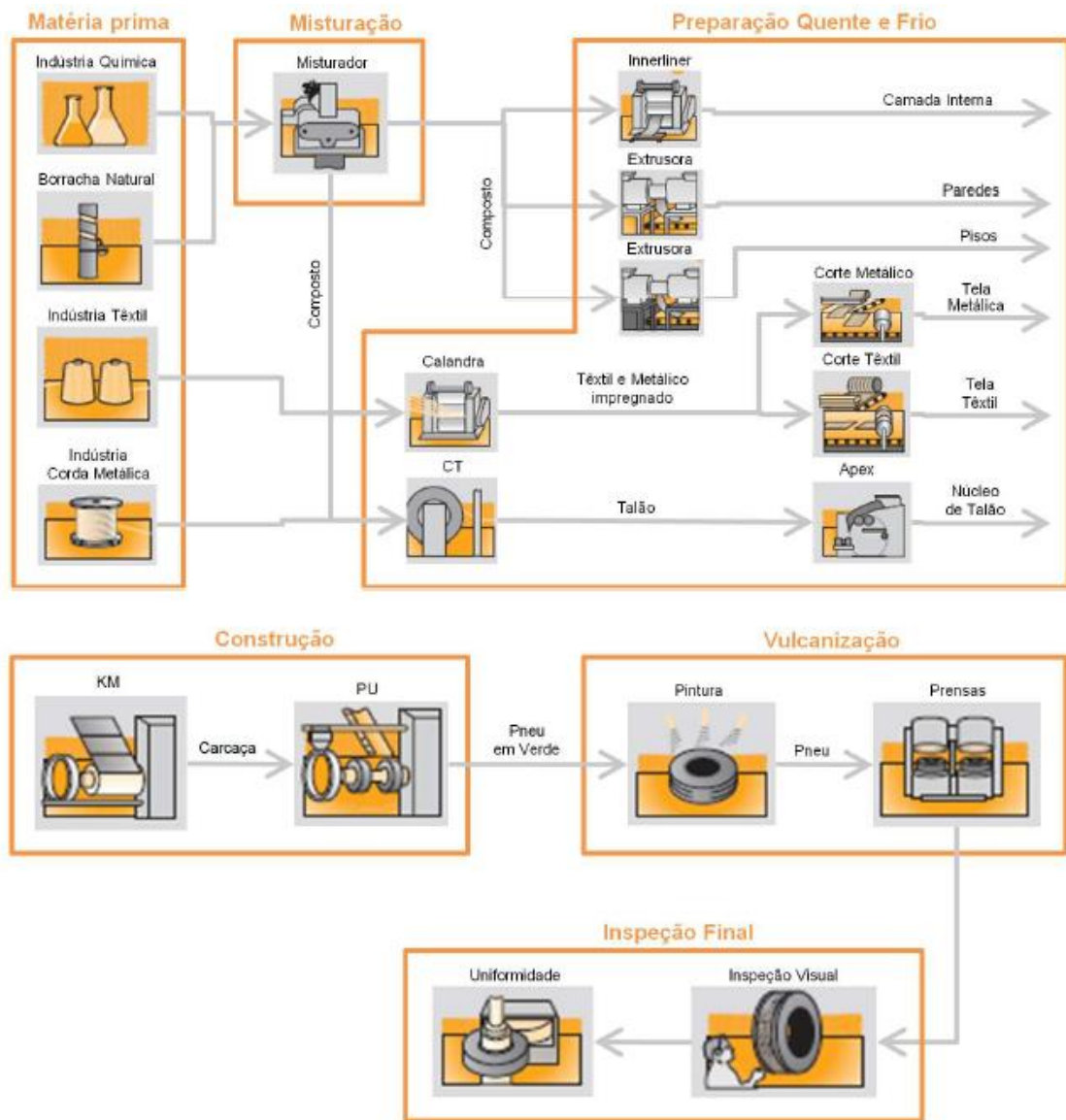


Figura 2.3 – Diversas fases da produção de pneus da Continental Mabor com respectivas matérias-primas e máquinas (Nogueira, 2014).

Misturação

A misturação corresponde ao início do sistema produtivo, é aqui que se procede à pesagem e medição das matérias-primas especificadas, de acordo com as propriedades pretendidas para o composto em produção. Após a pesagem, os compostos são misturados (borracha natural, borracha sintética, pigmentos, óleo mineral, sílica, negro de fumo) para que, após a passagem pelos misturadores – masters (misturadoras para produção de borracha intermédia) e “finais” (misturadoras para produção de borracha final) – a borracha esteja devidamente homogénea e com o perfil indicado para passar para a fase seguinte.

Preparação

Este departamento é responsável pela concepção de todos os elementos necessários à construção do pneu.

O material que alimenta as máquinas responsáveis (extrusoras, calandras e as máquinas de corte) pela preparação dos componentes necessários à construção do pneu, são as “mesas” de borracha que provêm do departamento de misturação. Para além da borracha, restantes matérias-primas são utilizadas como, o arame, tecido têxtil e tela metálica. Depois de produzidos são devidamente armazenados nos respetivos locais, para que posteriormente sejam reencaminhados para o departamento da construção.

Construção

Após todos os elementos do pneu serem transportados para o departamento de construção, é altura de serem devidamente montados resultando o “pneu em cru” ou “pneu em verde”. As máquinas responsáveis pela montagem, designadas por KM (Karkasse Maschine) e PU (Production Unit), constituem os módulos de construção.

A carcaça do pneu, construída na KM, é composta pela camada interior (“camara de ar”), talões, 1ª tela e/ou a 2ª tela (ambas têxteis) e paredes de reforço também opcionais. A PU junta à carcaça as telas metálicas (“breakers”), as tiras de “Cap ply” e o piso. O funcionamento destas máquinas encontra-se mais detalhado no capítulo 3.1.

Os pneus resultantes, “em verde”, são transportados para o departamento seguinte através de transportadores automáticos designados por GTC (“Green Tire Conveyor”).

Todos os componentes que são produzidos até esta fase do processo e que não estejam dentro das especificações de qualidade podem ser reciclados, ou seja, reutilizados para outros fins ou até mesmo para o processo em si. A partir do momento em que o pneu “em cru” é vulcanizado já não há possibilidade de proceder à reciclagem do mesmo.

Vulcanização

Antes de passar à vulcanização propriamente dita, os pneus “em verde” são dirigidos para as máquinas de pintura onde vão ser devidamente lubrificados de maneira a alongar a vida dos diafragmas, um dos componentes das prensas de vulcanização, e

também permitir uma melhor desmoldagem do mesmo. Após serem pintados são conduzidos para as prensas, onde o pneu é submetido a um ciclo de vulcanização com cerca de 10 minutos a elevadas temperaturas que permite, através dos moldes, dar a forma final ao pneu.

Após a vulcanização dos pneus estes são encaminhados, através de transportadores para o departamento quente.

Inspeção Final

Neste sector são feitas todas as verificações manuais/visuais e inspeções automáticas para se averiguar se todos os requisitos de qualidade são cumpridos e se o pneu está pronto para ser expedido. Após a aprovação das especificações definidas, os pneus seguem para o armazém de produto acabado, em paletes metálicas através de um transportador aéreo.

Expedição do Produto Acabado

Neste armazém, antes de entrarem nos camiões, os pneus são mais uma vez inspecionados, a fim de se verificar a existência de certos defeitos.

A expedição dos pneus é diferente no caso de o cliente ser nacional ou internacional. Se for nacional, os pneus seguem diretamente para os respetivos clientes senão, vão para armazéns da Continental distribuídos pela Europa e a partir daí é que vão para os clientes (Mabor, 2016).

3 Caso prático em estudo

Inicialmente, foi estudado o processo produtivo do módulo de construção e da calandra para que, posteriormente, seja possível proceder-se à análise energética de ambas as máquinas no ano de 2015. Neste capítulo encontra-se a descrição do processo do módulo de construção e a descrição do processo da calandra de 4 rolos.

3.1 Descrição do Processo do módulo de construção

Como já foi referido anteriormente, as máquinas responsáveis pela produção do “pneu em verde” fazem parte do departamento de construção. Esta secção é constituída por 48 módulos (KM&PU) e todos eles apresentam um funcionamento semelhante, embora existam cerca de oito gerações distintas onde as principais diferenças se situam no software, tecnologias, segurança e dimensões. Neste caso, o módulo escolhido para avaliação energética foi o 1 uma vez que é este que se encontra disponível para levantamento de dados no MESSDAS – Energy meets innovation, software da Mabor e que é responsável pelo fornecimento dos consumos energéticos das diversas utilidades.

No sentido de se proceder à descrição do processo de produção do módulo 1 e dos mecanismos que se encontram associados, foi desenhado um fluxograma (figura 3.1 e 3.2) que tem como objetivo, exemplificar o fluxo dos materiais neste tipo de máquinas.

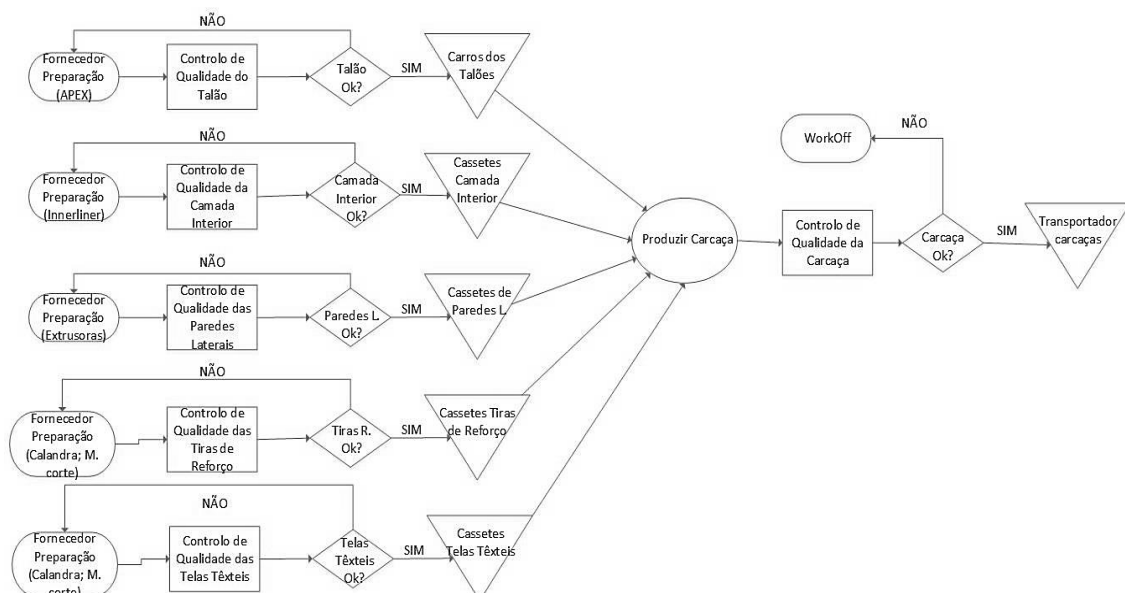


Figura 3.1 - Fluxo de materiais da KM.

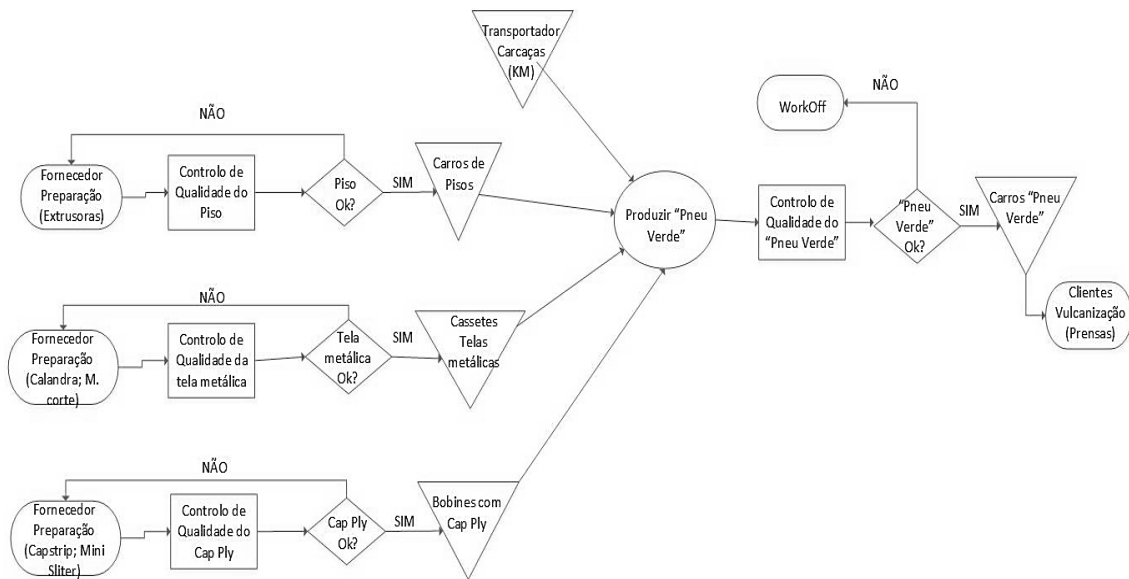


Figura 3.2 - Fluxo de materiais da PU.

De uma forma geral, este processo, pode ser dividido em dois subprocessos, nomeadamente o fabrico da carcaça que é realizado na KM e, posteriormente, o fabrico do “pneu em verde” na PU. Estes dois subprocessos são, de seguida, descritos de uma forma mais aprofundada.

As matérias-primas necessárias para o processo de fabrico da carcaça, que é a base do pneu, são: a camada interna, telas têxteis, talões, paredes laterais e tiras de reforço.

A figura 3.3 mostra os constituintes mais importantes da máquina KM número 7 (cujo layout é igual ao da 1) e a respetiva designação.

O ciclo de produção da KM é iniciado com a colocação dos talões nos segmentos de centragem, que depois são distribuídos automaticamente para o suporte de talões.

Dependendo da receita de produção, os materiais de alimentação, como a camada interior, a primeira tela têxtil e segunda tela têxtil (opcional) são transportadas, cortadas e transferidas para o tambor de forma automática. A figura 3.4 mostra as cassetes que alimentam o tambor da camada interior, primeira e segunda telas têxteis.

O primeiro material a ser distribuído pelo tambor é a camada interna, de seguida é aplicada a primeira tela têxtil para que ocorra a expansão no tambor e sejam colocados os talões, para se dar a viragem do material sobre os mesmos. Após a viragem, se a receita assim o ditar, é colocada a segunda tela têxtil, as tiras de reforço e as paredes laterais.

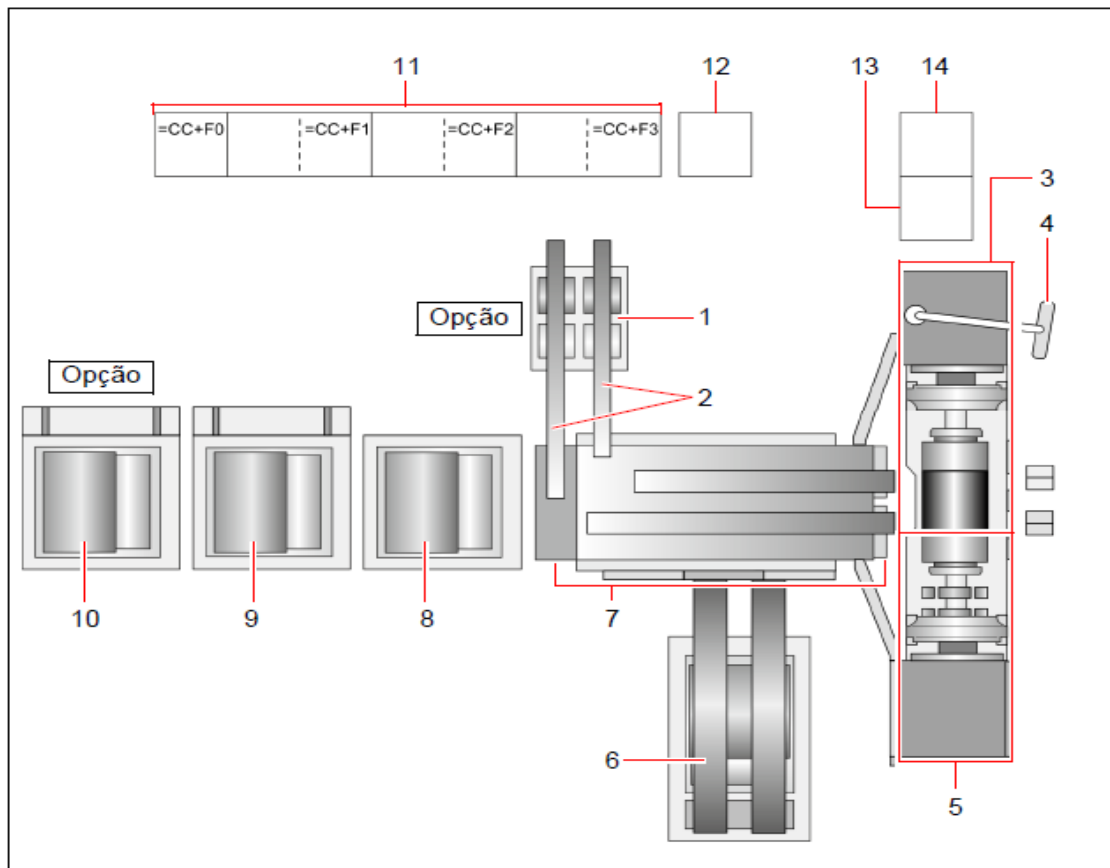


Figura 3.3 – Desenho representativo das principais peças que constituem a KM 7 (Machinery, 2014a).

1. Estação de desenrolamento – Paredes de reforço (opção)
2. Cinta transportadora ascendente – Paredes de reforço (opção)
3. KM – lado do acionamento
4. Campo de comando IPC e campo de comando principal
5. KM – lado do deslocamento
6. Estação de desenrolamento – Paredes laterais
7. Alimentador
8. Estação de desenrolamento – Camada Interior
9. Estação de desenrolamento – 1ª tela têxtil
10. Estação de desenrolamento – 2ª tela têxtil (opção)
11. Armários de distribuição
12. Armário do sistema pneumático – Alimentador
13. Armário do sistema pneumático – KM lado do deslocamento
14. Armário do sistema pneumático – KM lado do acionamento

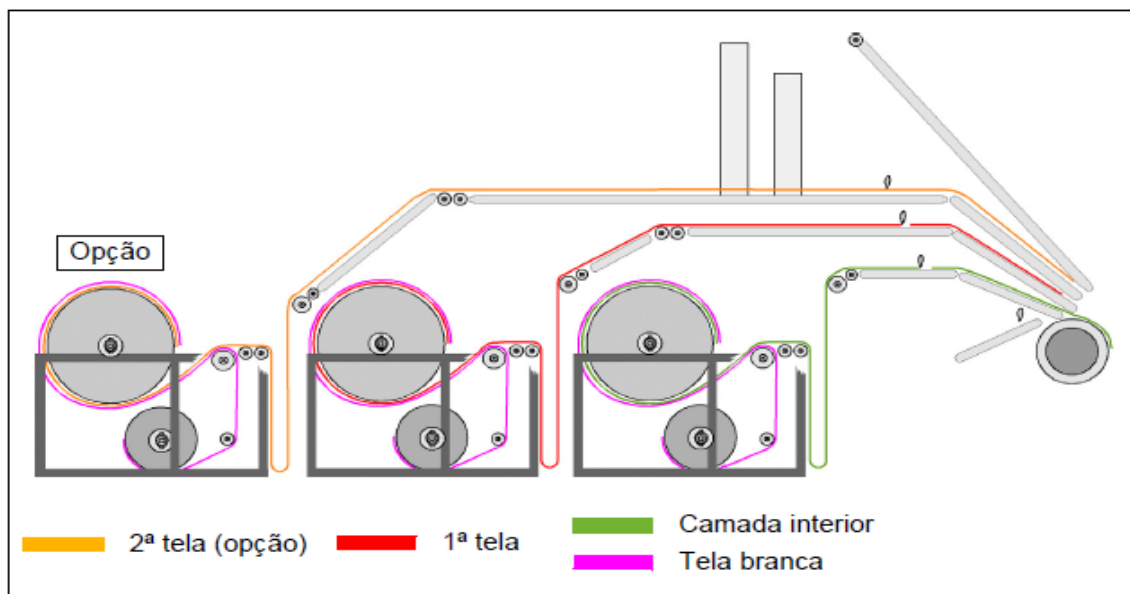


Figura 3.4 - Cassetes de alimentação da camada interior, primeira e segunda tela têxtil (Machinery, 2014a).

As tiras de reforço, também opcionais, são transportadas e enroladas automaticamente mas cortadas manualmente. As paredes laterais são transportadas, cortadas e distribuídas pelo tambor de forma automática. Em todos os elementos é ajustada a emenda manualmente, para que o material fique bem colocado (Machinery, 2014a).

As figuras 3.5, 3.6 e 3.7 mostram as cassetes de alimentação de tiras de reforço, quer com cabo de aço, quer com fio têxtil, e das paredes laterais.

Após a colocação de todos os elementos para a construção da carcaça, a mesma é solta e removida para que possa passar à passadeira que a irá conduzir à próxima fase do processo de montagem – máquina PU.

Para a conclusão do processo de montagem, são necessárias mais matérias-primas para além da carcaça pré-fabricada. São elas, as telas metálicas, as cintas têxteis (“Cap Ply”) e os pisos.

A PU trata-se de uma máquina que consegue realizar varias ações em simultâneo devido à presença de uma mesa rotativa com dois tambores, o que beneficia a sua produtividade. A figura 3.8 expõe as peças mais importantes que constituem a máquina PU número 7 (não difere da número 1).

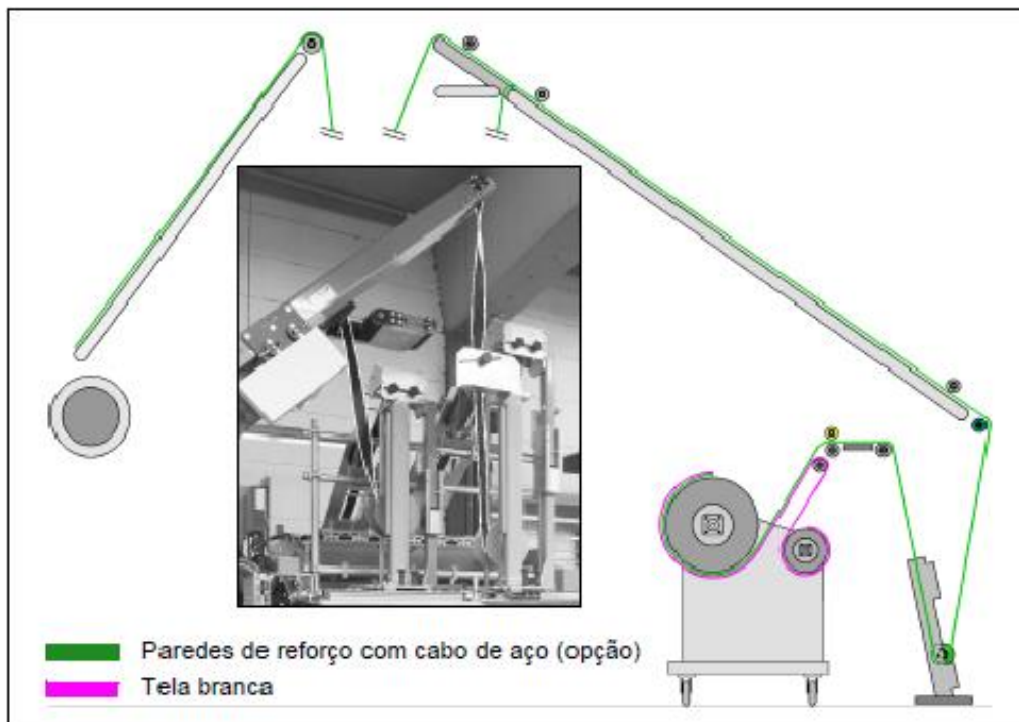


Figura 3.5 - Cassetes de alimentação para as tiras de reforço com cabo de aço (Machinery, 2014a).

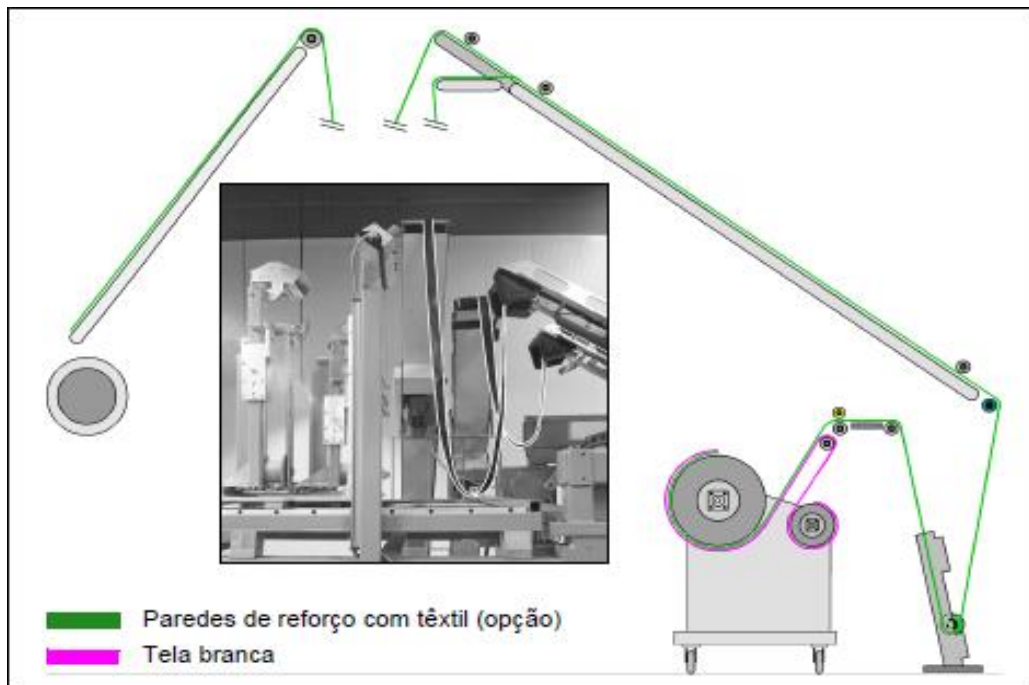


Figura 3.6 - Cassetes de alimentação para as tiras de reforço com têxtil (Machinery, 2014a).

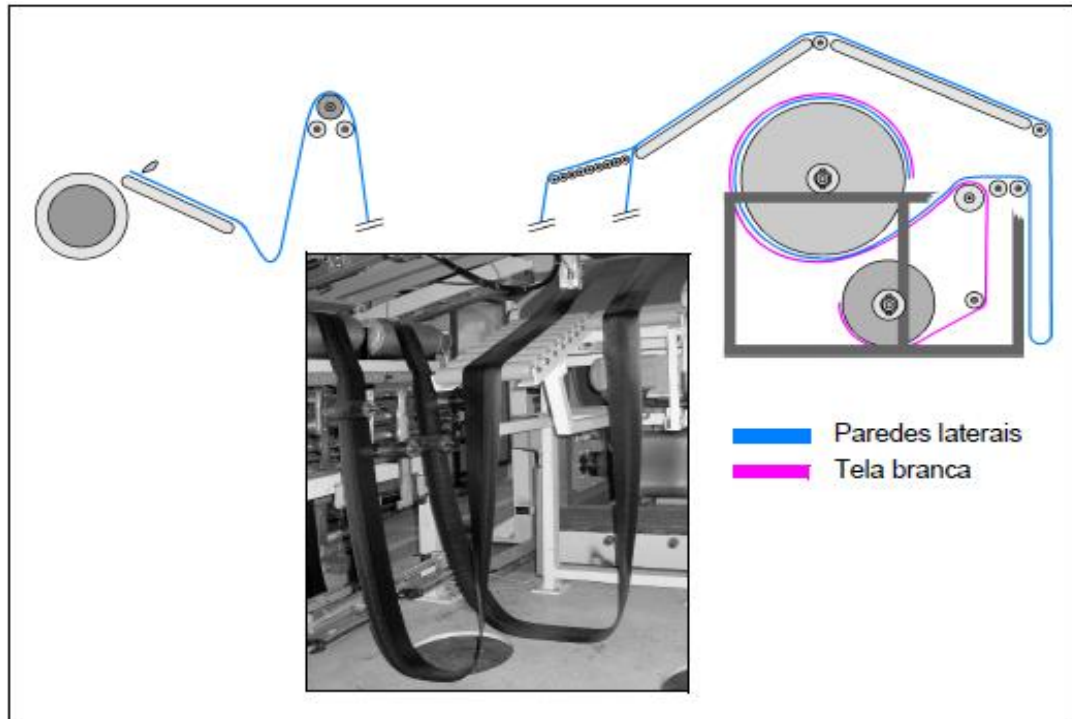


Figura 3.7 - Cassete que alimenta as paredes laterais à máquina (Machinery, 2014a).

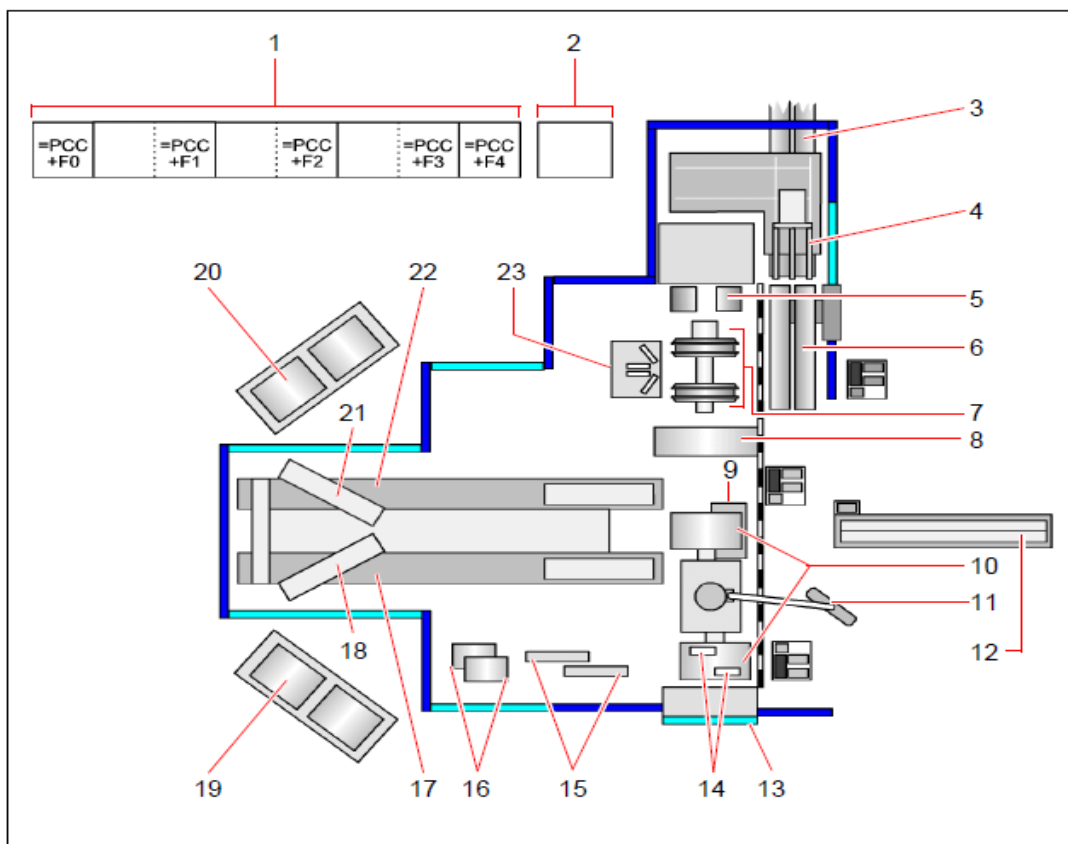


Figura 3.8 - Desenho representativo das peças mais importantes da máquina PU 7 (Machinery, 2014b).

1. Armários de distribuição
2. Armário do sistema pneumático 1
3. Cinca de alimentação da carcaça
4. Dispositivo expensor de carcaças
5. Bobina de transporte da carcaça
6. Cinta de alimentação da carcaça
7. Cabeça de modelação
8. Bobina de transporte da cinta
9. Carretilhas de cinta
10. Tambores
11. Monitor IPC e campo de comando principal
12. Alimentador de pisos
13. Armário do sistema pneumático 2
14. Cabeças da bobina
15. Unidade da faixa da bobina
16. Faixa da bobina dos rolos de material
17. Alimentador da tela metálica esquerda
18. Unidade de corte da tela metálica esquerda
19. Cassete de material da tela metálica esquerda
20. Cassete de material da tela metálica direita
21. Unidade de corte da tela metálica direita
22. Alimentador da tela metálica direita
23. Carretilhas de modelação

Como já foi referenciado, as carcaças pré-fabricadas são colocadas sobre a passadeira de alimentação da carcaça. O dispositivo expensor expande a carcaça e distribui a mesma na bobina de transporte para que se dê o posicionamento sobre a cabeça de modelação, pois esta irá receber o conjunto dos restantes elementos.

Simultaneamente, dois tambores estão dispostos numa mesa rotativa que irá permitir a realização das ditas ações distintas em paralelo. Isto é, o tambor do lado direito recebe as telas metálicas que foram alimentadas automaticamente (figura 3.9), de seguida a mesa roda 180° para a aplicação das cintas têxteis (“Cap Ply”) e, após outra rotação, é aplicado o piso (alimentado manualmente sobre a passadeira). O tambor do lado contrário exerce exatamente a mesma função conforme são feitas as rotações.

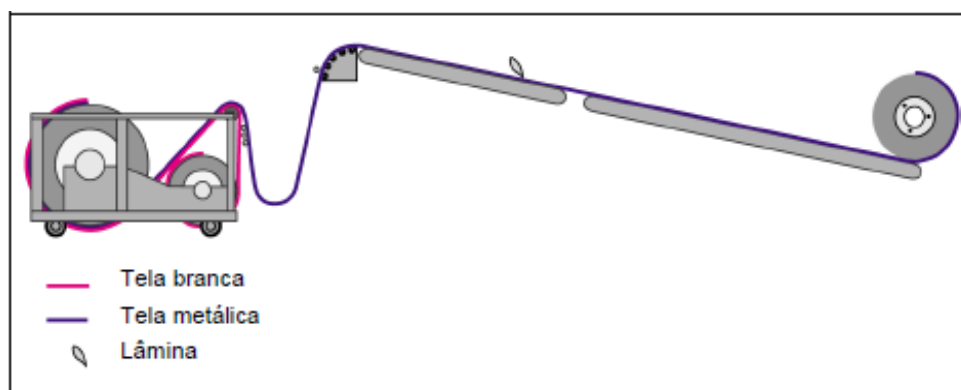


Figura 3.9 - Cassete de alimentação ao tambor da tela metálica (Machinery, 2014b).

De maneira a concluir o ciclo de produção do “pneu verde”, o anel de transporte recolhe o material do tambor e posiciona-o sobre a carcaça pré-modelada que, com ajuda das carretilhas forma o “pneu verde” final (figura 3.10) (Machinery, 2014b).



Figura 3.10 - Máquina PU, processo final da montagem do pneu em verde (P. Continental, 2016).

Os módulos de construção sofrem manutenção preventiva de 3 em 3 meses.

3.2 Descrição do Processo da Calandra

O processo de calandragem pertence ao departamento de preparação a frio e é responsável pelo fabrico de telas têxteis e telas metálicas. Atualmente a fábrica possui duas calandras de quatro rolos onde a designada por “1” produz ambas as telas e a “2” apenas produz tela têxtil usando o poliéster e o rayon. Para efeitos de estudo no âmbito da presente dissertação, a calandra escolhida foi a número 2 e por isso mesmo, alvo da descrição que irá ser feita posteriormente. A figura 3.11 mostra o fluxograma que exemplifica o fluxo de materiais correspondentes à calandra “2” de quatro rolos têxtil.

O processo de calandragem não é constituído apenas pela calandra em si, mas também por outro tipo de equipamentos que complementam a mesma, para que o tecido calandrado tenha a melhor qualidade possível. Assim, de uma forma genérica o processo de calandragem é formado pela extrusora, moinho de homogeneização, moinho de alimentação, calandra, estufa (cilindros de aquecimento), rolos de arrefecimento e prensa de emenda.

As matérias-primas usadas no fabrico de tela têxtil são, as mesas de borracha provenientes do departamento de misturação (figura 3.12), o tecido têxtil em verde que

pode ser poliéster ou rayon no caso da calandra 2 e outro tipo de fio condutor de ar, ambos fornecidos por uma empresa externa.

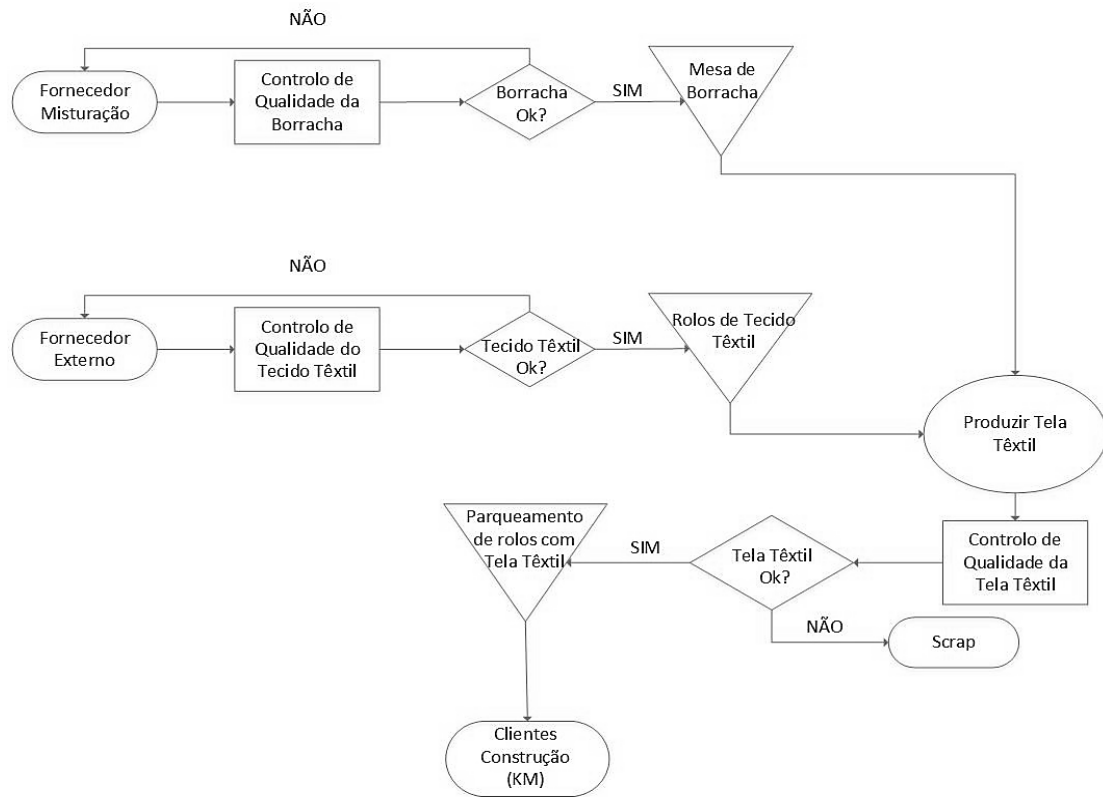


Figura 3.11 - Fluxo de materiais da calandra de 4 rolos têxtil.



Figura 3.12 - Mesa de borracha proveniente da Misturação e que alimenta a extrusora neste processo.

O ciclo de produção da calandragem inicia-se com o abastecimento à extrusora das mesas de borracha especificadas, assim como o abastecimento à estação final de um rolo de tecido branco vazio (forro onde irá ser enrolada a tela têxtil) e com a preparação do rolo de tecido em verde. Na figura 3.13 pode-se observar a extrusora a ser alimentada pela borracha, na 3.14 o rolo do tecido que irá servir de forro para a tela final e na 3.15 o rolo de tecido em verde (Morais, 2016).



Figura 3.13 - Alimentação da extrusora com o composto de borracha (Morais, 2016).



Figura 3.14 - Rolo do tecido que irá servir de forro para a tela têxtil, já calandrada (Morais, 2016).



Figura 3.15 - Rolo do tecido em verde (Morais, 2016).

Após os primeiros passos concluídos, é então iniciado o processo de fabrico da tela têxtil. A borracha entra na extrusora onde é aquecida e triturada para que se torne possível trabalhar melhor a mesma, de seguida vai para o moinho de homogeneização onde vai ser bem misturada para a tornar maleável e uniforme (figura 3.16). Conforme vai sendo homogeneizada passa pelo moinho final ou de alimentação que, para além de ter a função de uniformizar e continuar a envolver bem o composto, alimenta a calandra superiormente e inferiormente (figura 3.17 e 3.18). Na extrusora, moinhos e rolos da calandra, circula água quente que é aquecida através de resistências elétricas.



Figura 3.16 - Moinho de homogeneização.



Figura 3.17 - Moinho final ou de alimentação.

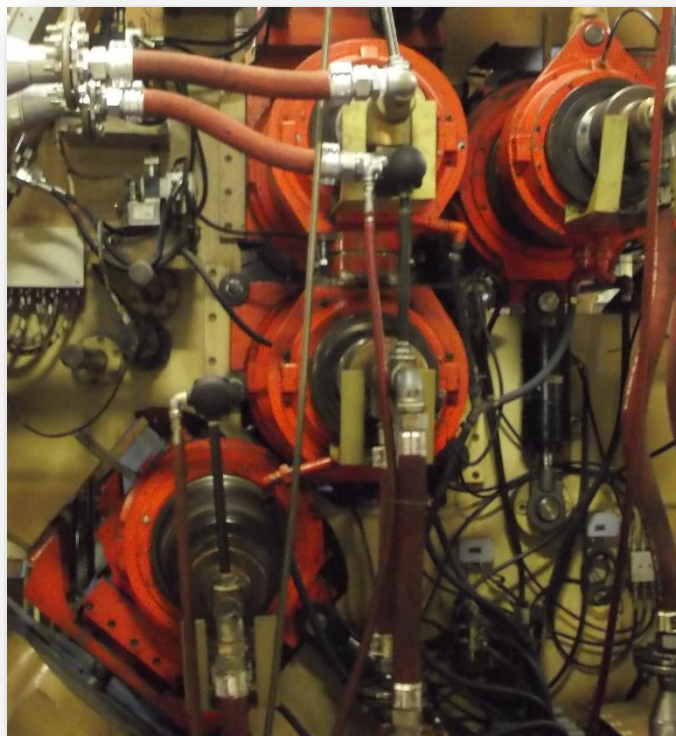


Figura 3.18 - Calandra têxtil de quatro rolos número 2.

Inicialmente, o tecido em verde passa a prensa de emenda que é responsável pela ligação entre o tecido em verde com o forro de enfiamento (forro que é colocado

aquando a paragem da máquina que tem como objetivo guiar o tecido em verde) ou com o tecido em verde anterior. Antes de ser alimentado à calandra, o tecido em verde passa na estufa que contém rolos aquecidos, estes servem para remover a humidade do tecido e melhorar a adesão do mesmo. A figura 3.19 mostra a prensa de emenda referida anteriormente. O ar e os rolos de aquecimento da estufa são aquecidos através de vapor.

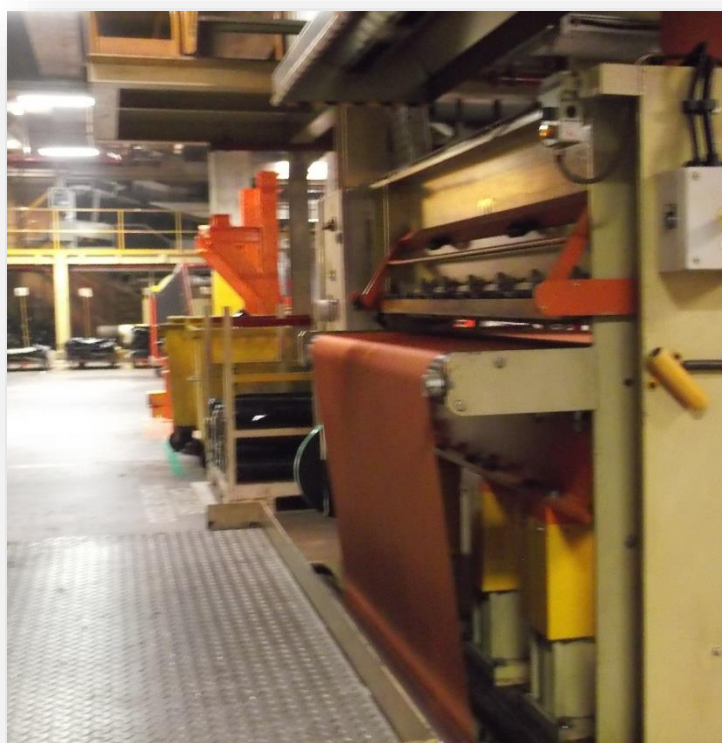


Figura 3.19 - Prensa de emenda.

Assim, após realizada a impregnação na calandra, a tela têxtil passa por cerca de 10 rolos onde circula água fria que permite arrefecer o material de maneira a estabilizar as propriedades do composto e, assim, a tela sai com o perfil desejado. Já prestes a ser enrolada, a tela impregnada continua o seu percurso passando por um acumulador de rolos de maneira a permitir que a linha não pare e a tela seja continuamente enrolada com a cadência necessária. Isto também acontece com o tecido em verde momentos antes de passar na calandra. O acumulador de rolos para o tecido calandrado pode ser observado na figura 3.20.

Ao longo do processo pode ser necessário a troca do rolo do tecido em verde assim como o contínuo abastecimento das mesas de borracha à extrusora. Para além disso, é necessário sempre o controlo das variáveis especificadas na receita de

produção, como a espessura da borracha a calandrar, a velocidade, temperaturas, entre outras.



Figura 3.20 - Local onde se acumula o tecido calandrado.

Ao contrário da maioria das máquinas de produção, atualmente, esta calandra fabrica tecido calandrado apenas durante 8h/dia (um turno) e, salvo exceções, não fabrica ao fim-de-semana. Esta máquina tem manutenção preventiva de um dia por semana, durante 8h.

4 Levantamento e Avaliação Energética

Neste capítulo é apresentado o levantamento da produção e consumo energético e respetiva avaliação energética em toda a fábrica da MABOR, nomeadamente os consumos energéticos e específicos do módulo de construção número 1 e da calandra de 4 rolos número 2. A maioria dos dados relativos aos consumos energéticos foram conseguidos a partir do MESSDAS, software anteriormente referido. Toda a informação é referente ao ano de 2015, ano de referência para o desenvolvimento do presente trabalho.

4.1 Produção e Consumo energético da Continental Mabor

Como já foi dito anteriormente, atualmente a CMIP produz em média 57 000 pneus/dia, o que a torna uma das principais fábricas do grupo com melhores índices de produtividade. O volume de produção mensal relativo ao ano de 2015 da CMIP, encontra-se representado graficamente na figura 4.1.

As tabelas com os devidos valores mensais da produção, fornecidos pela empresa, encontram-se no anexo A.1 (tabela A.1).

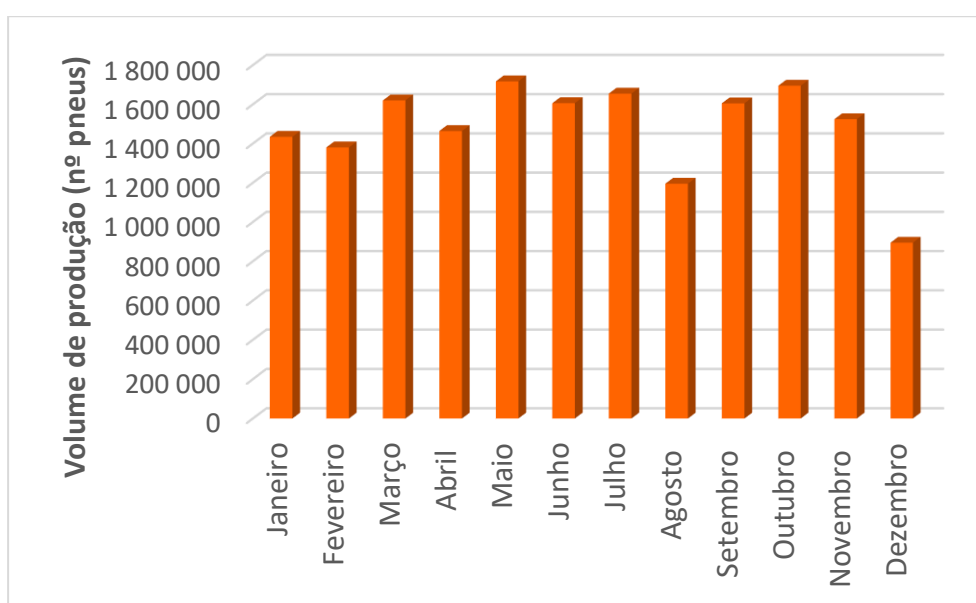


Figura 4.1 – Representação gráfica do volume de produção mensal relativa a 2015.

Através da figura 4.1 pode-se observar que ao longo dos meses a produção da empresa foi relativamente constante. Os dois meses que ficam mais afastados do padrão são Agosto e Dezembro, o que pode ser justificado pelas paragens para manutenção que ocorreram entre o dia 10 e 15 de Agosto e 19 a 31 de Dezembro.

Em média, a produção mensal da CMIP referente ao ano de 2015 foi de mais de 1 milhão de pneus o que levou a mais de 17 milhões no final do ano.

O volume de produção da Continental Mabor é dirigido a dois mercados clientes, mercado de substituição (MS) e mercado de origem (MO). Na figura 4.2 encontra-se a representação gráfica das percentagens da produção do ano 2015, para cada um dos mercados.

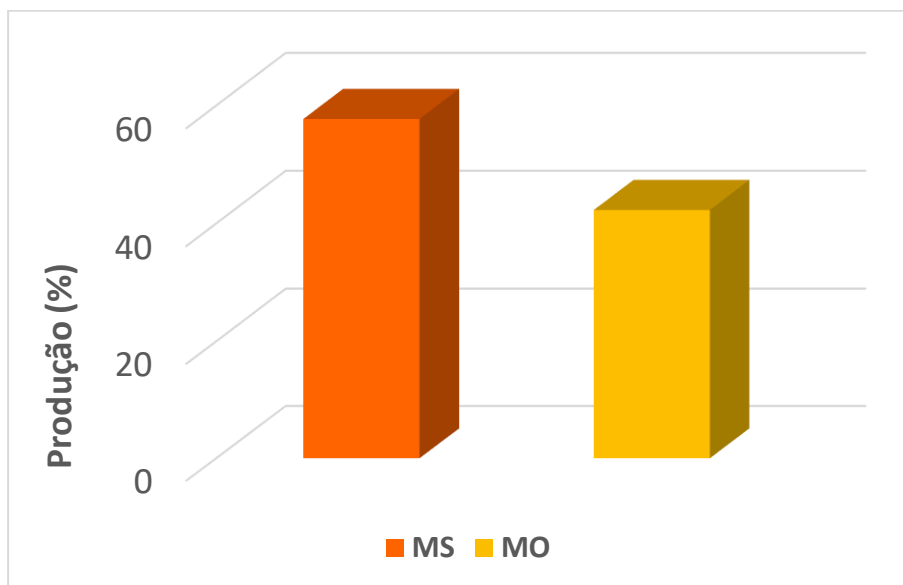


Figura 4.2 - Repartição percentual da produção que se dirige ao mercado de substituição e mercado de origem.

Como se pode observar pela figura 4.2, mais de 50% da produção de 2015 destinou-se ao mercado de substituição.

Na figura 4.3 são apresentados os consumos das utilidades energéticas, em percentagens, relativamente ao ano de 2015. Os dados utilizados para a construção da figura 4.3, 4.4 e respetivo exemplo de cálculo, encontram-se no anexo A.1.

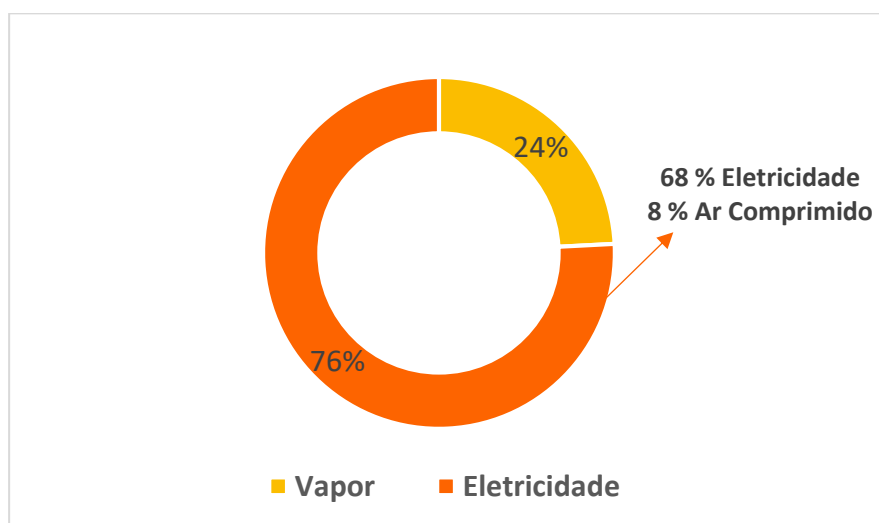


Figura 4.3 - Representação percentual do consumo energético total da fábrica.

As utilidades energéticas consumidas pela CMIP são o vapor e eletricidade, sendo que parte desta última trata-se de ar comprimido. Como se verifica pela figura 4.3, a utilidade representativa da maioria trata-se da eletricidade com 68% de contribuição, de seguida o vapor com 24% e por último, o ar comprimido com 8%.

Os custos representativos do ano de 2015 das utilidades referidas estão representados na figura 4.4.

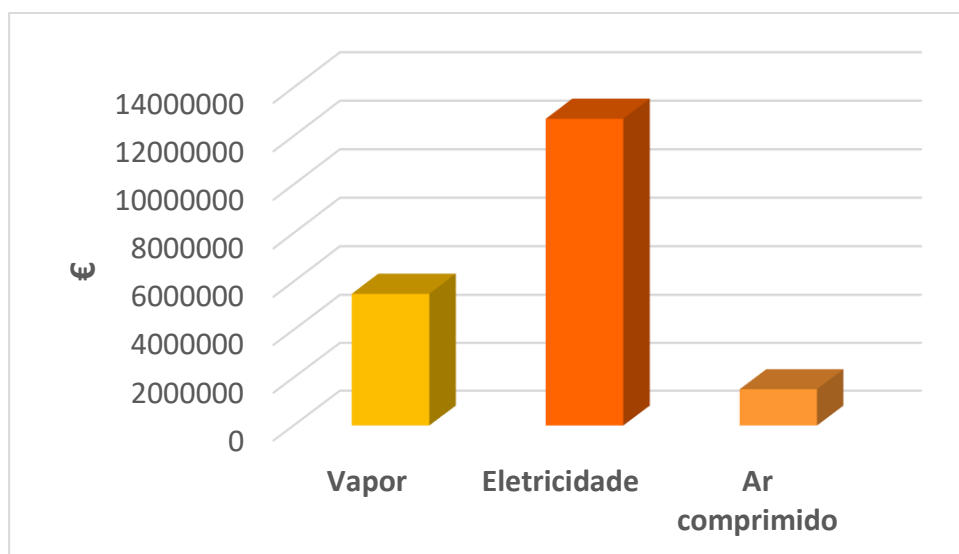


Figura 4.4 - Representação gráfica dos gastos monetários que a CMIP teve no ano de 2015, relativamente a cada utilidade.

À semelhança da figura anterior, a eletricidade também representa a maioria dos gastos monetários que a fábrica teve no ano de 2015, ascendendo os 12 milhões de euros. No total, a CMIP gastou mais de 19 milhões de euros em energia no ano de 2015.

Como a CMIP consumiu mais do que 500 Tep no ano de 2015, é considerada uma empresa consumidora intensiva de energia (CIE), sendo assim abrangida pelo sistema de gestão de consumos intensivos de energia (SGCIE), regulado pelo Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril. Para além disso, o consumo ascende os 1000 Tep, o que implica que hajam auditorias de 6 em 6 anos logo após quatro meses do registo da mesma. (BCSD, 2013; SGCIE, 2008)

4.2 Consumos energéticos e específicos do Módulo de Construção 1

Como já foi referido anteriormente, o levantamento realizado na área da construção foi para o módulo 1. Este tipo de máquinas (KM & PU) consomem ar comprimido e eletricidade, nas figuras 4.5 e 4.6 encontra-se a representação gráfica dos

consumos das utilidades da máquina e os seus custos, respetivamente. Os dados apresentados são relativos ao ano de 2015 a partir do dia 10 de Fevereiro. Os dados obtidos através do software MESSDAS que permitiram a construção das figuras apresentadas neste subcapítulo, encontram-se no anexo A.2 assim como os exemplos de cálculos necessários.

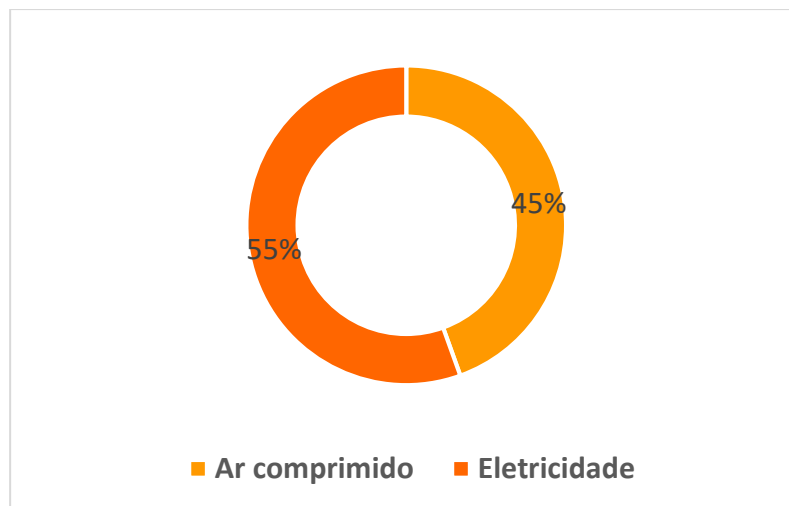


Figura 4.5 - Representação percentual do consumo energético do módulo de construção.

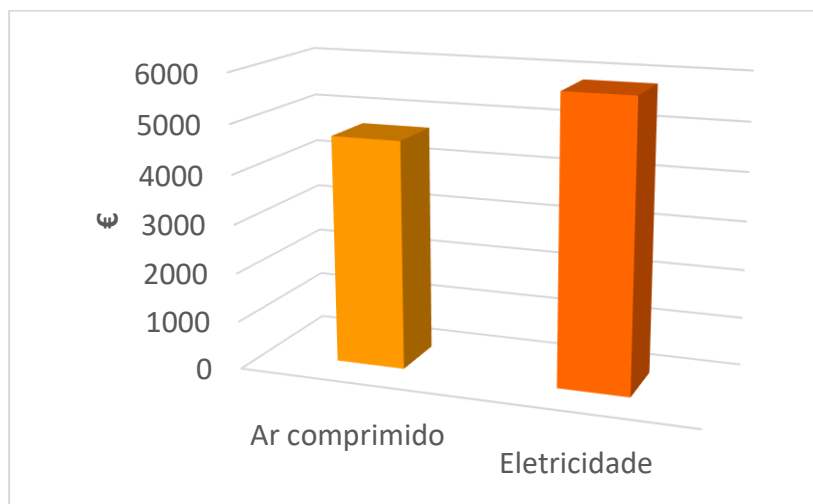


Figura 4.6 - Custos correspondentes ao consumo energético de ar comprimido e eletricidade do módulo de construção.

Através da figura 4.5 constata-se que o consumo de eletricidade é um pouco superior ao de ar comprimido apesar de serem bastante equilibrados. Traduzindo os valores dos consumos energéticos em custos (figura 4.6) verifica-se que no ano de 2015, apenas neste módulo, gastou-se mais de 5000 € em eletricidade e mais de 4000 € em ar comprimido.

Juntando as duas utilidades de forma a comparar o consumo energético mensal de cada uma das máquinas ao longo do ano, construiu-se a figura 4.7.

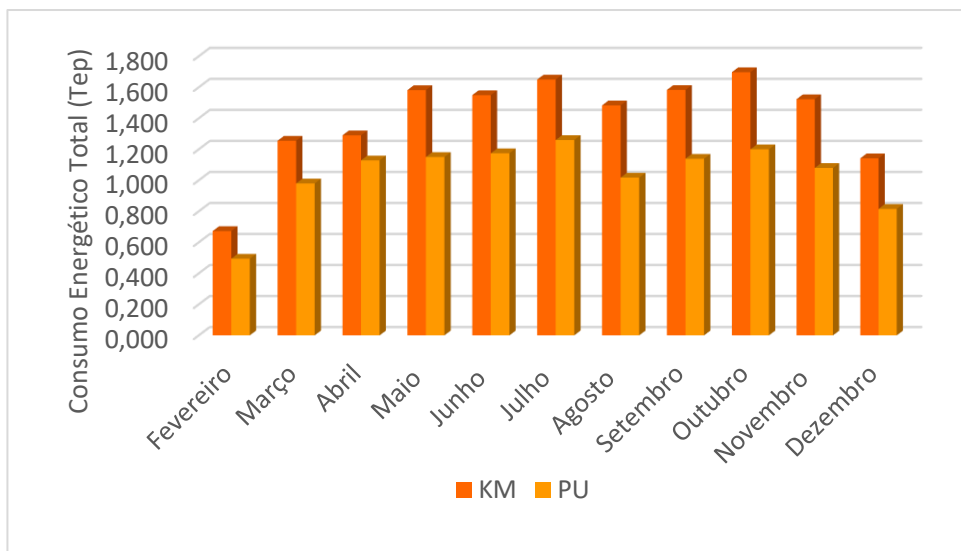


Figura 4.7 - Consumo energético mensal do ano de 2015 nas máquinas KM e PU.

Pela observação da figura 4.7, conclui-se que a KM possui valores de consumo energético superiores aos da PU, sendo a média mensal da KM de 1,4 tep e 1,0 para a PU, o que era de se esperar uma vez que a KM possui, para além da linha de baixa de pressão (6 Bar), a linha de alta pressão (9 Bar). Mesmo que a KM não possui-se a linha de alta pressão, consome muito mais ar comprimido na linha de 6 bar do que a PU.

Como já foi dito anteriormente, os dados expostos são apenas a partir do dia 10 de Fevereiro. Deixando esse mês de parte na análise dos dados, verifica-se que o consumo mensal é próximo entre si. Com o intuito de analisar o consumo específico (figura 4.9), recolheu-se os valores relativos à produção mensal do módulo 1, tal levantamento encontra-se representado na figura 4.8.

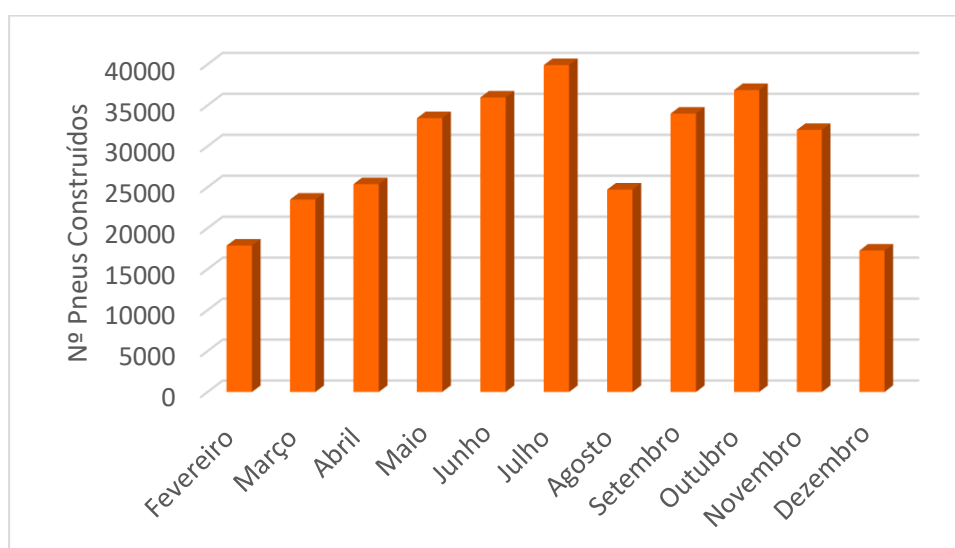


Figura 4.8 - Quantidade mensal de pneus em verde construídos pelo módulo 1.

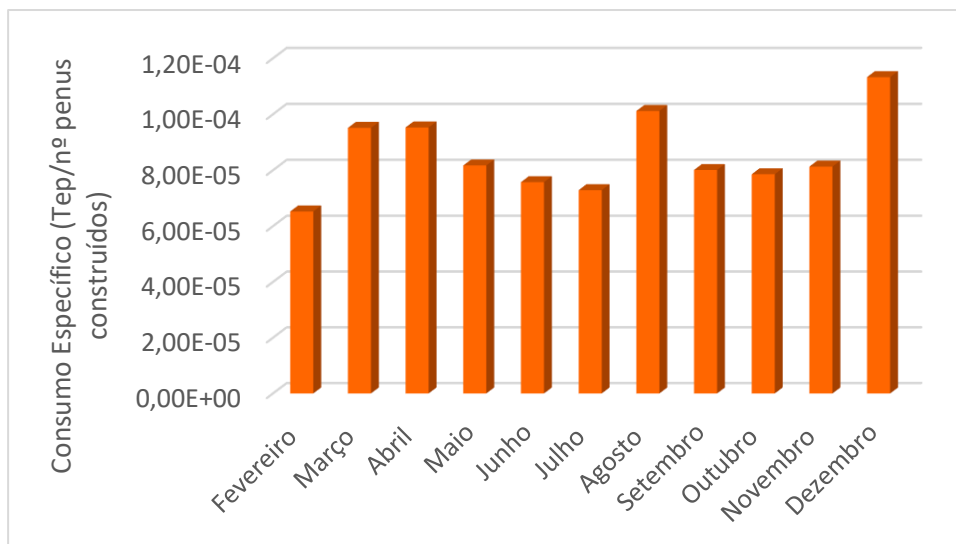


Figura 4.9 – Representação gráfica do consumo específico mensal do módulo de construção.

Através do gráfico da figura 4.8, averigua-se que a produção mensal não possui grandes oscilações, sendo que, os meses de Julho e Outubro são responsáveis pela maior produção e os meses de Agosto e Dezembro pelo contrário, ou seja, menor produção devido às paragens da fábrica referidas anteriormente. Como tal e visto que, tanto o consumo energético mensal da máquina, como a sua respetiva produção não possuíram grandes oscilações ao longo do ano, era de esperar que o consumo específico acompanhasse este comportamento. Neste seguimento, através da figura 4.9, verifica-se que em Agosto e Dezembro o consumo específico é superior aos restantes meses, visto que apresentaram uma produção menor para consumos energéticos semelhantes. De maneira a entender este facto comparou-se, a título de exemplo, os meses de Agosto e Novembro. Ora, estes dois meses gastaram praticamente a mesma quantidade de energia (uma diferença de 0,1 tep) mas, em contrapartida, apresentaram valores de produção muito distintos, sendo para Agosto 24716 de pneus construídos e para Novembro 31996 pneus em verde, o que indica uma diferença de 7280 pneus. Posto isto, no caso do mês de Agosto, como se gastou a mesma quantidade de energia com menor produção de pneus em verde, é natural que o consumo específico aumente em relação ao de Novembro.

4.3 Consumos energéticos e específicos da Calandra de 4 rolos 2

Na área da preparação o equipamento alvo de avaliação foi a calandra de 4 rolos número 2. Neste caso, as formas de energia que alimentam a calandra são, para além do ar comprimido e eletricidade, o vapor. Nas figuras 4.10 e 4.11 encontra-se a representação gráfica do consumo energético, repartido pelas três utilidades, do ano de

2015 e os custos correspondentes às mesmas. É importante referir que todos estes dados relativos à calandra número 2 são apenas desde o mês de Abril de 2015, uma vez que os medidores responsáveis pela contabilização do consumo de vapor foram alterados. Todos os dados obtidos através da empresa e exemplos de cálculo, que auxiliaram a elaboração das figuras referidas e das restantes presentes neste subcapítulo, encontram-se no anexo A.3.

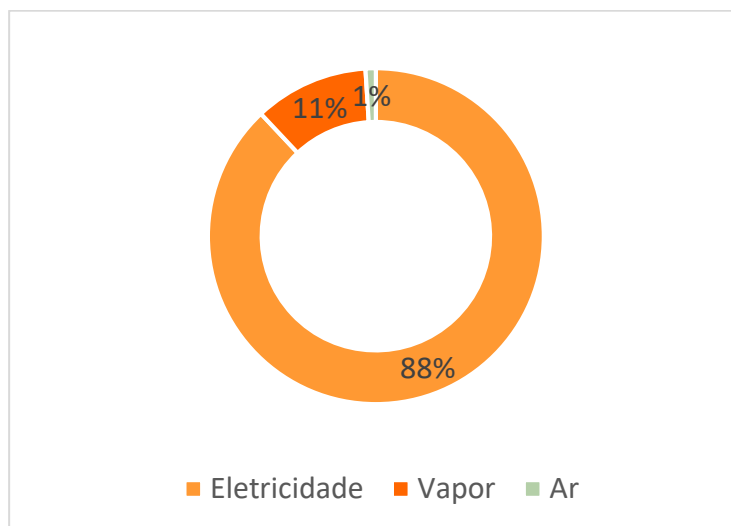


Figura 4.10 - Representação percentual do consumo energético da calandra de 4 rolos 2, dividido pelas respetivas utilidades.

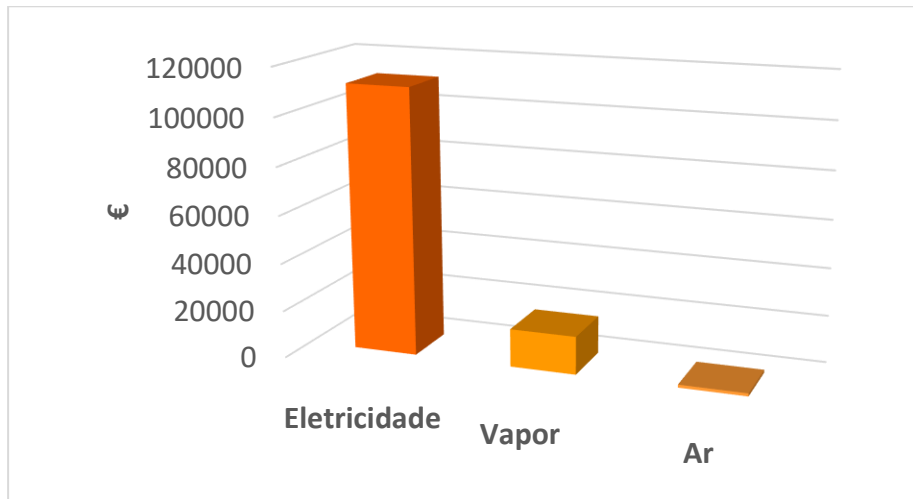


Figura 4.11 - Custos correspondentes ao consumo energético de ar comprimido, vapor e eletricidade da calandra de 4 rolos.

Através da figura 4.10 constata-se que a utilidade mais consumida na calandra número 2 é a eletricidade, sendo que a contribuição do ar comprimido é apenas de 1%. Traduzindo os valores dos consumos energéticos em custos (figura 4.11) verifica-se que no ano de 2015, a calandra gastou mais de 110 000 € em eletricidade, mais de 16 000 € em vapor e mais de 1 200 € em ar comprimido, o que leva a um total de quase 130 000 € anuais.

Agrupando a informação dos consumos de todas as utilidades energéticas, de forma a comparar o consumo energético ao longo do ano, construiu-se o gráfico da figura 4.12.

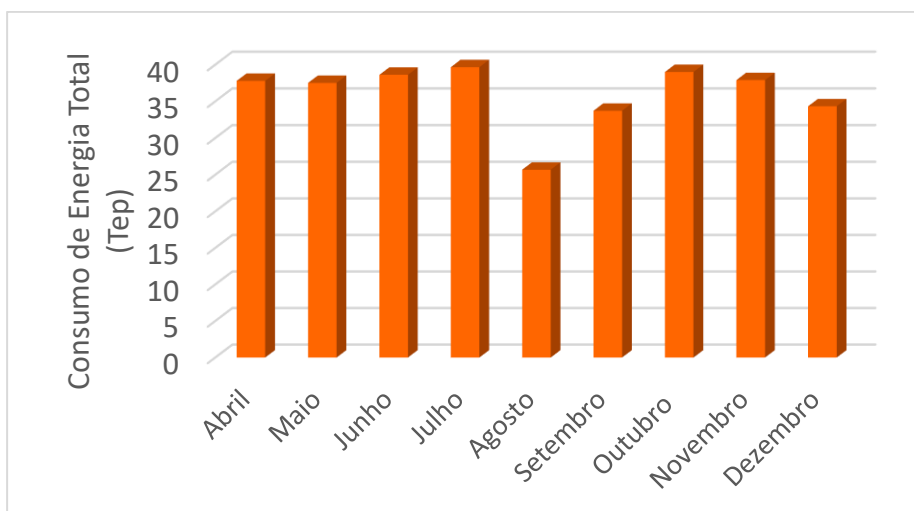


Figura 4.12 - Consumo energético total ao longo do ano de 2015 na calandra de 4 rolos número 2.

Com a observação da figura 4.12, verifica-se que mensalmente a calandra consome em média 36 tep à exceção do mês de Agosto que apenas consumiu cerca de 26 tep, devido à paragem da empresa para manutenção. Tal como no módulo, as oscilações do consumo de energia de mês para mês são relativamente pequenas.

Da mesma forma, com o intuito de analisar o consumo específico da calandra de 4 rolos número 2, figura 4.14, recolheram-se os dados relativos à produção da mesma do ano 2015, que se encontram na figura 4.13.

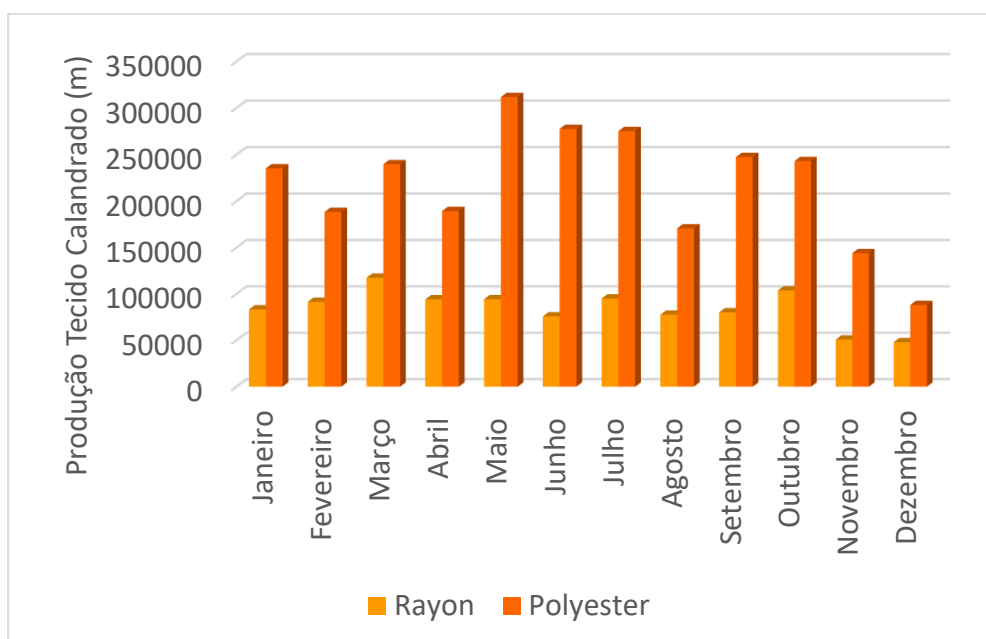


Figura 4.13 - Produção mensal de tecido calandrado com os dois tipos de tecido em verde.

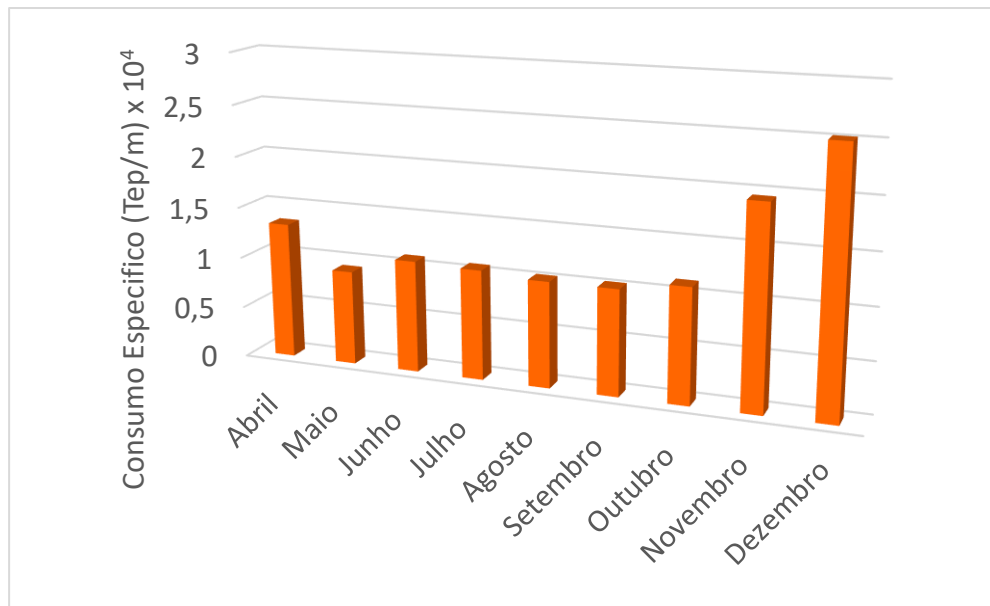


Figura 4.14 - Representação gráfica do consumo específico mensal da calandra de 4 rolos.

Neste caso, pela figura 4.13, verifica-se que para além dos meses de Agosto e Dezembro, o mês de Novembro também possuiu menor produção. No entanto, o consumo de energia, no caso de Agosto, acompanhou a tendência sendo também menor, o que leva a que o consumo específico (figura 4.14) seja equilibrado. O que não acontece nos outros dois meses, onde o consumo se manteve como se os mesmos tivessem produzido mais tecido calandrado. Por essa mesma razão os dois apresentam consumos específicos superiores.

5 Otimização Energética dos equipamentos

Neste capítulo são apresentadas as propostas de melhoria e otimização energética nos dois equipamentos estudados, assim como os valores respetivos da poupança, investimento, *payback period* (caso aplicável).

5.1 Módulo de Construção 1

Analisando o processo produtivo dos módulos de construção, identificaram-se as seguintes ações de melhoria e otimização energética que, são transversais a todos os módulos de construção, uma vez que todos funcionam de forma semelhante:

- Detecção e redução das fugas de ar comprimido;
- Aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo;
- Criação do modo “Stand – By” na máquina;
- Diminuição da pressão de trabalho do ar da linha de alta pressão;
- Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético.

Em seguida é feita uma descrição destas ações de melhoria e otimização energética.

5.1.1 Detecção e redução das fugas de ar comprimido

Ao longo do processo de levantamento dos consumos energéticos, foi possível detetar fugas de ar comprimido nas máquinas (KM e PU) correspondentes ao ar de baixa pressão (6 bar). Isto porque, foi verificado consumo de ar comprimido com a máquina parada e com os compressores a funcionar. No anexo B.1 encontram-se todos os dados e exemplos de cálculos necessários aos resultados apresentados neste subcapítulo.

Na tabela 5.1 encontra-se o valor médio do consumo instantâneo e diário relativo a fuga de ar na KM e PU atual.

Tabela 5.1 – Consumos de ar comprimido diários nas máquinas KM e PU relativamente à pressão de 6 bar e respetivo consumo em fuga detetada no ano 2015.

P = 6 bar	KM	PU
Consumo de ar comprimido médio (Nm ³ /dia)	795	433
Consumo de ar comprimido em fugas instantâneo (Nm ³ /h)	6,5	2
Consumo de ar comprimido em fugas médio (Nm ³ /dia)	156	48

Ora, como se sabe que é impossível eliminar 100 % das fugas de ar, foi-se verificar qual seria a poupança se houvesse uma redução de pelo menos 60% das mesmas (Novais, 1995). Deste modo, o caudal de ar comprimido médio diário passaria para 701 Nm³/h e 414 Nm³/h respetivamente, para a KM e PU (Anexo B.1).

Através dos valores indicados na tabela 5.1, foi possível construir a figura 5.1, que permite analisar a percentagem representativa das fugas no consumo diário normal de uma máquina e comparar com a contribuição percentual com a redução de 60% relativamente ao valor atual.

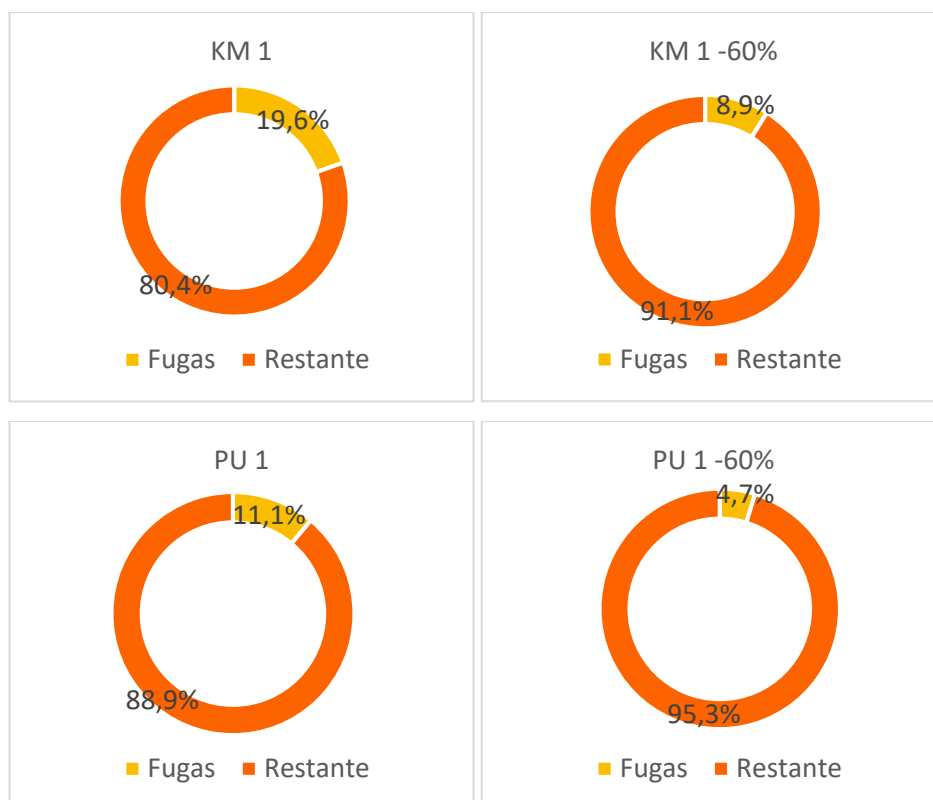


Figura 5.1 - Representações gráficas da contribuição percentual do consumo de fugas no consumo diário de ar comprimido, para a situação sem redução e com redução de 60%.

Observando a figura 5.1, na máquina KM cerca de 20% do consumo de ar são fugas, enquanto na PU o consumo de fugas representa 11% do consumo de ar comprimido. Aplicando a proposta referida, o consumo de fugas da KM e PU passa a ser apenas de 8,9% e 4,7%, respetivamente.

Na tabela 5.2 encontram-se os valores da quantidade a economizar caso se aplique a proposta de redução de fugas em 60%, relativamente ao valor atual.

Tabela 5.2 – Valores obtidos para a poupança no módulo 1 com a proposta referida.

	Consumo de Ar comprimido ano de 2015 módulo 1 (kWh)	Poupança módulo 1 (kWh/ano)	Poupança módulo 1 (€/ano)	Poupança em 48 máquinas (€/ano)
Sem redução	55 600			
Redução 60% no caudal de fuga atual	50 272	5 328	447,6	21 482

Com a análise da Tabela 5.2 verifica-se que, no módulo 1, é possível economizar cerca 448 €/ano com a redução de fugas em 60%.

A redução de determinada percentagem de fugas nestas máquinas pode ser uma variável muito importante em termos de consumo energético, uma vez que a secção da construção é constituída por 48 máquinas KM e PU. Considerando que, em média, os 48 módulos apresentam a mesma quantidade de fugas, ter-se-ia uma poupança superior a 21 000 €.

5.1.2 Aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo

Nos módulos mais antigos (23 módulos), a zona das cassetes de alimentação da camada interna e telas têxteis da KM, possui ventilação para ajudar a que, o material não arraste e não cole à estrutura da máquina. Ora, como já foi referido anteriormente, conforme as receitas da produção, a carcaça do pneu tem obrigatoriamente uma tela têxtil sendo a segunda opcional. Quando apenas se usa uma tela a segunda cassete não é colocada, mas essa zona continua a ser ventilada sem motivo. A aplicação do variador de frequência surgiu na hipótese de, nessas situações, conseguir direcionar o caudal de ar necessário apenas para a primeira cassete. No entanto, devido ao facto de

não se poder contabilizar o consumo do motor após aplicação do variador de frequência e visto que a sua vantagem seria essencialmente no arranque da máquina, analisou-se a proposta de substituir por outro ventilador que correspondesse ao objetivo mencionado, mas que tivesse menor consumo.

Na tabela 5.3, encontram-se as características do ventilador atual e de um da marca SODECA sugerido para a função referida.

Tabela 5.3 – Dados característicos do ventilador atual e do ventilador sugerido da marca SODECA (Sodeca, 2014).

	Ventilador atual Rexnord-Stephan	Ventilador sugerido SODECA
Potência nominal (kW)	0,25	0,18
Velocidade (rpm)	2840	2750
Fluxo de ar máximo (m³/min)	3	11,7
Consumo energético estimado (kWh/ano)	1 704	1 227

Na tabela 5.4 encontram-se os valores relativos ao investimento necessário para as 23 máquinas, respetiva poupança anual e o *payback* do investimento. No anexo B.2 encontram-se os exemplos de cálculo referentes aos consumos de ambos ventiladores assim como poupança e *payback*.

Tabela 5.4 – Valores de investimento, respetiva poupança e *payback* em relação ao ventilador sugerido da SODECA (Sodeca, 2014).

	Ventilador sugerido SODECA
Preço (€/unidade)	196,8
Investimento em 23 módulos (€)	4 526
Poupança num módulo (€/ano)	40,1
Poupança em 23 módulos (€/ano)	921,8
<i>Payback</i> (anos)	4,9

Como se verifica na tabela 5.4, com a substituição do ventilador iria-se poupar um total de 922 €/ano e o valor totalizador do investimento seria de 4 526 €, onde iria ser recuperado em 4,9 anos.

Caso seja de interesse, o custo do variador de frequência, seria de 98,4 € (eurodrive, 2008).

5.1.3 Criação do modo “Stand – By” na máquina

Em todos os equipamentos produtivos existem, ao longo dos turnos, paragens da máquina por diversas razões:

- Ocorrências de avarias;
- Testes de qualidade;
- Pausas para lanche e para almoço/jantar/ceia (40 minutos cada);
- Mudanças da medida de jante;
- Ausência de plano de produção.

Com o desenrolar do estágio na empresa, apercebeu-se que, nas paragens mais longas como o almoço e ausência de plano de produção nada era feito no sentido de diminuir o consumo energético. Ou seja, apesar da máquina não se encontrar a produzir pneus, toda a sua estrutura está a consumir energia. Essa estrutura corresponde a resistências elétricas e lâmpadas de halogénio responsáveis pelo aquecimento de lâminas da KM. Outro tipo de acessórios como, iluminação, lasers de centragem da KM, unidade de potência dos drives, linhas de ar comprimido abertas, etc.

O intuito da criação do modo “Stand-By” corresponde, nesses mesmos tempos “mortos”, a desligar alguns desses elementos, analisando bem cada situação para que não se prejudique o arranque da máquina. Para tal, decidiu-se que na pausa de almoço/jantar/ceia, poder-se-ia cortar a iluminação, os lasers, a unidade de controlo e as resistências elétricas/lâmpadas de halogénio (apenas durante o tempo limite para que voltem a aquecer antes do arranque). Já na paragem devido à ausência de plano de produção, poder-se-ia cortar o mesmo que nas anteriores e ainda fechar o ar comprimido para eliminar as correntes de fugas e assim poupar energia.

No anexo B.3 encontram-se todos os dados recolhidos, e exemplos de cálculo relativos ao aquecimento e arrefecimento das lâminas assim como da parte económica avaliada.

5.1.3.1 Aquecimento e arrefecimento lâminas de corte da KM 1

A situação que careceu de mais atenção foi o aquecimento de certas lâminas na máquina KM na pausa de almoço/jantar/ceia, que corresponde a um tempo de 40 minutos e ao fim do qual a máquina necessita se estar pronta a arrancar. Com isto, foi necessário jogar com o tempo que as mesmas demoram a aquecer e com o tempo que podem estar desligadas, de maneira a que não comprometa a produção.

A KM possui na sua estrutura, para além de algumas facas e ferros auxiliares, um total de sete lâminas. Na figura 5.2 encontram-se fotografias das respetivas lâminas. Uma delas é responsável pelo corte da camada interna e mantém-se aquecida através de três lâmpadas de halogénio; duas laterais (lado direito e lado esquerdo) responsáveis pelo corte das respetivas paredes e quatro responsáveis pelo corte das telas têxteis. As últimas seis referidas são aquecidas através de resistências elétricas.



Lâmina da camada interna



Lâmina da parede (x2)



Lâmina esquerda da tela têxtil (x2)



Lâmina direita da tela têxtil (x2)

Figura 5.2 – Fotografias tiradas às lâminas de corte da KM.

De maneira a calcular o tempo que as lâminas demoram a aquecer e a temperatura que atinge após arrefecimento, foi necessário realizar balanços de energia às mesmas, adotando o modelo adequado para o aquecimento e arrefecimento.

Modelo para o aquecimento

Considerou-se que, o aquecimento dar-se-ia através de radiação térmica, resultante dos corpos vizinhos (lâmpadas de halogénio ou aquecedores das

resistências) com temperaturas elevadas. Para além disso, desprezaram-se as perdas térmicas quer por condução, devido à boa condutibilidade e espessuras pequenas quer por convecção, devido à proximidade de ambos os corpos. Como tal, o balanço energético aplicado à lâmina durante o aquecimento é dado pela equação 5.1 (Incropera, 1992).

$$\Delta U_{\text{lâmina}} = Q_{\text{rad}} \leftrightarrow m \times c_p \times \frac{dT_{\text{faq}}}{dt} = -\varepsilon \times A_{\text{tc}} \times \sigma \times (T_{\text{faq}}^4 - T_{\text{viz}}^4) \quad (5.1)$$

Modelo para o arrefecimento

Durante o arrefecimento em que as resistências e lâmpadas são desligadas, apenas se considerou que a lâmina perdia calor por convecção natural, apesar da mesma ainda receber alguma radiação térmica da vizinhança durante o arrefecimento. O balanço energético simplificado para o arrefecimento é dado pela equação 5.2 (Incropera, 1992).

$$\Delta U_{\text{lâmina}} = -Q_{\text{conv}} \leftrightarrow m \times c_p \times \frac{dT_{\text{farr}}}{dt} = -h \times A_{\text{tc}} \times (T_{\text{farr}} - T_{\infty}) \quad (5.2)$$

Através dos dois modelos para arrefecimento e aquecimento e, com a ajuda do suplemento de excel “solver”, conseguiu-se obter o tempo ótimo para o qual as resistências e lâmpadas podem ser desligadas de maneira a que o somatório de ambos os tempos não seja superior a 40 minutos. De forma a garantir esse limite superior, considerou-se que o somatório tinha de ser menor ou igual a 39,5 minutos. Na tabela 5.5 encontram-se os tempos de arrefecimento e aquecimento obtidos para cada lâmina.

Tabela 5.5 – Tempo obtido com o auxílio do suplemento solver para a paragem se almoço/jantar/ceia.

Lâmina	Tempo arrefecimento (minutos)	Tempo aquecimento (minutos)	Total paragem (minutos)
Lâmina de parede - Direita	26,1	13,4	39,5
Lâmina de parede - Esquerda			
Lâmina de camada interna	31,8	7,7	39,5
Lâmina de tela têxtil – Esquerda (2x)	19,9	19,5	39,4
Lâmina de tela têxtil – Direita (2x)			

O tempo de arrefecimento e aquecimento para as lâminas de parede e de tela são a média dos tempos obtidos para cada uma delas, esquerda e direita.

Com vista a análise do perfil da temperatura das lâminas ao longo do seu arrefecimento, construiu-se a figura 5.3.

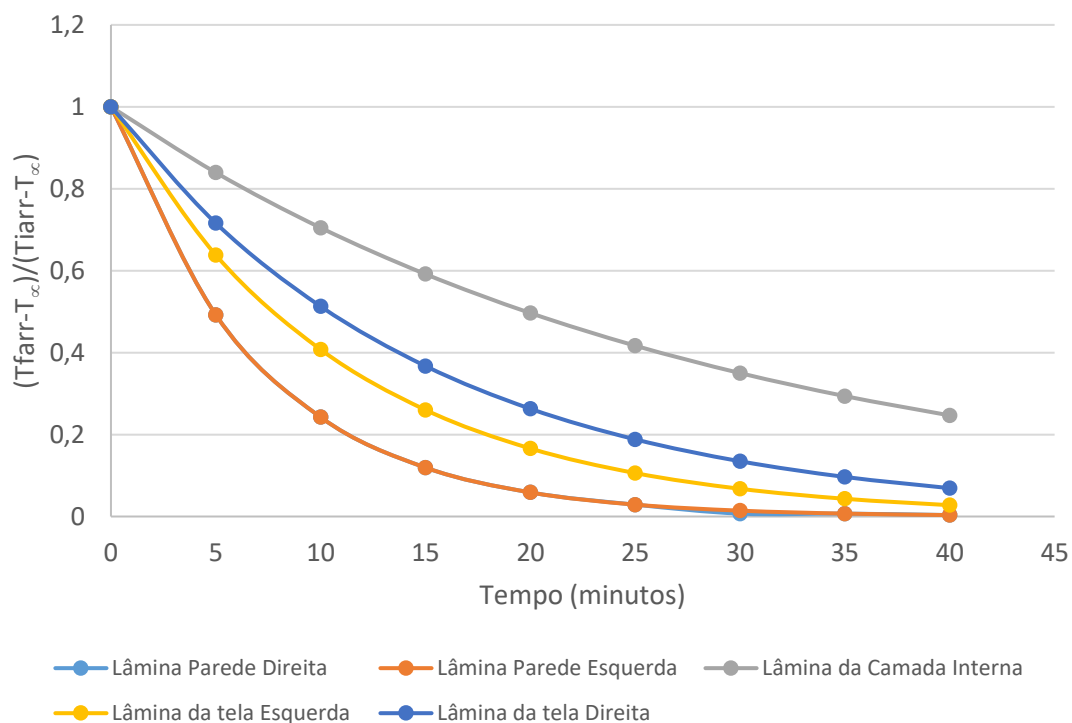


Figura 5.3 – Comportamento da temperatura das lâminas ao longo do tempo.

Concluiu-se assim que na paragem de almoço/jantar/ceia, pode-se desligar as resistências das lâminas de parede durante 26 minutos e as da lâmina de tela têxtil durante 19 minutos, enquanto que as lâmpadas de halogénio responsáveis pelo aquecimento da lâmina de camada interna podem desligar-se durante 31 minutos. Como as facas e o ferro auxiliar da máquina possuem características semelhantes às das lâminas de parede, considerou-se que o tempo que as respetivas resistências poderiam estar desligadas seria também de 26 minutos.

Por observação da figura 5.3, é facilmente perceptível que a lâmina que demora mais tempo a atingir o equilíbrio térmico com o ar é a de camada interna, o que torna possível ter as lâmpadas desligadas durante mais tempo, uma vez que também é a mais rápida a aquecer.

É de salientar que a aplicação destes modelos é feita apenas na pausa de almoço/jantar/ceia, uma vez que as paragens sem plano não têm um tempo específico, tanto pode ser meia hora como várias horas. Sendo assim, calculou-se o tempo de aquecimento (tabela 5.6), estimando-se que as lâminas arrefeciam até $24,5^{\circ}\text{C} \pm 2,5$

(temperatura ambiente média da fábrica, uma vez que varia entre os 22 °C e 27 °C). Tempo este que departamento de produção tem de ter em consideração antes de arrancar com a máquina.

Tabela 5.6 – Tempos de aquecimento para cada lâmina quando a temperatura inicial da lâmina é de 24,5 °C ± 2,5.

Lâmina	Tempo aquecimento desde temperatura ambiente (minutos)
Lâmina de parede - Direita	18,3 ± 0,4
Lâmina de parede - Esquerda	
Lâmina de camada interna	12,8 ± 0,2
Lâmina de tela têxtil - Esquerda	28,7 ± 3,6
Lâmina de tela têxtil - Direita	

5.1.3.2 Análise Económica

Obtidos os tempos que as resistências e lâmpadas podem estar desligadas e o tempo que as lâminas demoram a aquecer consegue-se, através das potências de cada equipamento e também através do consumo de fuga detetado na linha de baixa pressão de 6 bar, analisar a poupança anual para cada uma das paragens referidas. Nas tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 encontram-se os valores das potências consumidas para cada equipamento e os consumos energéticos sem e com o modo “stand-by” nas paragens de almoço, jantar e ceia e ainda na paragem sem plano de produção.

Tabela 5.7 - Valores correspondentes às potências consumidas das resistências, lâmpadas de halogénio, iluminação do módulo, lasers e unidade de controlo do módulo.

	Potência consumida (kW)
Lâmina de parede - Direita	0,2
Lâmina de parede - Esquerda	0,2
Resistências Acessórios auxiliares KM e PU (Facas e Ferro)	0,55
Lâmina de tela têxtil – Esquerda (2x)	0,08
Lâmina de tela têxtil – Direita (2x)	0,08

Tabela 5.7 - Valores correspondentes às potências consumidas das resistências, lâmpadas de halogênio, iluminação do módulo, lasers e unidade de controlo do módulo (Continuação).

		Potência consumida (kW)
Lâmpadas de Halogênio	Lâmina de camada interna	0,9
	Iluminação	0,41
	Lasers de centragem KM	0,048
	Unidade de potência dos drives	1,39
	Total	3,86

Tabela 5.8 – Valores obtidos para o consumo energético, respetivos custos e poupanças anuais nas paragens almoço, jantar e ceia.

		Almoço, Jantar e Ceia	
		Consumo sem "stand-by" (kWh/ano)	Consumo com "stand-by" (kWh/ano)
Aquecimento lâminas e acessórios	Lâminas de parede + acessórios	6 475	6 125
	Lâmina de camada interna	6 134	5 738
	Lâminas de tela têxtil	1 091	1 048
Iluminação, Unidade de potência dos drives, Lasers		12 631	11 578
Total (kWh)		26 331	24 488
Poupança módulo 1 (kWh/ano)			1 843
Poupança módulo 1 (€/ano)			154,8
Poupança em 48 máquinas (€/ano)			7 430

Tabela 5.9 - Valores obtidos para o consumo energético, respetivos custos e poupanças anuais na paragem sem plano de produção.

	Sem Plano Produção	
	Consumo sem "stand-by" (kWh/ano)	Consumo com "stand-by" (kWh/ano)
Aquecimento lâminas e acessórios, Iluminação, Unidade de potência, Lasers e ar comprimido	33 573	31 229
Poupança módulo 1 (kWh/ano)		2 344
Poupança módulo 1 (€/ano)		196,9
Poupança em 48 máquinas (€/ano)		9 452

Observando a tabela 5.8 constata-se que nas paragens de almoço, jantar e ceia, extrapolando a poupança do módulo 1 para os 48 módulos existentes, por ano consegue-se economizar 7 430 €. Já na paragem sem plano de produção economiza-se 9 452 €/ano, o que dá um total de 16 882 € anuais. É de notar que nos módulos mais antigos, pode-se ainda acrescentar o corte ao ventilador de ar nas cassetes de alimentação de tela têxtil da KM, o que acrescentaria uma poupança anual de 504 €. Para além disso, é importante referir que esta proposta não acarreta qualquer tipo de investimento, o que a torna mais vantajosa.

O modo "Stand-by" foi pensado e estudado para estes tipos de máquinas, apesar de poder vir a ser utilizado para as restantes máquinas da fábrica, uma vez que este tipo de paragens são comuns a todas elas.

5.1.4 Diminuição da pressão de trabalho do ar da linha de alta pressão

Ao longo do tempo, a fábrica tem trabalhado no sentido de ir diminuindo a pressão de trabalho do ar comprimido de alta pressão, uma vez que se verificou que não havia necessidade de comprimir o ar a uma pressão tão alta. No início do ano de 2015 passou dos 12 bar para 10 bar e dos 10 para 9 bar no final de 2015. Nesse sentido sugere-se que se diminua para 8 bar, no entanto é de salientar a necessidade de testar esta medida para não prejudicar a produção.

De maneira a ter uma estimativa do consumo da máquina a 8 bar, foi necessário calcular o caudal de ar comprimido consumido a essa mesma pressão. Para tal recorreu-se à equação 5.3 (Novais, 1995).

$$\text{Caudal (Nm}^3) = \frac{C \times A_0 \times Y}{\left[1 - \left(\frac{A_0}{A_{esc}}\right)^2\right]^{0,5}} \times (2 \times \Delta P \times \rho)^{0,5} \quad (5.3)$$

Relacionando os caudais para as diferentes pressões e considerando as condições de escoamento e descarga constantes, tem-se:

$$\frac{\text{Caudal (Nm}^3)_{P=9 \text{ bar}}}{\text{Caudal (Nm}^3)_{P=8 \text{ bar}}} = \frac{(2 \times \Delta P \times \rho)^{0,5}}{(2 \times \Delta P \times \rho)^{0,5}} \quad (5.4)$$

Na tabela 5.10 encontram-se os valores relativos ao consumo de ar comprimido anual para as duas pressões assim como a poupança obtida.

Tabela 5.10 – Valores relativos ao consumo de ar comprimido anual a 9 bar, resultados obtidos para a pressão de 8 bar e respetiva poupança.

	P = 9 Bar	P = 8 Bar
Consumo ar comprimido (Nm³ / ano)	14 654	12 924
Consumo ar comprimido (kWh / ano)	2 274	2 006
Poupança módulo 1 (kWh/ano)		268,6
Poupança módulo 1 (€/ano)		22,6
Poupança 48 módulos (€/ano)		1 083

Observando os valores obtidos na tabela 5.10, concluiu-se que, em apenas uma máquina economiza-se cerca de 23 € anuais. Se se considerar que as 48 máquinas consomem o mesmo caudal de ar que a máquina em estudo e, por consequência, a conversão para 8 bar seria a mesma, tem-se uma economia anual de 1 083 €.

No anexo B.4 encontra-se o exemplo de cálculo referente aos valores obtidos, quer do caudal anual, quer da poupança.

5.1.5 Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético

O propósito de estabelecer um limite padrão para o consumo de energia, irá permitir a criação de alertas na máquina, o que irá possibilitar às equipas de avarias e manutenção ter a perceção de problemas que possam existir, que de outra forma não o detetariam. A título de exemplo, no que toca ao consumo de ar comprimido, se se admitir que apenas entre 10 a 15 % do consumo da máquina são fugas e que, sempre que esses valores fossem ultrapassados a máquina emite um alerta, o controlo de fugas realizado pelas equipas seria mais eficaz e mais rápido.

5.2 Calandra de 4 Rolos número 2

Assim como no módulo de construção, com a observação e estudo do processo produtivo da calandra de 4 rolos número 2, propõe-se as seguintes ações de otimização energética:

- Implementação de um pré-arranque na máquina
- Reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa
- Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético

Em seguida é feita uma descrição destas ações de melhoria e otimização energética.

5.2.1 Implementação de um pré-arranque na máquina

Como já foi referido anteriormente, esta máquina apenas trabalha 8h/dia sem contar com os fins-de-semana. Nos restantes turnos, quer da semana e fim-de-semana, não há o hábito de fazer um pré-arranque de maneira a consumir menos energia. Ou seja, a máquina permanece nas condições normais de operação pronta a arrancar sem que seja necessário. Com isto, a sugestão é que nestes períodos se baixe o set-point da temperatura da água (extrusora, moinhos e calandra) dos 80-85 °C para 30 °C e se desligue a prensa de emenda de 200 kW que, ao precisar de estar aquecida também consome constantemente energia elétrica.

Para o apuramento da poupança energética em jogo, foram realizados três testes ao fim-de-semana (teste 1, 2 e 3), onde pelo menos durante um dia a máquina se encontra nas circunstâncias referidas. Através do software MESSDAS recolheram-

se os resultados dos testes e o consumo médio da máquina quando não é aplicado o teste. No anexo C.1 encontram-se os dados recolhidos que permitiram a construção da tabela 5.11.

Tabela 5.8 – Resultados recolhidos do MESSDAS dos consumos médios da situação atual e dos três testes realizados.

	Consumo médio eletricidade (kW)
Teste 1	72,3
Teste 2	56,3
Teste 3	51,9
Sem teste	125

Como se pode verificar na tabela 5.11, o valor do primeiro teste encontra-se ligeiramente distante em relação aos restantes. Como tal, para efeito de cálculo, apenas se consideraram os últimos dois. A média do consumo de eletricidade nos dois testes escolhidos é de 54,1 kW, cerca de 43% menor que o consumo atual que é de 125 kW.

Através dos resultados, foi possível calcular o consumo da máquina para as duas situações, com pré-arranque e sem pré-arranque, no período de tempo onde se propõe aplicar o mesmo – tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores obtidos para o consumo de eletricidade com e sem pré-arranque e respetiva poupança.

Consumo Eletricidade (kWh/ano) Sem Pré-arranque	614 568
Consumo Eletricidade (kWh/ano) Com Pré-arranque	265 693
Poupança (kWh/ano)	348 875
Poupança (€/ano)	29 306

Sem qualquer tipo de investimento, através da aplicação do pré-arranque na máquina, iria-se economizar mais de 29 000 € / ano.

Apesar de não ter sido possível testar, outra sugestão seria fechar o ar comprimido, uma vez que mesmo parada a máquina possui um consumo médio de 25,7 Nm³/h, valor que não se trata totalmente de fuga mas também devido ao sistema de

medição de espessura pneumático da calandra que se encontra permanentemente ligado. Na tabela 5.13 encontram-se os resultados dos cálculos efetuados para o consumo de ar comprimido no período de aplicação do pré-arranque.

Tabela 5.9 – Valores obtidos para o consumo de ar comprimido no período de aplicação do pré-arranque e respetiva poupança.

Consumo Ar comprimido (Nm³/ano)	126 187
Consumo Ar comprimido (kWh/ano) = Poupança (kWh/ano)	17 300
Poupança (€/ano)	1 453

Aplicando a sugestão de cortar o ar comprimido na máquina no mesmo período de tempo do pré-arranque, iria-se acrescentar à poupança anterior 1 453 €, resultando um total de 30 759 € anuais. Os exemplos de cálculo e respetivas considerações das duas tabelas anteriores, encontram-se no anexo C.1.

É de salientar que, no total, a máquina necessita de 4 a 5 horas para voltar a estar apta ao arranque. Como tal, o departamento de produção terá que ter isso em conta ao iniciar os turnos.

5.2.2 Reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa

Futuramente, a calandra de 4 rolos número 2 também irá produzir tela metálica. Para tal a mesma irá possuir duas salas onde o metal é armazenado em bobines. De maneira a que o mesmo não oxide, é necessário o controlo da humidade na sala, tendo esta de ser inferior a 40%. Para isso, o que é feito na calandra número 1 é que para cada sala existe uma unidade de tratamento de ar (UTA) auxiliada com um chiller, este arrefece o ar até a uma temperatura ligeiramente inferior à do ponto de orvalho, para que posteriormente seja aquecido por resistências elétricas até atingir humidades inferiores a 40%.

Neste caso, a intenção seria aproveitar o caudal de condensados proveniente do aquecimento do ar da estufa para aquecer o ar após saída do chiller, ou parte dele, através de um permutador de calor.

Os condensados irão estar disponíveis a 4 bar e 9 bar consoante a necessidade do processo de calandragem. Para efeitos de cálculo, considerou-se apenas com os valores correspondentes a 4 bar, que corresponderá à energia mínima disponível nos condensados.

De maneira a saber o caudal de ar que se consegue tratar foi necessário saber as condições, de temperatura e humidade, no inverno e verão para que, através da carta psicométrica se consiga saber as condições de entrada e saída do ar no permutador. A carta psicométrica usada encontra-se no anexo C.2 com a respetiva informação sinalizada.

Na tabela 5.14 encontram-se as temperaturas de entrada e saída, quer do ar quer dos condensados, considerando uma diferença de temperaturas mínima do permutador de 10 graus. A temperatura de entrada dos condensados é a temperatura de saturação à pressão de 4 bar.

Tabela 5.10 – Temperaturas de entrada e saída do permutador, para o ar e para os condensados, nas diferentes épocas do ano.

	T_e (°C)		T_s (°C)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Ar	6,1	10,6	20	25
Condensados	144		30	35

Obtidas as condições de entrada e saída, conseguiu-se quantificar a energia disponível nos condensados e assim determinar o caudal de ar que é possível tratar.

Considerando o permutador adiabático, isto é, sem quaisquer trocas de calor para o meio exterior, o balanço de energia ao mesmo é dado pela equação 5.5 (Incropera, 1992).

$$Q_{\text{condensados}} = Q_{\text{ar}} \leftrightarrow \dot{m}_{\text{cond}} \times c_p (\text{água}) \times \Delta T = \dot{m}_{\text{ar}} \times c_p(\text{ar}) \times \Delta T \quad (5.5)$$

Na tabela 5.15 encontram-se os valores obtidos de inverno e verão, para a quantidade de energia disponível nos condensados e o respetivo caudal de ar que se

consegue tratar com essa mesma energia. O exemplo de cálculo para a época de Inverno encontra-se no anexo C.2.

Tabela 5.11 – Valores obtidos para a quantidade de energia disponível nos condensados e respetivo caudal mássico de ar, para as principais épocas do ano.

	Inverno	Verão	Média
Qcondensados (kW)	22,2	21,2	22
\dot{m}_{ar} (kg/s)	1,6	1,5	1,5

De maneira a ter uma estimativa da poupança que se teria com esta sugestão, relacionou-se a energia consumida das baterias elétricas para tratar o caudal atual com a energia que posteriormente iria necessitar com um caudal de ar menor.

Cada unidade trata 13 500 m³/h de ar, o que corresponde a 4,5 kg/s, para aquecer esta quantidade de ar necessita de baterias elétricas que consomem 63 kW (valor fornecido pela empresa). Com o uso do permutador, o caudal que a UTA iria necessitar de tratar seria de 3 kg/s o que irá corresponder a um consumo instantâneo de 42 kW.

Como apenas se tem disponíveis os condensados nas horas em que a máquina esta a produzir, cerca de 1 759 horas em 2015, calculou-se o consumo anual com os 4,5 kg/s e 3 kg/s. Na tabela 5.16 encontram-se os resultados obtidos para o consumo elétrico das baterias para os dois caudais e a respetiva poupança anual. O exemplo de cálculo para os consumos anuais e respetiva poupança encontra-se no anexo C.2.

Tabela 5.12 - Valores respetivos ao consumo das baterias de aquecimento da UTA, para os dois caudais de ar e respetiva poupança anual.

\dot{m}_{ar} (kg/s)	Consumo instantâneo baterias UTA (kW)	Consumo baterias UTA (kWh/ano)	Poupança (kWh/ano)	Poupança (€/ano)
4,5	63	110 817	36 939	3 103
3	42	73 878		

Contactou-se a empresa Spirax de forma a saber o investimento necessário para um permutador que satisfizesse os requisitos. Na figura C.2 e C.3 do anexo C encontram-se as características do permutador e a proposta fornecida pela empresa. O custo do permutador é de 3 600 €, o que, sem contabilizar outros gastos necessários, se traduz num *payback* mínimo de 1,2 anos.

5.2.3 Estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético

Da mesma forma que se referiu no módulo de construção, a criação de um limite padrão de consumo energético irá permitir a criação de alertas na máquina. Isto irá permitir que as equipas de manutenção e avarias tenham melhor e mais rápida perceção de problemas existentes, tornando assim a sua resposta mais eficaz.

6 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho consistiu na avaliação e implementação de medidas de otimização energética a um dos módulos de construção e a uma das calandras, pertencentes a dois setores da empresa.

De seguida são apresentadas as principais conclusões de cada medida proposta de otimização energética, em cada uma das máquinas.

Módulo de Construção 1

Para o módulo de construção foram identificadas 5 oportunidades de melhoria e otimização energética, a deteção e redução das fugas de ar comprimido, a aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo, a criação do modo “stand-by” na máquina, a diminuição da pressão de trabalho do ar da linha de alta pressão e estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético.

No que diz respeito à deteção e redução das fugas de ar comprimido, verificou-se que é possível economizar, no módulo 1, 448 €/ano o que em 48 máquinas se traduz em 21 482 €/ano.

Quanto à aplicação do variador de frequência no motor do ventilador centrífugo, constatou-se o facto de não se conseguir contabilizar o consumo do motor após a sua aplicação. Posto isto, analisou-se a proposta da sua substituição por outro ventilador que correspondesse ao objetivo com um consumo energético menor. Com a substituição do ventilador pelo ventilador sugerido da SODECA, iria-se poupar um total de 922 €/anuais. O investimento para as 23 máquinas seria de 4 526 €, o que implica um *payback* de 4,9 anos.

Com a criação do modo “stand-by” na máquina nas paragens de almoço/jantar/ceia e ausência de plano, nos 48 módulos economiza-se 7 430 €/ano e 9 452 €/ano, respetivamente, o que dá um total de 16 882 € anuais. Acrescentando-se o corte ao ventilador de ar nas cassetes de alimentação de tela têxtil da KM, a poupança anual passaria a 17 386 €.

Diminuindo a pressão de trabalho da linha de alta pressão economiza-se, 23 € anuais no módulo 1. Ao considerar que as 48 máquinas consomem o mesmo caudal de ar, tem-se uma economia anual de 1 083 €.

Calandra de 4 Rolos número 2

Para a calandra foram propostas 3 ações de melhoria e otimização energética, a implementação de um pré-arranque na máquina, o reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa e, tal como no módulo de construção, o estabelecimento de um limite padrão para o consumo energético.

Com a implementação de um pré-arranque verificou-se que, sem qual quer tipo de investimento, consegue-se poupar mais de 30 000 € anuais.

O reaproveitamento dos condensados provenientes do aquecimento do ar da estufa oferece uma poupança anual de 3 103 €. Para tal, é indispensável a aquisição de um permutador, o que acarreta um investimento de 3 600 €. Sem contabilizar outros gastos necessários, o *payback* mínimo para esta proposta é de 1,2 anos.

De uma forma geral, de todas as medidas propostas, as que mais se destacam são as implementações do modo “stand-by” no módulo de construção e do pré-arranque na calandra. Ambas podem ser adotadas para outro tipo de máquinas, não possuem qualquer investimento adicional e, para além disso, são das que apresentam valores superiores de poupança obtida.

Sugestões para trabalhos futuros

Relativamente a medidas que podem ser avaliadas para possibilitar a redução de consumos energéticos, sem prejuízo da qualidade do produto final, sugere-se:

- Reaproveitamento do ar comprimido desperdiçado, nos diversos utilizadores;
- Análise e otimização da rede de distribuição de ar comprimido, nomeadamente no que diz respeito ao controlo de fugas, à disposição da rede e à verificação dos acessórios e tubagens da rede, no sentido de avaliar o seu estado de manutenção e se são ou não os mais adequados.

Referências Sitográficas e Bibliográficas

- Agency, I. E. (2016). IEA Energy Atlas. Retrieved Fevereiro 2016
<http://energyatlas.iea.org/?subject=-1002896040>
- BCSD. (2013). BCSD Portugal - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. Retrieved Março 2016, from <http://www.bcsdportugal.org/>
- Bernardo, J. (2013, Março 2016). [Política Energética nacional – desafios para 2020].
- Climate. (2016). Dados Climáticos Para Cidades Mundiais. Retrieved Junho 2016, from <http://pt.climate-data.org/>
- Company, T. W. (2016). Weather wunderground. Retrieved Junho 2016, from <https://portuguese.wunderground.com/>
- Continental. (2008). *Tyre Basics - Passenger Car Tyres* (C. tyres Ed.).
- Continental. (2016). Continental Global Site. Retrieved Fevereiro 2016, from http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/
- Continental, P. (2016). Continental - Pneus. Retrieved Fevereiro 2016, from <http://www.continental-pneus.pt/ligueiros>
- DGEG. (2008). *Despacho 17313*. Diário da República, 2ª Série.
- Dias, A., Teixeira, A., Fátima, A., Gonçalves, L., Guerra, M., Ribeiro, R., . . . Alvarenga, A. (2013). *Relatório do Estado do Ambiente 2013*. Retrieved from http://www.apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2014/REA_2013_Final_30deze mbro.pdf.
- EDP. (2009). Fontes de Energia. Retrieved Fevereiro 2016, from <https://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ambiente/alteracoesclimaticas/saibamais /Pages/FontesdeEnergia.aspx>
- EE. (2014). Eficiência Energética. Retrieved Março 2016, from <http://eficiencia-energetica.com/index.asp>
- Enerdata. (2016). Global Energy Statistical Yearbook 2015. Retrieved Fevereiro 2016
<https://yearbook.enerdata.net/energy-consumption-data.html>
- eurodrive, S. (2008). Intruções de Operação. In Sew (Ed.), (2 ed.).
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations* (3 ed.): Prentice Hall Inc.
- IEA. (2015). Key World Energy STATISTICS 2015. *Key World Energy STATISTICS*, 81.
- Incropera, F. P. a. W., D.P. (1992). *Fundamentos de transferência de calor e massa* (3 ed.). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Mabor, C. (2016). Intranet - Continental. Retrieved Fevereiro 2016, from Contimaboronline

- Machinery, C. (2014a). *Manual de Instruções KM 15"-24" TWIN* (C. Machinery Ed.).
- Machinery, C. (2014b). *Manual de Instruções PU15 SB 15"-24" TWIN* (C. Machinery Ed.).
- Meyer, C. A. (1979). *Asme Steam Tables* (4 ed.). New York: THE AMERICAN SOCIETY OF MECH ENGIN.
- Morais, M. (2016). *Métodos de trabalho calandragem* (C. Mabor Ed.).
- Nogueira, P. (2014). *Análise de Capacidade - Processo Inspeção Visual*. (Mestrado), Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Novais, J. (1995). *Ar comprimido industrial - Produção, tratamento e distribuição* (F. C. Gulbenkian Ed.).
- OECD. (2016). Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved Março 2016, from <http://www.oecd.org/about/membersandpartners/>
- RNAE. (2016). Associação das Agências de Energia e Ambiente. Retrieved Março 2016, from <http://www.rnae.pt/>
- Santos, F. F. M. d. (2009). PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo. Retrieved Fevereiro 2016 <http://www.pordata.pt/>
- SGCIE. (2008). *Decreto-Lei n.º 71/2008* Diário da República.
- Sodeca. (2014). Lista de Preços. In Sodeca (Ed.).
- ToolBox, E. (2016). Emissivity Coefficients of some common Materials. from http://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html

ANEXOS

A. Dados Fornecidos pela empresa

Neste anexo serão apresentados os dados fornecidos pela empresa. Todos os dados são relativos ao ano de 2015, ano referência para o desenvolvimento deste trabalho.

A.1. Produção e Consumos energéticos da CMIP

Neste subcapítulo dos anexos serão apresentados os dados relativos à produção e consumo energético das diversas utilidades da Continental – Mabor.

Na Tabela A.1 encontram-se os dados referentes à produção mensal da CMIP.

Tabela A.1 – Produções mensais da CMIP relativas a 2015.

Mês	Pneus Produzidos
Janeiro	1 434 723
Fevereiro	1 380 556
Março	1 620 079
Abril	1 463 983
Mai	1 717 423
Junho	1 606 188
Julho	1 654 855
Agosto	1 195 548
Setembro	1 605 208
Outubro	1 695 149
Novembro	1 524 528
Dezembro	894 700
Total	17 792 940

Através do software MESSDAS foi possível retirar os valores dos consumos da Continental - Mabor relativos a cada utilidade, vapor e eletricidade (incluindo ar comprimido) do ano 2015. No que diz respeito ao ar comprimido, o software dispõe dos valores em metros cúbicos consumidos ou da quantidade de energia, respetiva à produção desse mesmo ar.

Para efetuar as conversões das energias, elétrica e térmica, para tep foi necessário recorrer ao Diário da República 2ª Série Nº122, despacho Nº17313/2008 que nos indica as seguintes relações (DGEG, 2008).

Energia Elétrica

$$1 \text{ kWh} = 215 \times 10^{-6} \text{ tep}$$

Energia térmica do vapor

$$\text{Energia do vapor} \left(\frac{\text{tep}}{\text{Ton}} \right) = \frac{\text{Entalpia específica do vapor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)}{\eta_{\text{térmico}} \times 41,868} \quad (\text{A.1})$$

Sabendo que o rendimento térmico para caldeiras de geração de vapor é de 0,9 e a entalpia específica do vapor para a pressão à qual é comprado, 18 bar, é cerca de 1,91 MJ/kg (Meyer, 1979), tem-se:

$$1 \text{ Ton} = 0,051 \text{ tep}$$

Na tabela A.2 encontram-se os valores recolhidos assim como as respetivas conversões, os dados são mensais e relativos a cada uma das utilidades.

Tabela A.2 – Consumos energéticos mensais de eletricidade, vapor e ar comprimido da CMIP.

Utilidade	Eletricidade		Vapor		Ar Comprimido	
	kWh	tep	Ton	tep	kWh	tep
Janeiro	11 167 771	2 401	23 686	1 201	1 187 543	255
Fevereiro	11 958 017	2 571	22 425	1 137	1 187 543	255
Março	13 826 253	2 973	21 924	1 111	1 427 881	307
Abril	12 079 214	2 597	17 254	875	1 107 965	238
Mai	13 980 508	3 006	19 786	1 003	1 326 279	285
Junho	13 491 404	2 901	18 238	925	1 263 545	272
Julho	14 165 113	3 045	18 500	938	1 308 047	281

Tabela A.2 – Consumos energéticos mensais de eletricidade, vapor e ar comprimido da CMIP (Continuação).

Utilidade	Eletricidade		Vapor		Ar Comprimido	
	kWh	tep	Ton	tep	kWh	tep
Agosto	10 991 243	2 363	13 905	705	822 576	177
Setembro	13 660 981	2 937	18 973	962	4 850 047	1043
Outubro	14 257 518	3 065	20 255	1 027	1 446 737	311
Novembro	13 214 980	2 841	20 489	1 039	1 342 664	289
Dezembro	8 513 662	1 830	13 696	694	815 758	175
Total (Ano)	151 306 664	3 251	229 131	11 615	180 865 85	3889

Na tabela A.3 encontra-se o custo por kWh e por tonelada de vapor, consequente do tarifário adotado pela empresa.

Tabela A.3 - Tarifa média do custo de eletricidade (€/kWh) e vapor (€/Ton).

Utilidade	Tarifa
Vapor (€/Ton)	23,98
Eletricidade (€/kWh)	0,084

Através da tarifa indicada na tabela anterior, foi possível construir a tabela A.4 com os custos mensais associados a cada utilidade.

Tabela A.4 – Custos mensais relativos às utilidades energéticas consumidas pela CMIP.

Mês	Eletricidade	Vapor	Ar Comprimido
	€		
Janeiro	938 093	567 999	99 754
Fevereiro	1 004 473	537 752	99 754
Março	1 161 405	525 738	119 942
Abril	1 014 654	413 751	93 069
Mai	1 174 363	474 468	111 407

Tabela A.4 – Custos mensais relativos às utilidades energéticas consumidas pela CMIP (Continuação).

Mês	Eletricidade	Vapor	Ar
			Comprimido
€			
Junho	1 133 278	437 347	106 138
Julho	1 189 869	443 630	109 876
Agosto	923 264	333 442	69 096
Setembro	1 147 522	454 973	407 404
Outubro	1 197 632	485 715	121 526
Novembro	1 110 058	491 326	112 784
Dezembro	715 148	328 430	68 524
Total (€/ano)	12 709 760	5 494 570	1 519 273

A.2. Consumos energéticos do módulo de construção

No caso específico do módulo de construção as utilidades consumidas em ambas as máquinas (KM e PU) são, a eletricidade e ar comprimido. De seguida serão apresentados os dados recolhidos pelo MESSDAS e calculados dos consumos energéticos e específicos das máquinas. Todos os dados recolhidos para o módulo de construção são a partir do dia 10 de Fevereiro de 2015, uma vez que a informação no software só ficou disponível desde essa data.

Quanto à utilidade de ar comprimido, ambas consomem ar da linha de baixa pressão (6 Bar) e apenas a KM consome ar comprimido da linha de alta pressão (9 Bar).

De maneira a conseguir fazer a conversão da quantidade de ar, em metros cúbicos, para a quantidade de energia gasta na sua produção, o departamento de energia cedeu o valor médio das eficiências das duas centrais de produção de ar comprimido. A central 1 produz ar para a linha de baixa e alta pressão enquanto a central 2 produz apenas para a linha de baixa pressão. As eficiências são, 0,137 kWh/m³ para a linha de 6 Bar e 0,155 kWh/m³ para 9 Bar.

Na tabela A.5 encontram-se os dados mensais relativos ao consumo de ar comprimido pelo módulo, para ambas as linhas de pressão.

Tabela A.5 – Dados recolhidos e calculados para o consumo de ar comprimido, em m³, para as duas máquinas, KM e PU.

Mês	KM		PU
	P = 6 Bar	P = 9 Bar	P = 6 Bar
	m ³		
Janeiro	-		
Fevereiro	8 449	373	3 315
Março	17 989	887	10 241
Abril	19 147	1 590	13 764
Mai	25 829	3 292	13 712
Junho	28 015	1 187	14 755
Julho	29 024	1 324	17 181
Agosto	24 687	873	10 789
Setembro	28 804	1 222	13 818
Outubro	31 170	1 355	14 705
Novembro	26 762	1 717	12 783
Dezembro	16 901	837	7 107
Total	256 777	14 654	132 170

Tabela A.6 - Dados recolhidos e calculados para o consumo de ar comprimido, em kWh e tep, para as duas máquinas, KM e PU.

Mês	KM		PU	KM		PU
	P = 6 Bar	P = 9 Bar	P = 6 Bar	P = 6 Bar	P = 9 Bar	P = 6 Bar
	kWh			tep		
Janeiro	-			-		
Fevereiro	1 158	57,9	454	0,249	0,012	0,098
Março	2 466	138	1 404	0,530	0,030	0,302
Abril	2 625	247	1 887	0,564	0,053	0,406
Mai	3 541	511	1 880	0,761	0,110	0,404
Junho	3 841	184	2 023	0,826	0,040	0,435
Julho	3 979	205	2 356	0,856	0,044	0,506
Agosto	3 385	135	1 479	0,728	0,029	0,318
Setembro	3 949	190	1 894	0,849	0,041	0,407
Outubro	4 273	210	2 016	0,919	0,045	0,433
Novembro	3 669	266	1 753	0,789	0,057	0,377
Dezembro	2 317	130	974	0,498	0,028	0,209
Total	35 204	2 275	18 121	7,569	0,489	3,896

Relativamente ao consumo de eletricidade, foi necessário efetuar a medição do consumo da iluminação de ambas as máquinas com a ajuda de uma pinça amperimétrica, uma vez que essa informação não estava disponível juntamente com a restante no software MESSDAS.

Sabendo que se obtém a potência através da multiplicação do valor da intensidade da corrente pela tensão da mesma e que as máquinas consumiram energia 284 dias (valor fornecido pela empresa) no ano de 2015 o que corresponde a 6816 h, obteve-se os seguintes resultados (tabela A.7).

Tabela A.7 - Valores recolhidos e calculados da potência consumida por ambas as máquinas no que toca à iluminação.

	Tensão corrente Iluminação (V)	Intensidade Corrente Iluminação (mA)	Potência Iluminação (kW)	Energia gasta 2015 (kWh)
KM	220	840	0,185	1 260
PU		1 030	0,227	1 545

Obtido o valor correspondente ao consumo da iluminação e juntando o mesmo aos valores recolhidos no MESSDAS, conseguiu-se construir a tabela A.8 onde se encontram os valores mensais e anuais do consumo elétrico do módulo de construção.

Tabela A.8 – Dados mensais e anuais relativos ao consumo de eletricidade pelo módulo de construção.

Mês	KM		PU	
	kWh	tep	kWh	tep
Janeiro			-	
Fevereiro	1 797	0,386	1 705	0,367
Março	3 119	0,671	3 012	0,647
Abril	3 012	0,648	3 220	0,692
Maio	3 190	0,686	3 330	0,716
Junho	3 065	0,659	3 298	0,709
Julho	3 375	0,726	3 362	0,723
Agosto	3 264	0,702	3 112	0,669
Setembro	3 108	0,668	3 262	0,701
Outubro	3 293	0,708	3 423	0,736
Novembro	3 031	0,652	3 128	0,673
Dezembro	2 749	0,591	2 676	0,575
Total + Iluminação	34 263	7,367	35 072	7,540

Aplicando a tarifa horária para a energia elétrica, obteve-se os custos associados à produção do ar comprimido assim como consumo de eletricidade no módulo de construção – Tabela A.9.

Tabela A.9 – Resultados obtidos para os custos associados aos consumos energéticos de ar comprimido e eletricidade para o módulo de construção.

Mês	Ar comprimido	Eletricidade
	€	
Janeiro	-	
Fevereiro	140	316
Março	337	536
Abril	400	545
Maio	498	569
Junho	508	556
Julho	549	587
Agosto	420	557
Setembro	507	556
Outubro	546	586
Novembro	478	539
Dezembro	287	477
Total	4 670	5 824

Na tabela A.10, estão apresentados os dados relativos aos consumos de energia total, ar comprimido e eletricidade e a produção de pneus em verde, dados necessários ao cálculo do consumo específico.

$$\text{Consumo específico} \left(\frac{\text{tep}}{\text{n}^\circ \text{ pneus}} \right) = \frac{\text{Energia consumida (tep)}}{\text{N}^\circ \text{ pneus produzidos}} \quad (\text{A.2})$$

Tabela A.10 - Valores totais de energia consumida pelo módulo de construção, produção relativa a 2015 e o respetivo consumo específico.

Mês	Energia consumida (tep)	Produção de pneus em verde	Consumo específico (tep/nº pneus em verde) x 10⁵
Janeiro		-	
Fevereiro	1,167	17 876	6,53
Março	2,235	23 484	9,52
Abril	2,418	25 371	9,53
Mai	2,732	33 428	8,17
Junho	2,723	35 953	7,57
Julho	2,909	39 909	7,29
Agosto	2,501	24 716	10,1
Setembro	2,721	33 981	8,01
Outubro	2,896	36 858	7,86
Novembro	2,602	31 996	8,13
Dezembro	1,957	17 273	11,3
Total	26,86	320 845	8,37

A.3. Consumos energéticos da Calandra de 4 rolos número 2

Na calandra de 4 rolos número 2 as utilidades consumidas são a eletricidade, ar comprimido e vapor. De seguida serão apresentados os dados recolhidos e calculados dos consumos energéticos e específicos da máquina. Todos os dados recolhidos para a calandra são desde Janeiro de 2015, com a exceção dos dados relativos ao consumo de vapor que apenas estavam disponíveis desde 6 de Abril 2015.

Os dados correspondentes ao consumo de vapor estão presentes na tabela A.11. Neste caso, como a calandra é alimentada com vapor a 10 Bar, a sua entalpia específica é de 2,01 MJ/kg (Meyer, 1979). Posto isto, pela equação A.1 tem-se:

$$1 \text{ Ton} = 0,053 \text{ tep}$$

Tabela A.11 - Consumo de vapor a partir do mês de Abril de 2015 da Calandra de 4 rolos 2.

Mês	Consumo de Vapor	
	Ton	tep
Janeiro		
Fevereiro		-
Março		
Abril	153	8,19
Mai	44,2	2,36
Junho	38,0	2,03
Julho	41,9	2,24
Agosto	29,1	1,55
Setembro	36,4	1,95
Outubro	40,4	2,16
Novembro	89,9	4,81
Dezembro	195	10,4
Total	668	35,7

Na tabela A.12 encontram-se os dados relativos ao consumo de eletricidade da calandra do ano de 2015. É de notar que, para que fosse possível comparar as três utilidades, apenas se utilizou os dados a partir do mês de Abril.

Tabela A.12 - Dados recolhidos acerca do consumo elétrico da Calandra de 4 rolos 2.

Mês	Consumo de Eletricidade	
	kWh	tep
Janeiro	144 469	31,1
Fevereiro	139 059	29,9
Março	156 572	33,7
Abril	135 990	29,2
Mai	161 871	34,8
Junho	168 550	36,2
Julho	172 426	37,1
Agosto	110 547	23,8
Setembro	146 129	31,4
Outubro	169 726	36,5
Novembro	152 272	32,7
Dezembro	109 609	23,6
Total (Desde Abril)	1 327 120	285

Relativamente ao consumo de ar comprimido, a calandra apenas consome ar de baixa pressão (6 Bar). Neste caso, apesar de a máquina possuir um medidor para caudal de ar, este ainda não se encontrava conectado ao software MESSDAS. Como tal, foi necessário recorrer à sua leitura manual. Registou-se o consumo de ar da máquina em 6 dias, valor totalizador (m³) e instantâneo (m³/h) – tabela A.13. Foi, ainda, recolhida a produção de tecido calandrado, em metros, para cada um dos tecidos em verde (Poliéster e Rayon).

Tabela A.13 – Registos do consumo de ar comprimido da calandra e respetiva produção para os dois tecidos em verde.

Dia	Horas	Consumo de Ar Comprimido – 6 Bar				Produção (m)	
		m ³	m ³ /h	m ³ / turno	m ³ / dia	Poliéster	Rayon
18/04/16	8h20 - Arranque	29 324	41,1				
	11h	29 449	43,8	273	688	11 209	6 144
	15h10 - Máquina	29 597	25				
	Parada						
19/04/16	8h20 - Máquina	30 012	26,1				
	Parada						
	8h47	30 024	38,1	289	704	10 955	5 957
	11h	30 111	39,4				
20/04/16	16h - Máquina	30 313	23,5				
	parada						
	8h20 - Parada para Manutenção	30 716	25,9				
	11h - Parada para Manutenção	30 783	24,5	181	692	10 051	0
	15h50 - Parada para Manutenção	30 897	24				

Tabela A.14 – Registos do consumo de ar comprimido da calandra e respetiva produção para os dois tecidos em verde (Continuação).

Dia	Horas	Consumo de Ar Comprimido – 6 Bar				Produção (m)	
		m ³	m ³ /h	m ³ / turno	m ³ / dia	Poliéster	Rayon
21/04/16	8h20 - Pré-Arranque	31 408	29,2				
	11h	31 516	45,4				
	16h10 - Máquina parada	31 728	25,8	320	700	8 348	8 040
22/04/16	8h20 - Arranque	32 108	40				
27/04/16	8h30 - Arranque	35 662	42,2				
	11h15	35 783	45,6	344	892	12 396	25 542
	16h10	36 006	44,5				
28/04/16	8h30 - Arranque	36 554	43,4				
	11h15	36 674	39,3	335	969	6 198	11 186
	16h10	36 889	43,1				
29/04/16	8h30 - Arranque	37 523	40,1				

- **Exemplo de Cálculo para o dia 18-04-16**

Consumo de ar por turno (m³)

= Quantidade de ar às 15h10 (final do turno)

– Quantidade de ar às 8h20 (início turno) = 29597 – 29324 = 273 m³

Consumo de ar por dia (m³)

= Quantidade de ar às 8h20 do dia 19

– Quantidade de ar às 8h20 do dia 18 = 30012 – 29324 = 688 m³

Em média, a calandra consome por dia 774 m³.

Considerando os seguintes pontos:

- A máquina trabalha durante 351 dias/ano, ou seja, cerca de 29 dias/mês (não se contabilizou paragens de Agosto e Dezembro);

- A produção registada é, em média, 9 860 metros de tecido com poliéster por dia e 9 478 metros com rayon. Posto isto, por ano ter-se-ia uma produção de 6 787 638 metros de tecido calandrado cerca de 1,9 vezes mais que a produção anual de 2015 (3 622 701 metros, valor fornecido pela empresa). Relacionando os dois valores com o consumo diário obtido, considera-se que em 2015 a calandra consumiu 417 m³/dia, ou seja, 12 086 m³/mês.

Na tabela A.14 encontram-se os dados mensais e anuais do consumo de ar comprimido da calandra.

Tabela A.15 - Dados mensais e anuais relativos ao consumo de ar comprimido da calandra de 4 rolos 2.

Mês	Consumo de ar comprimido		
	m ³	kWh	tep
Janeiro	12 086	1 657	0,356
Fevereiro	12 086	1 657	0,356
Março	12 086	1 657	0,356
Abril	12 086	1 657	0,356
Maio	12 086	1 657	0,356
Junho	12 086	1 657	0,356
Julho	12 086	1 657	0,356
Agosto	12 086	1 657	0,356
Setembro	12 086	1 657	0,356
Outubro	12 086	1 657	0,356
Novembro	12 086	1 657	0,356
Dezembro	12 086	1 657	0,356
Total (Desde Abril)	108 772	14 913	3,21

Na tabela A.15, estão apresentados os dados mensais e anuais relativos aos consumos de energia total, a produção de tecido calandrado (com poliéster e rayon) e o respetivo consumo específico.

Tabela A.16 - Valores totais de energia consumida pela calandra de 4 rolos, produção relativa a 2015 e o respetivo consumo específico.

Mês	Energia consumida (tep)	Produção total (m)	Consumo específico (tep/m) x 10⁴
Janeiro			
Fevereiro		-	
Março			
Abril	37,8	283 621	1,33
Maio	37,5	406 194	0,92
Junho	38,6	353 432	1,09
Julho	39,7	370 349	1,07
Agosto	25,7	248 307	1,03
Setembro	33,7	327 613	1,03
Outubro	39,0	346 759	1,12
Novembro	37,9	194 788	1,95
Dezembro	34,3	136 065	2,52
Total	324	2 667 128	1,22

B. Dados e exemplos de cálculo relativos às propostas de otimização do módulo de construção

B.1. Detecção e redução das fugas de ar comprimido

Com o intuito de saber o valor médio de consumo de ar comprimido devido às fugas recolheram-se valores de consumo instantâneo lido no caudalímetro após a última manutenção preventiva do módulo de construção (tabela B.1).

Tabela B.1 - Valores recolhidos do MESSDAS, do consumo instantâneo de ar comprimido da linha de baixa pressão para ambas as máquinas, após a última manutenção preventiva.

P = 6 bar	Consumo de ar comprimido (Nm³/h) Após última manutenção preventiva				Média
KM	6,1	5,9	7,8	6,1	6,5
PU	1,9	1,0	2,5	2,7	2,0

Considerando as 24 horas por dia, o consumo médio diário de ar comprimido relativo a fugas é de 156 Nm³ para a KM e 48 Nm³ para a PU. Aplicando a redução de 60%, o consumo diário de fuga passa a ser 40% dos valores médios diários, ou seja, 62,4 Nm³ e 19,2 Nm³, respetivamente.

Na tabela B.2 encontram-se os valores relativos ao consumo médio de ar comprimido diário e as percentagens representantes do consumo de fuga antes e depois da redução de 60%. Os consumos médios diários de ar comprimido atuais, antes da redução, foram obtidos através do software MESSDAS.

Tabela B.2 – Valores relativos ao consumo médio de ar comprimido diário e percentagens calculadas, representantes do consumo de fuga antes e depois da redução de 60%.

P = 6 bar	KM	PU
Consumo médio de ar comprimido (Nm³/dia)	795	433

Tabela B.3 – Valores relativos ao consumo médio de ar comprimido diário e percentagens calculadas, representantes do consumo de fuga antes e depois da redução de 60% (Continuação).

P = 6 bar	KM	PU
Consumo médio de ar comprimido após redução (Nm ³ /dia)	701	414
% Fugas no consumo médio de ar diário	19,6%	11,1%
% Fugas no consumo médio de ar diário após redução de 60%	8,9%	4,8%

- **Exemplo de Cálculo para a máquina KM**

$$\text{Consumo médio fugas KM} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 6,5 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} = 156$$

$$\text{Consumo médio fugas KM após redução} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 156 - (0,6 \times 156) = 62,4$$

$$\text{Consumo médio de ar comprimido após redução} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 795 - 62,4 = 701$$

$$\% \text{ fugas no consumo médio de ar diário} = \frac{156}{795} \times 100 = 19,6\%$$

Após a redução, a percentagem de fugas seria:

$$\% \text{ fugas no consumo médio de ar diário após redução} = \frac{62,4}{701} \times 100 = 8,9 \%$$

Para a máquina PU, os cálculos são exatamente os mesmos obtendo-se:

$$\text{Consumo médio fugas KM} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 48$$

$$\text{Consumo médio fugas KM após redução} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 19,2$$

$$\text{Consumo médio de ar comprimido após redução} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{dia}} \right) = 414$$

$$\% \text{ fugas no consumo médio de ar diário} = 11,1 \%$$

Após a redução, a percentagem de fugas seria:

$$\% \text{ fugas no consumo médio de ar diário após redução} = 4,8 \%$$

Com a redução aplicada no consumo de fugas e recorrendo ao levantamento efetuado inicialmente, obtiveram-se os novos valores relativos ao consumo mensal de ar comprimido para a KM e PU (tabela B.3), para a pressão de 6 bar.

Tabela B.4 – Resultados obtidos para os novos valores de consumo mensal de ar comprimido por ambas as máquinas.

Mês	KM	PU	KM	PU
	P = 6 Bar			
	m ³		kWh	
Janeiro	-	-	-	-
Fevereiro	6 764	2 796	927	383
Março	15 087	9 348	2 068	1 282
Abril	16 525	12 900	2 266	1 769
Mai	22 089	12 365	3 143	1 757
Junho	25 207	13 891	3 456	1 904
Julho	26 122	16 288	3 581	2 233
Agosto	21 786	10 069	2 987	1 380
Setembro	25 995	12 954	3 564	1 776
Outubro	28 268	13 812	3 876	1 894
Novembro	23 954	11 919	3 284	1 634
Dezembro	14 093	6 559	1 932	899
Total	225 892	122 902	31 085	16 912

Tendo em conta que o consumo de ar para a pressão de 9 bar se manteve, é de seguida apresentado o exemplo de cálculo para a poupança alcançada, com a redução de fuga de ar comprimido para as duas máquinas, KM e PU.

De acordo com os valores apresentados na tabela A.5, obtém-se:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de ar comprimido ano de 2015 módulo 1 (kWh)} &= 35\,204 + 2\,275 + 18\,121 \\ &= 55\,600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de ar comprimido ano de 2015 módulo 1 com redução (kWh)} \\ &= 31\,085 + 2\,275 + 16\,912 = 50\,272 \end{aligned}$$

$$\text{Poupança módulo 1 (kWh/ano)} = 55\,600 - 50\,272 = 5\,328$$

Uma vez que o custo de energia elétrica corresponde a 0,084 €/kWh (tabela A.3), obtém-se:

$$\text{Poupança módulo 1 (€/ano)} = 5\,328 \times 0,084 = 447,6$$

$$\text{Poupança em 48 módulos (€/ano)} = 447,6 \times 48 = 21\,482$$

B.2. Aplicação de um variador de frequência no motor do ventilador centrífugo, responsável pela ventilação na zona das cassetes da KM

De seguida será apresentado o exemplo de cálculo para o consumo estimado do ventilador atual e sugerido, a poupança associada e respetivo *payback*.

- **Exemplo de cálculo relativo à troca do ventilador**

Potência nominal ventilador atual = 0,25 kW

Potência nominal ventilador sugerido = 0,18 kW

Horas de consumo energético do módulo de construção 1 = 6816 h

$$\text{Consumo energético estimado ventilador atual} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 0,25 \times 6816 = 1\,704$$

$$\text{Consumo energético estimado ventilador sugerido} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 0,18 \times 6816 = 1\,227$$

Preço por ventilador = 196,8 €

$$\text{Investimento para 23 máquinas (€)} = 196,8 \times 23 = 4\,526$$

Considerando que as 23 máquinas consumiam o mesmo tempo que o módulo 1, tem-se

$$\text{Poupança 23 máquinas} \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = (1\,704 - 1\,227) \times 0,084 \times 23 = 921,8$$

$$\text{Payback period (anos)} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Poupança}} = \frac{4\,526}{921,8} = 4,9$$

B.3. Criação do modo “Stand – By” na máquina

B.3.1. Aquecimento e arrefecimento lâminas de corte da KM #1

De maneira a calcular o tempo que as lâminas demoram a aquecer e a temperatura que atinge após arrefecimento, foi necessário medir, as temperaturas de operação das lâminas, as atingidas pelas lâmpadas e resistências, e ainda a do ar envolvente. Para além disso, foi preciso recolher dados sobre as características das lâminas, como o seu peso, tipo de material, área de transferência de calor e espessura. Na tabela B.4 encontram-se os valores obtidos para as temperaturas das lâminas, lâmpadas e resistências (T_{viz}), e do ar envolvente.

Tabela B.5 – Valores obtidos para as temperaturas das lâminas, dos seus corpos vizinhos (fontes de aquecimento) e do ar envolvente.

	Lâmina	Corpo Vizinho	Ar envolvente
	$T_{iarr} = T_{faq}$ (°C)	T_{viz} (°C)	T_{∞} (°C)
Lâmina de parede - Direita	177,5	330	70
Lâmina de parede - Esquerda	146	334	43
Lâmina de camada interna	160,5	600	65
Lâmina de tela têxtil (1ª e 2ª) – Valor calculado	45	132	27

De seguida é apresentado o exemplo de cálculo para a determinação da temperatura da lâmina de tela têxtil.

- **Exemplo de cálculo temperatura Lâmina de tela têxtil**

Apesar de algumas tentativas não foi possível medir as temperaturas da lâmina de tela têxtil nem a da sua resistência.

Uma vez que a área da resistência responsável pelo aquecimento das lâminas de parede é igual à das resistências que aquecem as lâminas de tela, conseguiu-se

obter uma estimativa da sua temperatura, assumindo que essa resistência podia ser considerada como corpo negro e por isso o fluxo de calor de radiação seria dado pela lei de Stefan-Boltzmann.

Lei de Stefan-Boltzmann

A potência de radiação por unidade de área de um determinado corpo negro depende apenas da sua temperatura (Incropera, 1992).

$$\frac{P}{A} = \sigma \times T_{\text{viz}}^4 \quad (\text{B.1})$$

Sendo que, σ trata-se da constante de Stefan-Boltzmann que é igual a $5,67 \times 10^{-11} \text{ kW} / (\text{m}^2 \text{ K}^4)$.

Sabendo que a potência da resistência, responsável pelo aquecimento das lâminas de parede, é de 0,2 kW e que a sua temperatura é de 332 °C, tem-se:

$$\frac{0,2}{A} = 5,67 \times 10^{-11} \times (332 + 273,15)^4 \leftrightarrow A = 0,0263 \text{ m}^2$$

Como as áreas das resistências são iguais e sabendo que a resistência responsável pelo aquecimento da lâmina de tela têxtil tem uma potência de 0,04 kW, cada uma:

$$\frac{0,04}{0,0263} = 5,67 \times 10^{-11} \times (T_{\text{viz}})^4 \leftrightarrow T_{\text{viz}} = 405 \text{ K} = 132 \text{ °C}$$

Por fim, para efeito de cálculo considerou-se que a lâmina da tela estaria a cerca de 45 °C, uma vez que se encontra muito perto da resistência logo não iria ter uma diferença de temperatura tão alta como as restantes. Para além de que o ar na sua envoltória se encontrava a 27°C.

De seguida, procedeu-se à pesagem das lâminas e ainda à medição da espessura e da área superficial. Não foi possível pesar a lâmina de camada interna devido à sua dimensão, no entanto foi possível calcular a massa da mesma através da área, espessura e densidade média do aço. Devido à forma irregular das lâminas de tela, realizou-se o processo contrário. Isto é, através do seu peso e espessura

determinou-se a área superficial. Na tabela B.5 encontram-se todos os valores medidos e calculados para cada uma das lâminas.

Tabela B.6 – Valores relativos à massa da lâmina, espessura e área de transferência de calor.

	m (kg)	Δx (m)	Atc (m²)
Lâmina de parede (1ª e 2ª)	0,0055	0,00051	0,00149
Lâmina de camada interna	0,4527	0,00245	0,02298
Lâmina de tela têxtil – Esquerda	0,0104	0,00102	0,00127
Lâmina de tela têxtil – Direita	0,0199	0,00131	0,00189

De seguida encontram-se os exemplos de cálculo para a massa da lâmina da camada interna e para a área de transferência de calor da lâmina de tela têxtil esquerda.

- **Exemplo de cálculo para a massa da lâmina de camada interna**

$$\rho \text{ médio do aço} = 8043 \text{ kg/m}^3 \text{ (Incropera, 1992)}$$

$$m(\text{kg}) = V(\text{m}^3) \times \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \text{Atc} (\text{m}^2) \times \Delta x (\text{m}) \times \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 0,02298 \times 0,00245 \times 8043 = 0,4527$$

- **Exemplo de cálculo para a área de transferência de calor da lâmina de tela esquerda**

$$V(\text{m}^3) = \text{Atc} (\text{m}^2) \times \Delta x (\text{m}) = \frac{m(\text{kg})}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \leftrightarrow \text{Atc} (\text{m}^2) = \frac{0,0104}{0,00102 \times 8043} = 0,00127$$

Como já se referiu anteriormente, foi através dos modelos descritos nas equações 5.1 e 5.2 e do suplemento solver que se obtiveram os tempos ótimos de arrefecimento e aquecimento para as diferentes lâminas para a paragem de almoço, jantar e ceia. Para tal foi necessário saber a capacidade calorífica das lâminas assim

como calcular o coeficiente de transferência de calor. Tais valores encontram-se na tabela B.6.

Tabela B.7 - Valores calculados para o coeficiente de transferência de calor e dados relativos a capacidade calorífica de cada lâmina (Incropera, 1992).

	cp médio (kJ/(kg K))	h (kW/ (m ² K))
Lâmina de parede (1ª e 2ª)		0,0043
Lâmina de camada interna	0,511	0,0055
Lâmina de tela têxtil – Esquerda	0,476	0,0059
Lâmina de tela têxtil – Direita	0,476	0,0056

- **Exemplo de cálculo do coeficiente de transferência de calor para a lâmina de camada interna**

O coeficiente de transferência de calor para convecção natural é dado pela equação B.2 (Geankoplis, 1993).

$$Nu = \frac{hL}{k} = a \left[\left(\frac{L^3 \times g \times \beta \times \Delta T \times \rho^2}{\mu^2} \right) \times Pr \right]^m = a [Gr \times Pr]^m \quad (B.2)$$

Na tabela B.7 encontram-se as propriedades do ar, à temperatura média do filme (362 K).

Tabela B.8 - Propriedades do ar à temperatura média do filme para o cálculo do coeficiente de transferência de calor (Incropera, 1992).

ρ (kg/m³)	0,96
cp (kJ/(kg K))	1,01
μ ((N s)/m²)	2,13 x 10 ⁻⁵
K (kW/(m K))	3,24 x 10 ⁻⁵
Pr	0,70

A dimensão característica desta lâmina (L), visto ser circular, será igual a 0,9 vezes o diâmetro (Geankoplis, 1993). Considerando o diâmetro externo, que tem o valor de 0,174 m, tem-se

$$L = 0,9 \times 0,174 = 0,157 \text{ m}$$

De maneira a saber o valor das constantes a e m, foi necessário calcular a multiplicação no número de Grashof e o Prandtl ($Gr \times Pr$).

Para tal é ainda necessário, o coeficiente de expansão volumétrica e a diferença de temperaturas entre a parede e o ar.

$$\beta \text{ (K}^{-1}\text{)} = \frac{1}{T \text{ média do filme (K)}} = \frac{1}{362} = 0,00276$$

$$\Delta T = 160,5 - 65 = 95,5$$

$$Gr \times Pr = \left(\frac{0,157^3 \times 9,8 \times 0,00276 \times 95,5 \times 0,96^2}{(2,13 \times 10^{-5})^2} \right) \times 0,70 = 1,4 \times 10^7$$

Na figura B.1 encontra-se a tabela usada, de maneira a escolher os valores das constantes a e m para o cálculo do coeficiente médio de transferência de calor.

Geometria	Gr Pr	a	m
Placas ou cilindros verticais (L < 1 m)	< 10 ⁴	1,36	1/5
	10 ⁴ – 10 ⁹	0,59	1/4
	> 10 ⁹	0,13	1/3
Cilindros horizontais (Do < 0,20 m)	< 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
	10 ⁴ – 10 ⁹	0,53	1/4
	> 10 ⁹	0,13	1/3
Placas horizontais: com a superfície superior aquecida ou a superfície inferior arrefecida	10 ⁵ – 2 x 10 ⁷	0,54	1/4
	2 x 10 ⁷ – 3 x 10 ¹⁰	0,14	1/3
Placas horizontais: com a superfície inferior aquecida ou a superfície superior arrefecida	10 ⁵ – 10 ¹¹	0,58	1/5

Figura B.1 – Valores das constantes a e m no cálculo do coeficiente médio de transferência de calor em convecção natural (Geankoplis, 1993).

Através da figura B.1, considerando a geometria de placa horizontal com a superfície superior aquecida, obteve-se o valor de a = 0,54 e de m = 1/4.

$$Nu = \frac{h L}{k_{ar}} = 0,54 \times (1,4 \times 10^7)^{\frac{1}{4}} = 33$$

$$h = \frac{33 \times (3,24 \times 10^{-5})}{0,157} = 0,0068 \text{ (kW/ m}^2 \text{ K)}$$

Para as paragens de almoço, jantar e ceia foi possível, através dos modelos para aquecimento, arrefecimento e o suplemento solver do excel, encontrar os tempos ótimos para desligar o aquecimento, referente às diversas lâminas. Na tabela B.8 encontram-se os resultados obtidos assim como a temperatura final de arrefecimento, que corresponde à temperatura inicial de aquecimento.

Tabela B.9 – Resultados obtidos relativamente ao tempo ótimo de arrefecimento, aquecimento e temperatura final de arrefecimento, para a paragem de almoço, jantar e ceia.

	t_{arr} (min)	$T_{farr}=T_{iaq}$ (K)	t_{aq} (min)
Lâminas das paredes - Direita	26,2	346	13,3
Lâminas das paredes - Esquerda	26,0	319	13,5
Lâmina de camada interna	31,3	346	8,2
Lâmina de tela - Esquerda	20,8	303	18,7
Lâmina de tela - Direita	19,2	305	20,3

- **Exemplo de cálculo para a lâmina de camada interna**

Temperatura atingida no arrefecimento

$$T_{iarr} = T_{faq} = 160,5 \text{ }^\circ\text{C} = 433,7 \text{ K}$$

$$t_{arr} = 31,3 \text{ min} = 1881 \text{ s}$$

$$T_{\infty} = 65 = 338,2 \text{ K}$$

$$\Delta U_{lâmina} = -Q_{conv} \leftrightarrow m \times c_p \times \frac{dT}{dt} = -h \times A_{tc} \times (T - T_{\infty})$$

$$\Delta U_{lâmina} = -Q_{conv} \leftrightarrow \frac{0,4527 \times 0,511}{-0,0068 \times 0,02298} \times \int_{433,7}^{T_{farr}} \frac{dT}{(T - T_{\infty})} = \int_0^{1881} dt$$

$$\frac{0,4527 \times 0,511}{-0,0068 \times 0,02298} \times \int_{433,7}^{T_{farr}} \frac{dT}{(T - T_{\infty})} = \int_0^{1881} dt$$

$$\frac{0,4527 \times 0,511}{-0,0068 \times 0,02298} \times [\ln(T - 338,2)]_{433,7}^{T_{farr}} = 1881$$

$$T_{farr} = 346 \text{ K}$$

Tempo de aquecimento

ε média do aço = 0,673 (ToolBox, 2016)

$T_{farr} = T_{iaq} = 346 \text{ K}$

$T_{viz} = 600 \text{ }^{\circ}\text{C} = 873,2 \text{ K}$

$$\Delta U_{l\grave{a}mina} = Q_{rad} \leftrightarrow m \times C_p \times \frac{dT}{dt} = -\varepsilon \times A_{tc} \times \sigma \times (T^4 - T_{viz}^4)$$

$$\Delta U_{l\grave{a}mina} = Q_{rad} \leftrightarrow \frac{m \times c_p}{-\varepsilon \times A_{tc} \times \sigma} \times \int_{T_{iaq}}^{T_{faq}} \frac{dT}{(T^4 - T_{viz}^4)} = \int_0^t dt$$

$$t = \frac{m \times c_p}{4 \times \varepsilon \times A_{tc} \times \sigma \times T_{viz}^3} \times \left\{ \ln \left| \frac{T_{viz} + T_{faq}}{T_{viz} + T_{iaq}} \right| - \ln \left| \frac{T_{viz} + T_{iaq}}{T_{viz} + T_{faq}} \right| + 2 \times \left[\tan^{-1} \frac{T_{faq}}{T_{viz}} - \tan^{-1} \frac{T_{iaq}}{T_{viz}} \right] \right\}$$

$$t = \frac{0,4527 \times 0,511}{4 \times 0,673 \times 0,02298 \times 5,67 \times 10^{-11} \times 873,2^3} \times \left\{ \ln \left| \frac{873,2 + 433,7}{873,2 - 433,7} \right| - \ln \left| \frac{873,2 + 346}{873,2 + 346} \right| + 2 \times \left[\tan^{-1} \frac{433,7}{873,2} - \tan^{-1} \frac{346}{873,2} \right] \right\}$$

$$t = 489,4 \text{ s} = 8,2 \text{ min}$$

Nas paragens sem plano de produção, calculou-se o tempo que as laminas demorariam a aquecer caso partissem da temperatura média ambiente da fábrica, através do mesmo modelo de aquecimento. Na tabela B.9 encontram-se os valores obtidos para os tempos de aquecimento referidos.

Tabela B.10 – Tempos de aquecimento obtidos para cada lâmina, considerando que a temperatura inicial seria a temperatura média ambiente.

	Tempo de aquecimento (min)		
	22 °C (Inverno)	27 °C (Verão)	24,5 °C (Média)
Lâminas das paredes - Direita	20,4	19,7	20,0
Lâminas das paredes - Esquerda	17,0	16,2	16,6
Lâmina de camada interna	13,1	12,6	12,8
Lâmina de tela - Esquerda	28,2	22,0	25,1
Lâmina de tela - Direita	36,3	28,3	32,3

B.3.2. Análise Económica

Determinados os tempos que o aquecimento das lâminas e acessórios pode ser desligado e através das potências presentes na tabela 5.7, calculou-se o consumo energético antes e depois do modo “stand-by” e a poupança respetiva para a paragem de almoço, jantar, ceia e sem plano de produção. Para a paragem sem plano de produção recolheu-se o valor das horas que o módulo passou sem plano de produção no ano de 2015.

Na tabela B.10 encontram-se discriminadas as horas anuais que se consegue poupar, em relação aos 284 dias (6816 horas), para as paragens referidas.

Tabela B.11 – Horas anuais a poupar de consumo energético, para as paragens de almoço, jantar, ceia e sem plano de produção.

	Horas a poupar por ano de consumo energético	
	Almoço, jantar, ceia	Sem Plano de Produção
Lâmina de Parede e Acessórios Auxiliares	369	
Lâmina de camada interna	440	476
Lâminas de tela têxtil	270	
Restante	568	

- **Exemplo de cálculo para os consumos sem e com o “stand-by”**

Lâmina de camada interna, paragem de almoço/jantar/ceia

$$\text{Consumo energético sem modo stand-by} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 0,9 \times 6816 = 6\ 134$$

$$\text{Consumo energético sem modo stand-by} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 0,9 \times (6816 - 440) = 5\ 738$$

Paragem ausência de plano

Consumo médio de ar comprimido em 2015 (kW) = 1,06 (Valor obtido pelo MESSDAS)

$$\text{Total potência} = 3,86 + 1,06 = 4,93$$

$$\text{Consumo energético sem modo stand-by} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 4,93 \times 6816 = 33\ 573$$

$$\text{Consumo energético sem modo stand-by} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 4,93 \times (6816 - 476) = 31\ 229$$

B.4. Diminuição da pressão de trabalho do ar da linha de alta pressão, de 9 bar para 8 bar

Neste subcapítulo será apresentado o exemplo de cálculo para o consumo de ar comprimido para a pressão de 8 bar e respetiva poupança com tal redução.

Através da seguinte relação, referida no subcapítulo 5.1.4, obtém-se o caudal de ar comprimido consumido para a pressão de 8 bar.

$$\frac{\text{Caudal (Nm}^3\text{/ano)}_{P=9\text{ bar}}}{\text{Caudal (Nm}^3\text{/ano)}_{P=8\text{ bar}}} = \frac{(2 \times \Delta P \times \rho)^{0,5}}{(2 \times \Delta P \times \rho)^{0,5}} = \frac{(2 \times \Delta P \times \frac{PMM}{RT})^{0,5}}{(2 \times \Delta P \times \frac{PMM}{RT})^{0,5}}$$

$$\frac{14\ 654}{\text{Caudal (Nm}^3\text{/ano)}_{P=8\text{ bar}}} = \frac{((9 - 1) \times 9)^{0,5}}{((8 - 1) \times 8)^{0,5}} \leftrightarrow \text{Caudal (Nm}^3\text{/ano)}_{P=8\text{ bar}} = 12\ 924$$

Considerando que a eficiência da central seria a mesma, ou seja, 0,155 kWh/Nm³, tem-se

$$\text{Consumo energético} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right)_{P=9\text{ bar}} = 14\ 654 \times 0,155 = 2\ 274$$

$$\text{Consumo energético } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right)_{P=8 \text{ bar}} = 12\,924 \times 0,155 = 2\,006$$

$$\text{Poupança módulo 1 } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 2\,274 - 2\,006 = 268,6$$

$$\text{Poupança módulo 1 } \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 268,6 \times 0,084 = 22,6$$

Considerando que os 48 módulos consomem o mesmo ar comprimido de alta pressão que o módulo 1, tem-se uma poupança total

$$\text{Poupança 48 módulos } \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 22,6 \times 48 = 1\,083$$

C. Dados e exemplos de cálculo relativos às propostas de otimização da calandra de 4 rolos

C.1. Implementação do pré-arranque

Como já foi referido anteriormente, foram realizados 3 testes durante 3 fins-de-semana onde se baixou o set-point da temperatura da água da extrusora, moinhos e calandra e se desligou a prensa de emenda. Na tabela C.1 encontram-se os valores obtidos do consumo de eletricidade, recolhidos através do software MESSDAS, para os três testes.

Tabela C.1 – Resultados obtidos para o consumo de eletricidade, após a realização de três testes.

Hora	Consumo Eletricidade médio (kW)		
	Teste 1 (14-15 Maio)	Teste 2 (25-26 Junho)	Teste 3 (16-17 Julho)
1:00	70,9	66,2	51,3
2:00	71,4	57,5	51,3
3:00	71,3	50,6	51,6
4:00	71,4	47,9	54,3
5:00	70,4	50,4	52,1
6:00	70,9	48,3	51,3
7:00	71,0	49,8	51,8
8:00	71,4	53,3	52,1
9:00	71,8	58,8	55,8
10:00	70,9	59,9	53,8
11:00	72,7	66,2	53,8
12:00	72,2	68,4	53,9
13:00	71,0	55,6	51,8
14:00	72,3	49,7	52,6
15:00	74,2	51,7	51,4
16:00	73,2	51,2	52,3
17:00	72,5	51,5	52,0
18:00	73,1	55,2	51,8

Tabela C.2 – Resultados obtidos para o consumo de eletricidade, após a realização de três testes (Continuação).

Consumo Eletricidade médio (kW)			
Hora	Teste 1 (14-15	Teste 2 (25-26	Teste 3 (16-17
	Maio)	Junho)	Julho)
19:00	74,6	58,6	51,6
20:00	72,5	66,9	51,7
21:00	74,1	69,2	49,3
22:00	73,5	59,1	49,4
23:00	73,9	53,7	48,9
00:00	73,9	51,1	50,5
Média	72,3	56,3	51,9

De forma a comparar e conhecer o valor a economizar com esta proposta, recolheram-se valores relativos ao consumo de eletricidades em fins-de-semana em que não foram realizados quaisquer testes. Na tabela C.2 estão presentes os valores recolhidos relativamente aos fins-de-semana, onde não foram aplicados testes.

Tabela C.3 - Consumos de eletricidade médios relativos a fins-de-semana sem quaisquer testes empregues.

Data	Consumo de eletricidade médio (kW)
16-17 Abril	130
23-24 Abril	125
30 Abril-1 Maio	124
28-29 Maio	121
12-13 Junho	124
18-19 Junho	127
Média	125,2

Tendo em conta que esta medida será aplicada em períodos que a máquina não se encontra a produzir, considerou-se que o pré-arranque seria implementado em 50 fins-de-semana por ano, tendo sido contabilizadas 24 horas por dia para este período. Também se acrescentaram 10 horas por dia, relativas aos restantes dias da semana (251 dias), uma vez que a máquina necessita de 5 a 6 horas para voltar a aquecer e estar apta ao arranque. Com isto, o pré-arranque poderá ser implementado num total de 4910 horas anuais.

- **Exemplo de cálculo para o consumo de eletricidade nos períodos referidos com e sem pré-arranque e respetiva poupança anual**

Sugestão testada

$$\text{Consumo de eletricidade sem pré – arranque} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 125,2 \times 4910 = 614\,568$$

$$\text{Consumo de eletricidade com pré – arranque} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 54,1 \times 4910 = 265\,693$$

$$\text{Poupança} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 614\,568 - 265\,693 = 348\,875$$

$$\text{Poupança} \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 348\,875 \times 0,084 = 29\,306$$

Sugestão adicional

$$\begin{aligned} \text{Consumo de ar comprimido} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{ano}} \right) &= \text{Poupança} \left(\frac{\text{Nm}^3}{\text{ano}} \right) = 25,7 \times 4910 \\ &= 126\,187 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de ar comprimido} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) &= \text{Poupança} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 126\,187 \times 0,1371 \\ &= 17\,300 \end{aligned}$$

$$\text{Poupança} \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 17\,300 \times 0,084 = 1\,453$$

C.2. Recuperação de condensados

De maneira a determinar as temperaturas de entrada e saída do ar a tratar no permutador, foi necessário conhecer as temperaturas e humidades médias na localidade da fábrica (Lousado) ao longo do ano. No Inverno a temperatura média é de 11 °C e humidade de 80 %, já no Verão a temperatura é de 18 °C e humidade de 70 % (Climate, 2016; Company, 2016). Posteriormente, através da carta psicométrica apresentada na figura C.1 foram obtidas as temperaturas de entrada e saída do ar no permutador.

DIAGRAMA DE HUMIDADE MOLAR
intervalo de temperaturas baixas

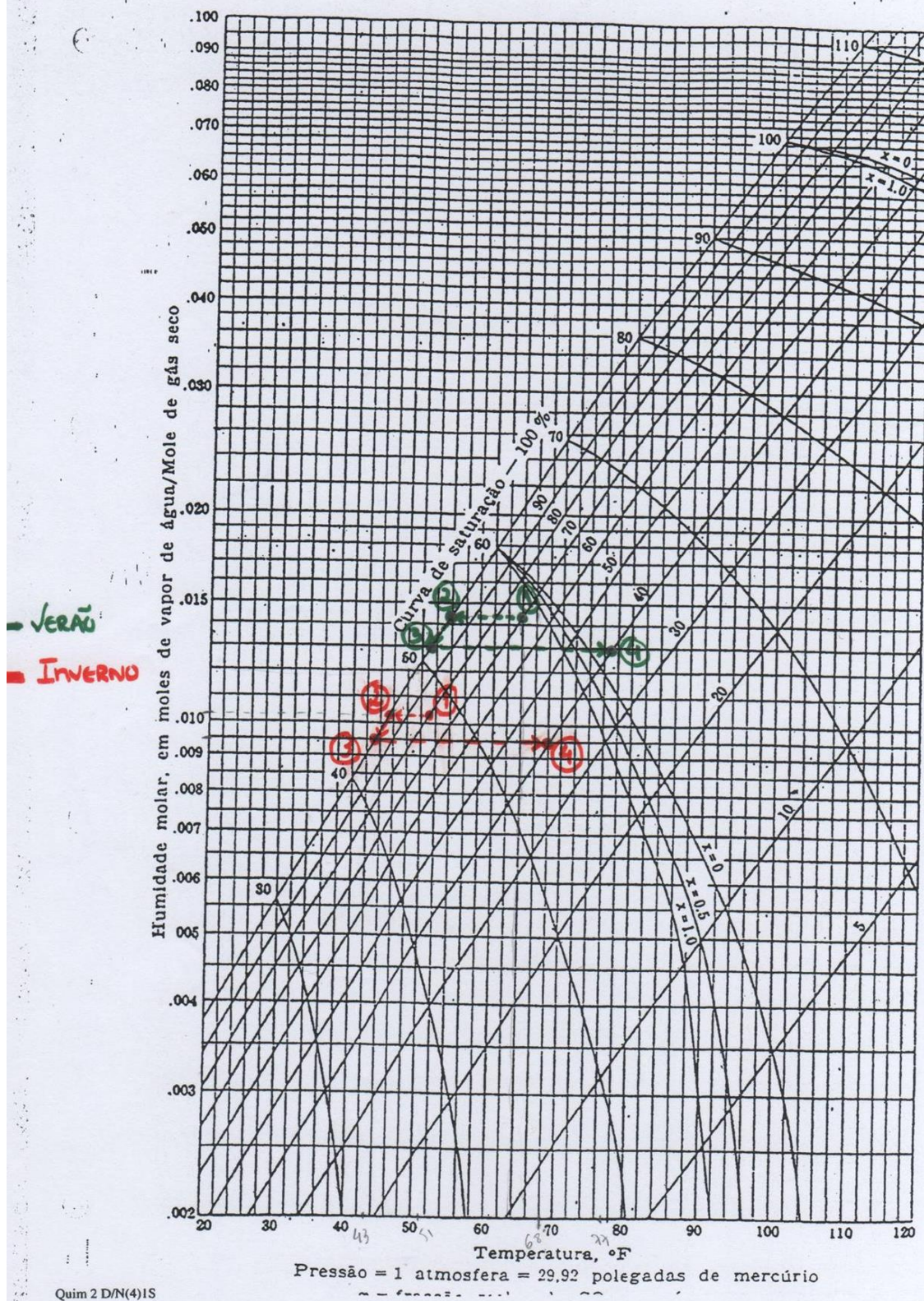


Figura C.1 - Carta psicrométrica usada para determinar as condições de entrada e saída do ar a tratar no permutador.

O percurso traçado a verde refere-se à época de Verão e o vermelho à de Inverno, os pontos 3 e 4 são relativos às temperaturas de entrada e saída do ar no permutador.

Como já foi referido, o condensado irá estar disponível a 4 e 9 bar, mas apenas se irá contabilizar a energia disponível relativa a pressão de 4 bar. Sabe-se que, no total este processo consome 0,34 ton/h de vapor, onde se considerou que 50% seria para o aquecimento do ar da estufa e a outra metade seria para o aquecimento dos rolos presentes no interior da mesma.

De seguida encontra-se o exemplo de cálculo relativo aos resultados apresentados na tabela 5.15 do subcapítulo 5.2.2 para a época de Inverno.

- **Exemplo de cálculo para época de Inverno**

Te condensado = 144 °C (Meyer, 1979)

Ts condensado = 30 °C

$\dot{m}_{\text{cond}} = 0,047 \text{ kg/s}$

cp água = 4,18 kJ/(kg K) ; cp ar = 1,01 kJ/(kg K) (Incropera, 1992)

Te ar = 6,1 °C

Ts ar = 20 °C

$$Q_{\text{condensados}} = Q_{\text{ar}} \leftrightarrow \dot{m}_{\text{cond}} \times c_{p\text{água}} \times \Delta T = \dot{m}_{\text{ar}} \times c_{p\text{ar}} \times \Delta T$$

$$0,047 \times 4,18 \times (144 - 30) = \dot{m}_{\text{ar}} \times 1,01 \times (20 - 6,1)$$

$$\dot{m}_{\text{ar}} = 1,6 \text{ kg/s}$$

- **Exemplo de cálculo para a poupança obtida**

Horas de produção da calandra 2 em 2015 = 1 759 horas

$\dot{m}_{\text{ar}}(\text{UTA}) = 4,5 \text{ kg/s}$

$$\text{Consumo baterias UTA} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 63 \times 1759 = 110\ 817$$

$\dot{m}_{\text{ar}}(\text{UTA}) = 4,5 - 1,5 = 3 \text{ kg/s}$

$$\text{Consumo baterias UTA} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 42 \times 1759 = 73\ 878$$

$$\text{Poupança} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{ano}} \right) = 110\,817 - 73\,878 = 36\,939$$

$$\text{Poupança} \left(\frac{\text{€}}{\text{ano}} \right) = 36\,939 \times 0,084 = 3\,103$$

Nas figuras C.2 e C.3 encontram-se as características do permutador para a recuperação de condensados e a proposta da empresa Spirax para o investimento, respetivamente.

DECA		S. 67102/0	
01	Customer	SPIRAX SARCP PT.	
02	Reference	CONTINENTAL	
03	Position		
04	Coil	P48AISPAC 2R 12T 1C L700 Pa2.2 DN 15	
05		CC 00003-23764-067102 2	
06	TECHNICAL CHARACTERISTICS		
07			
08	Tubes	Inox 304	Fins
09	Diameter	16.60 mm	Thickness
10	Thickness	1.00 mm	Total exchange surface
11	Finned length	700 mm	Finned height
12	Capacity data		
13			
14	Capacity	kcal/h	18174
15		kW	21.13
16	External gas Air		
17	Ambient pressure	bar	1.013
18	Temperature	Inlet 8.5 °C	Outlet 22.5 °C
24	Gas treated weight (dry)	kg/h	5400 (1.50 kg/s)
25	Normal gas volume	Nm³/h	4178 (1.16 Nm³/s)
26	Standard gas volume	Sm³/h	4484 (1.25 Sm³/s)
27	Actual gas volume	Em³/h	4308 (1.20 Em³/s)
28	Actual velocity	m/s	2.97
29	Pressure drop	mmH2O	3.82 (37 Pa)
30	Internal fluid Water		
31	Temperature	Inlet 144.0 °C	Outlet 37.1 °C
32	Liquid weight	kg/h	169
33	Liquid volume	dm³/h	183
34	Actual velocity	m/s	0.30
35	Pressure drop	kPa	2.10
36	Density	kg/m³	993.3
37	Viscosity	mPa.s	0.19
38	Conductivity	W/m°C	0.68
39	Specific heat	kJ/kg°C	4.29
40	Safety on surface	10%	Weight 45 kg
41			Internal volume 4 dm³

Figura C.2 - Características fornecidas pela Spirax para o permutador proposto.

<u>Pos.</u>	<u>Descrição</u>	<u>Prazo</u>	<u>Quant</u>	<u>Preço Unitário €</u>	<u>Total Posição €</u>
	<u>Bateria de aquecimento ar/água para as seguintes condições de serviço indicadas.</u> <u>Caudal de ar: 1,5 kg/s</u> <u>Diferencial temperatura: 8,355°C – 22,5°C</u> <u>Caudal de água: 0,047 lt/s</u> <u>Diferencial temperatura: 144°C – 35,5°C</u> <u>Pressão entrada: 4 bar</u> <u>Potência calorífica: 22 Kw</u>				
1	85850NGI Bateria de aquecimento ar/água, tubos em aço inox 304, com 700mm x 576mm, superfície de aquecimento de 27,9 m2	8S	1	3.600.00	3.600.00
2	Transportes	1D	1	26.90	26.90

Figura C.3 - Proposta da empresa Spirax para o investimento de um permutador para a recuperação de condensados.