

Gestão de Energia na Indústria

Manuel Luis Ferreira Duarte Correia

Relatório de Estágio

Orientador na FEUP: Prof. Maria João Pires

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-06-26

Resumo

Todos os processos industriais utilizam uma fonte de energia para completar a tarefa pretendida, tanto na produção como nas atividades de suporte. Atualmente, a modificação do paradigma energético associado às alterações políticas no continente europeu, enaltece a importância de realizar uma correta gestão do consumo energético para garantir a competitividade e viabilidade do negócio. A melhoria da eficiência dos equipamentos, mitigação de desperdício energético e aumento do nível de conhecimento dos operadores são algumas das medidas necessárias para redução dos custos produtivos e aumento da responsabilidade ambiental da empresa.

Durante o desenvolvimento do presente projeto, foram utilizadas ferramentas *lean* de mapeamento e análise processos, que permitiram desenvolver uma base para análise dos resultados obtidos e uma estratégia para propor melhorias para cada tipo de fonte de energia - gás natural, ar comprimido e eletricidade. Adicionalmente, foram utilizados *softwares* lecionados no mestrado para obter resultados específicos o que permite retirar conclusões concretas.

Em ambiente industrial, a viabilidade financeira da implementação de projetos é mandatória para garantir o retorno do investimento e a criação de lucros. Com efeito, os processos produtivos foram analisados de forma intensiva, na qual foram extrapoladas oportunidades de melhoria e desenvolvidos cenários que podem ser divididos em três grupos: sem investimento, investimento moderado e investimento elevado. Em todos estes cenários foi calculado o *payback time*, que serviu como ferramenta para análise da viabilidade da implementação das alterações propostas que consistiram na substituição dos equipamentos atualmente instalados na unidade industrial, na alteração de políticas de manutenção e na rentabilização dos recursos energéticos.

A grande abrangência do tema em análise envolveu diferentes departamentos da empresa aos quais foi transmitido as oportunidades de melhoria. A cooperação de todos é obrigatória para atingir os resultados pretendidos e alcançar as metas de redução energéticas propostas neste documento.

Abstract

All industrial operations, both in the production process and in support activities, utilise some sort of energy to fulfil the desired task at hand. Currently, the change in the energy paradigm connected with political upheavals on the European continent emphasises the significance of performing proper energy consumption management to ensure the business's competitiveness and profitability. Improving equipment efficiency, reducing waste energy, and enhancing operator knowledge are all critical ways to minimise production costs and raise the company's environmental responsibility.

Several quality management ideas were applied during the creation of this project, allowing the construction of a foundation for analysing the results acquired and a plan for developing improvements for each type of energy source - natural gas, compressed air, and electricity. Furthermore, software taught as part of the master's degree was utilised to generate precise findings and draw definite conclusions.

Financial viability of project implementation is required in an industrial context to assure return on investment and profit development. Indeed, the manufacturing processes were thoroughly examined, with chances for improvement found and scenarios produced that may be classified into three groups: little investment, moderate investment, and heavy investment. When relevant, the payback period was estimated and used as a tool to compare different suggestions, that vary from the replacement of equipment already installed in the unit, change of the company's current maintenance program and maximizing the profitability of energy use.

The issue under examination included several areas of the organisation, and suggestions for development were highlighted. To attain the desired results and meet the energy reduction objectives outlined in this document, everyone must work together.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Colep Consumer Products pela oportunidade de realizar o estágio em ambiente industrial e pela recepção de braços abertos.

Um agradecimento especial ao Eng. João Barbosa por todo o apoio, disponibilidade, aconselhamento e pelo exemplo de profissionalismo e motivação transmitido diariamente.

A toda a equipa de engenharia, Eng. Márcio Tavares, Eng. André Avelar, Eng. André Seabra, Eng. Vítor Martins e Eng. Miguel Oliveira pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas, por todo o *feedback* dado e apoio na realização do projeto.

Um agradecimento a todos os colaboradores da Colep, em especial aos mecânicos e operadores de chão de fábrica, essenciais para identificar possíveis medidas de poupança energética e por implementar as medidas atualmente em vigor.

À professora Maria João Pires, pelas dúvidas esclarecidas e pelas horas de reunião que culminaram com a entrega deste documento.

A Nós e Eles, aqueles que nunca vão deixar de fazer parte da minha vida. Obrigado por me aceitarem, por estarem presentes nos bons e nos maus momentos e por me tornarem uma melhor pessoa. Sem vocês, estas conquistas não teriam sentido.

Aos meus pais e irmã, desde sempre um exemplo a seguir. Por se destacarem a fazer aquilo que gostam, por colocarem a fasquia tão alto. Nunca me foi exigido seguir os vossos passos mas sempre quis deixar-vos orgulhosos.

A todos os que continuam a lutar para seguir os seus sonhos.

“Success is not final, failure is not fatal: It is the courage to continue that counts.”

Winston Churchill

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e objetivos do projeto	1
1.2	Colep Consumer Products Portugal, S.A.	2
1.3	Metodologia seguida no projeto	3
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Revisão de literatura	5
2.1	Gestão energética e o impacto ambiental do consumo de energia	5
2.2	Fontes de energia e a sua utilização na indústria	6
2.3	Eficácia e eficiência energética	7
2.4	Conceitos de qualidade	8
2.5	Desafios na implementação de medidas de eficiência energética	11
3	Utilização de energia na fábrica de enchimentos	13
3.1	Descrição da situação atual	13
3.2	Sistema de gestão de energia	15
3.3	Aplicação dos conceitos de qualidade	16
3.4	Análise dos consumos de energia por setor	17
3.5	Processos produtivos utilizados	21
3.6	Análise de capacidade do processo	22
3.7	Monitorização e controlo existentes relativos aos consumos energéticos	22
3.8	Análise de <i>Pareto</i> dos custos energéticos	23
3.9	Análise aos consumos de energia de equipamento elétrico	24
3.10	Resultados dos indicadores no passado	24
3.11	Mapeamento, análise e identificação do desperdício	25
3.12	Pontos de melhoria	28
4	Melhorias propostas	29
4.1	Pressupostos	29
4.2	Gás Natural	30
4.2.1	Medidas sem investimento	30
4.2.2	Medidas de investimento moderado	32
4.2.3	Medidas de investimento elevado	33
4.3	Ar Comprimido	34
4.3.1	Medidas sem investimento	34
4.3.2	Medidas de investimento moderado	35
4.3.3	Medidas de investimento elevado	37
4.4	Consumo elétrico	38
4.4.1	Eletricidade controlada	38

4.4.2	Eletricidade não controlada	42
4.5	Financiamento público	49
4.5.1	Painéis fotovoltaicos	50
5	Conclusão	51
A	Anexos	55
A.1	Figuras	55
A.2	<i>Software R Studio</i>	57
A.2.1	Código para criação de regressões lineares	57
A.3	<i>Software Anylogic</i>	57
A.3.1	Noções gerais:	57
A.3.2	Código python	58

Acronyms and Symbols

KPI	Key Performance Indicator
UI	Unidade Industrial
AC	Ar Comprimido
GN	Gás Natural
PT	Posto de transformação
PRR	Plano de Recuperação e Resiliência
SGE	Sistema de Gestão Energética

Lista de Figuras

2.1	Análise das fontes de energia em Portugal e na Europa	7
2.2	Conceitos de qualidade: Limites de Qualidade	10
3.1	<i>Layout</i> fábrica da Colep CP	14
3.2	Distribuição Consumo Energia CCP 2022	15
3.3	Análise Consumos por Setor	17
3.4	Ar comprimido vs número total de peças produzidas	27
3.5	GN vs número total de peças produzidas	27
A.1	Etapas DMAIC	55
A.2	Conceitos de qualidade: Muda, Mura e Muri	56
A.3	Equipamento de medição de potência	56

Lista de Tabelas

3.1	Análise dos maiores grupos de consumos nas linhas	17
3.2	Análise dos consumos elétricos não sujeitos a análise em tempo real	19
3.3	Análise dos consumos na formulação	19
3.4	Distribuição percentual do consumo no armazém A5	20
3.5	Análise dos limites de potência consumida, em intervalos de 15 minutos	22
3.6	Análise KPIs de eletricidade e de ar comprimido	25
4.1	Análise de <i>Savings</i> nos purgadores	33
4.2	Descrição custos aquisição nova caldeira	34
4.3	Análise custos aquisição dois compressores novos	38
4.4	Tempo de aquecimentos dos fornos	40
4.5	Diferentes cenários de <i>savings</i> para a utilização de sensores	41

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e objetivos do projeto

O projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular de segundo ano e segundo semestre do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial lecionado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, dissertação em ambiente empresarial. O trabalho ocorreu entre os meses de fevereiro a junho de 2023 na empresa Colep Consumer Products Portugal S.A., na Unidade Industrial de Vale de Cambra, no departamento de Engenharia.

As constantes flutuações do preço da energia, impulsionadas por diversas alterações socioeconómicas vividas durante o início da década de 2020, aliado aos elevados consumos característicos de uma unidade industrial, torna mandatário que os mesmos sejam mapeados e digitalizados, com a finalidade de propor melhorias para redução de custos. Em 2021, a Colep Portugal S.A separa as suas duas unidades de negócio. O negócio de embalagens fica agora ao encargo da Colep Packaging Portugal S.A., enquanto que o enchimento de produtos de consumo encontra-se ao encargo da Colep Consumer Products Portugal S.A. Ambas as empresas são controladas a 100% pelo grupo RAR.

Apesar da divisão das unidades industriais, estruturalmente, as empresas ainda estão profundamente ligadas. As instituições partilham um único posto de transformação, caldeiras e compressores de ar. Estes são detidos pela Colep Packaging que no final de cada respetivo mês solicita o pagamento de uma parte do valor final da fatura, de acordo com a percentagem consumida. Considera-se assim uma situação crítica ao correto funcionamento da empresa, não só devido à possibilidade de serem solicitados pagamentos equivocados, como também por poder vir a afetar o relacionamento entre as administrações das empresas.

A utilização da energia numa unidade industrial de enchimento de produtos cosméticos e não cosméticos desempenha um papel fundamental para o correto e seguro funcionamento da mesma. Os três maiores consumos estão associados à formulação, ao enchimento e subsequentes testes de segurança realizados nas linhas de produção e ao armazenamento. Durante a realização destes processos há necessidades de vapor (aquecimento), água (arrefecimento), ar comprimido (acionamentos pneumáticos) e eletricidade. Assim, a utilização de diferentes fontes de energia torna

essencial o papel do mapeamento e digitalização dos consumos.

Tenciona-se utilizar ferramentas de análise de dados cujo objetivo é encontrar correlações entre os produtos produzidos e formulados com os consumos energéticos para garantir a correta utilização dos recursos da empresa, ao longo dos vários setores. Considerando a grande complexidade dos fluxos de material, informação, gestão de produtos armazenados e planeamento da produção aos quais se acrescenta a elevada dimensão da unidade industrial, é essencial a criação de um *dashboard* claro e conciso, que possa ser interpretada por qualquer colaborador e que vise obter os consumos de acordo com as ordens de produção recebidas por clientes.

De forma a garantir a correta utilização dos recursos disponibilizados, procura-se homogeneizar os desvios verificados através de possíveis melhorias em processos e troca de maquinaria antiga por máquinas recentes, cujos consumos são significativamente mais baixos.

Durante o período compreendido entre fevereiro e junho de 2023, será mapeado, analisado e digitalizado o consumo energético para que com o presente projeto se obtenha:

- Melhor visibilidade e compreensão das fontes de consumo de energia
- Redução da fatura energética
- Melhoria da produtividade
- Aumento da eficiência energética

1.2 Colep Consumer Products Portugal, S.A.

A primeira unidade industrial abre portas em 1965. Localizada em Vale de Cambra, adquire a designação Colep – Costa Leite Pinho, nome de família do fundador da empresa, Ilídio Pinho. Como *core business* a fábrica produz embalagens metálicas, especificamente embalagens metálicas para biscoitos. Já em 1975, A COLEP inicia a atividade de *Contract Manufacturing* e torna-se uma das poucas empresas no ramo da formulação, produção, enchimento e embalagem. Em 2021, a COLEP anuncia a divisão do seu negócio em duas novas empresas: Colep Consumer Products e Colep Packaging.

No ano de 2021 a Colep Consumer Products Portugal apresenta uma faturação de €250.525.519, um fluxo de caixa operacional de €23.802.998 e emprega 1392 trabalhadores. A empresa identifica como *core business* o enchimento de latas de aerossóis e líquidos, os quais exporta para mais de 20 países. A constante aposta na inovação e desenvolvimento de soluções e produtos, permite que a mesma seja capaz de produzir, não só os aerossóis e líquidos requisitados pelos clientes, como também oferecer soluções de fórmulas inovadoras para produtos que possam a vir ser comercializados por diferentes marcas. Medidas como a descrita permitiram à unidade industrial alcançar a primeira posição no setor fabricação de perfumes, de cosméticos e de produtos de higiene em Portugal.

A qualidade do produto final está dependente da qualidade da matéria-prima utilizada e formulada. De forma a eliminar graus de variabilidade, existe um processo de pré-pesagem de todos

os produtos intervenientes. Adicionalmente, é controlada a temperatura, viscosidade e outras características do fluído em todos os tanques. Com efeito, a produção é morosa, dado que todo o processo produtivo necessita de um controlo rigoroso e poderá levar dias até obter as propriedades pretendidas.

A fábrica de Vale de Cambra, tem capacidade para encher mais de 250 000 produtos dia. Cerca de 95% da produção total é dedicada a aerossóis enquanto que 5% da produção é dedicada a líquidos. Os aerossóis e líquidos produzidos nesta unidade industrial servem diferentes propósitos que variam entre produtos de beleza e cuidado pessoal, cuidado para casa, higiene e sanitização.

De forma a assegurar a segurança de todos os colaboradores, a sustentabilidade para futuras gerações e a qualidade dos seus produtos para o seu vasto leque de clientes, a Colep Consumer Products Portugal está certificada das normas de controlo de qualidade (ISO 9001), de gestão de ambiente (ISO 14001), boas práticas da produção (ISO 22716), regulação de dispositivos médicos (ISO 13485) e ainda segue a diretiva Seveso III. A diretiva Seveso surge após um acidente catastrófico na cidade italiana Seveso que levou à libertação de uma nuvem tóxica e tem como objetivo a prevenção de acidentes graves deste tipo.

1.3 Metodologia seguida no projeto

Durante o primeiro mês, foi necessário recolher dados de campo nos diferentes setores da unidade industrial de Vale de Cambra de forma a obter uma visão geral de todo o processo produtivo e também de todos os componentes que o envolvem, tais como a *ETARI*, *Britvic* e formulação.

O âmbito do projeto é a análise de consumos energéticos. Para tal, foi inicialmente necessário mapear e analisar todos os componentes que consomem eletricidade. Foi verificada a potência consumida de todas as partes e, recorrendo a ferramentas de mapeamento de fluxos, mais especificamente os *flowcharts*, foi possível caracterizar a situação atual.

As três caldeiras de vaporização rápida são utilizadas para satisfazer as necessidades de vapor da unidade industrial. Este equipamento queima combustível - gás natural (GN) - para produzir calor, trocado com água para despoletar o fenómeno de ebulição deste fluído. De forma a estudar o consumo desta fonte de energia, é essencial identificar as suas principais utilizações numa unidade de enchimento, mapear a rede de distribuição de vapor e de condensados e analisar o funcionamento das caldeiras.

O ar comprimido (AC) é uma fonte de energia proveniente de compressores industriais que utilizam eletricidade para incrementar a pressão deste fluído. Os acionamentos pneumáticos, atuadores, válvulas, sistemas de secagem e vibradores são os principais consumidores deste recurso pelo que, com o objetivo de redução de custos e desperdícios, foi analisada a sua utilização. Adicionalmente, foi mapeada a rede de transporte de AC e realizados *Gemba Walks* para identificação de eventuais fugas.

As propostas de melhoria foram baseadas em dados obtidos através dos métodos supra transcritos. Após uma recolha intensa de informação, o processo de planeamento passou pela análise de dados com recurso ao *software R Studio* no qual se procurou estudar os resultados obtidos, através

de regressões lineares para que seja possível analisar os resultados e obter possíveis padrões. Adicionalmente, foram aplicados os conceitos de teoria da simulação, utilizados no *software AnyLogic* e *Pycharm* para simular a operação do armazém e testar diferentes hipóteses.

Foi dada prioridade na implementação de medidas que possam ser realizadas com efeito imediato e sem qualquer investimento, como pequenas ações a realizar, que procuram maximizar os resultados a curto prazo e justificar futuros investimentos na área de melhoria de eficiência, nomeadamente implementação de energias renováveis.

Gestão da Qualidade designa o conjunto das atividades de uma organização realizadas com o intuito de alcançar os seus objetivos de garantia e melhoria da qualidade dos seus produtos e serviços. Assim, numa unidade industrial com um modelo de negócio B2B (*Business to business*) este conceito é medido através da quantidade de produtos finais conformes produzidos. Com efeito, foram aplicados conceitos de qualidade, como os 5S, *gemba walks*, *Muda*, *Muri* e *Mura* e *six sigma* para conduzir a análise efetuada.

De forma a mensurar as alterações provenientes das medidas implementadas, foi definido como indicador o consumo total de energia nas áreas em análise que poderá ser medido através da potência, em kWh, ou em termos de caudal, em m³.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos e anexos. O primeiro capítulo que contempla o atual subcapítulo, tem como objetivo enquadrar o projeto, definir objetivos e realizar a apresentação da Colep Consumer Products Portugal.

No segundo capítulo serão expostos os fundamentos teóricos que foram necessários para a realização do projeto. Neste caso, serão abordados conceitos de qualidade, o impacto ambiental do consumo de energia, sistemas de gestão de energia, fontes da energia utilizada pela indústria e as suas alternativas recorrendo a fontes limpas.

No terceiro capítulo, será apresentada a situação atual no chão de fábrica, com recurso ao mapeamento realizado e divisão dos consumos energéticos por setor. Adicionalmente, serão descritos os produtos produzidos na unidade industrial de Vale de Cambra, bem como os instrumentos que são necessários durante todo o processo produtivo, que será analisado em detalhe.

No quarto capítulo foram apresentados os pressupostos utilizados, a forma como foi definida a sequência de estudo das diferentes fontes de energia, introduzidas as propostas de melhoria que estão divididos em área de aplicação e custos e foram analisados os apoios disponibilizados pelo governo português.

No último capítulo são analisadas as principais conclusões, futuros trabalhos e aprendizagens durante a realização do projeto.

Capítulo 2

Revisão de literatura

Esta é uma parte essencial no desenvolvimento do documento uma vez que envolve um estudo crítico e sistemático das informações relevantes já publicadas sobre o tema em análise. A literatura existente é utilizada para obter uma visão geral das principais teorias, conceitos, estudos empíricos e descobertas relevantes que foram concretizadas previamente.

2.1 Gestão energética e o impacto ambiental do consumo de energia

De acordo com o Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC) e baseado em evidências científicas, é possível inferir de forma inequívoca que estas alterações foram despoletadas por intervenção humana e tendem a intensificar-se (Smith et al. (2009)).

A revolução industrial marca a transição para novos processos de fabrico como, por exemplo, a alteração de métodos de produção manual para produção automática através de máquinas e o uso crescente de energia a vapor e hidráulica. A produção e consumo de energia tornaram-se essenciais para o correto funcionamento da indústria. No entanto, são também responsáveis pelo aumento da pressão exercida sobre o ambiente, através de acidentes ambientais, da geração de resíduos e da emissão de gases poluentes e com efeitos estufa.

Assim, é fulcral definir um sistema de gestão energética (SGE). A norma NP EN ISO 50001 desenvolvida pela Organização Internacional de Normalização, fundamentada em vetores como a gestão eficiente de energia, procura minimizar o impacto ambiental e reduzir custos associados (Correa Soto et al. (2014)). No âmbito deste relatório servirá como fundamento para análise do atual SGE.

Em vigor desde Junho de 2011, prevê-se que a norma ISO tenha um impacto até 60% no consumo mundial de energia. Esta define uma estrutura que ajuda na gestão do fornecimento de energia bem como do seu consumo, na indústria, comércio ou outro tipo de negócio. Assim, promove uma abordagem sistemática aos encargos de uma organização que procura definir, aplicar, manter e melhorar um Sistema de Gestão Energética.

A União Europeia, impulsionada por fenómenos meteorológicos extremos, socioeconómicos e dificuldades sem precedentes do funcionamento de reatores nucleares, foi responsável por 5.7% do total das emissões mundiais de dióxido de carbono (CO₂) em 2022, cerca de 712 milhões de toneladas de CO₂. A Polónia utiliza centrais termoelétricas a carvão para produzir eletricidade e é o país que mais contribui para esta estatística - por cada kWh de eletricidade gerada emite 692 gCO₂ (Osman et al. (2023)).

Para colmatar as alterações climáticas e cumprir com os objetivos de redução de emissões imposto pelo Pacto Ecológico Europeu, as unidades industriais sediadas na UE, devem obter licenças por cada tonelada de CO₂ emitida. Este consentimento deve ser adquirido através de leilões mediados pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), que regula perto de 40% das emissões totais de gases com efeito estufa (GEE) (Vieira et al. (2023)).

A energia fóssil é energia que provem da combustão de combustíveis fósseis. Estes são formados através da decomposição de organismos, como restos de plantas, animais e outros seres vivos que, ao longo de milhões de anos, passam por transformações físicas e químicas até serem considerados fontes de energia. Existem três tipos de energia fóssil: o carvão, o petróleo e ainda o gás natural. Os combustíveis fósseis têm sido amplamente utilizados como fonte de energia, dada a sua alta densidade energética e facilidade de transporte no entanto, a queima destes combustíveis resulta na emissão de CO₂ que pode despoletar chuvas ácidas, o agravamento do efeito de estufa e subsequente destruição da camada de ozono (Deshmukh et al. (2023)).

De forma a colmatar os problemas supra transcritos, é essencial utilizar fontes de energia renováveis, provenientes de fontes inesgotáveis ou que tenham a capacidade de uma rápida e sustentável regeneração. As fontes de energia renováveis mais conhecidas são a solar (proveniente do sol), eólica (proveniente do vento) e a hídrica (proveniente da água). No entanto, a energia geotérmica (o calor da Terra), a energia da queima da biomassa e energia das ondas e marés podem ser utilizadas para gerar eletricidade de uma forma limpa.

2.2 Fontes de energia e a sua utilização na indústria

Para clarificar o conceito de consumo de energia na indústria é fulcral identificar e analisar as suas áreas de utilização. O recurso à energia é essencial para operar os equipamentos produtivos, iluminar as infraestruturas e ainda para sistemas de aquecimento e arrefecimento.

A energia representa uma necessidade básica que é preponderante para a competitividade económica e crescimento das empresas. Com efeito, durante a conferência das Nações Unidas sobre o clima, realizado em 2015, celebra-se o acordo de Paris, um tratado internacional relativo a alterações climáticas. Este momento marca o instante no qual é reconhecido que, apenas com o contributo de todos, é possível superar este desafio ambiental (Parker et al. (2017)). Portugal, que visa alcançar a neutralidade carbónica em 2050, estabeleceu metas e objetivos para o horizonte 2030, das quais se destaca o encerramento de todas as centrais, em território nacional, que produzem eletricidade com recurso a combustíveis fósseis.

20 de Novembro de 2021 passa a ser uma data histórica. Marca o encerramento da última central termoeétrica em Portugal. O país passa agora a depender de energias renováveis e de centrais a gás para produção de eletricidade (Rêgo et al. (2021)).

Dados publicados pela Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) revelam que, em território nacional continental, foram gerados 44253 GWh de eletricidade no período compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2022. Cerca de 57,2% (25184 GWh) foram de origem renovável (Bairrão et al. (2023)).

As energias que mais contribuem para esta estatística foram a energia eólica, contabilizando cerca de 29% da produção total e o gás natural, contabilizando cerca de 32%.

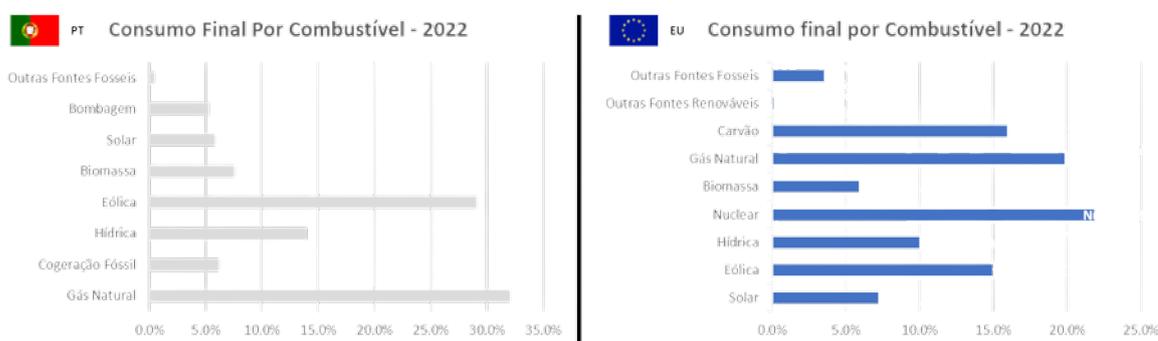


Figura 2.1: Análise das fontes de energia em Portugal e na Europa

No panorama europeu, existe foco em reduzir rapidamente a procura por gás natural, dado o contexto atual, em paralelo com a gradual retirada do carvão. O ano de 2022 foi marcado por uma seca, o que levou ao nível mais baixo de produção hídrica desde 2000, no entanto, a produção de energia através de fontes solares e eólicas superou pela primeira vez a produção por gás natural (Osman et al. (2023)).

O setor da indústria (indústrias extrativas e transformadoras) representa 34,55% do consumo energético total em Portugal (Adebayo et al. (2022)). Já na União Europeia, a indústria consome 26% do total de energia. Deste modo, torna-se imperativo que, num setor cujo consumo representa mais de 25% do consumo total europeu, o conceito de sustentabilidade seja uma parte integral dos valores das empresas. Deve ainda ser realizada um levantamento exaustivo dos consumos que permita encontrar inconformidades e propor melhorias. Este estudo poderá conduzir posteriormente à eventualmente modernização dos equipamentos.

2.3 Eficácia e eficiência energética

Eficácia numa unidade industrial pode ser definida como a capacidade de produzir o número de unidades pretendidas, independentemente da quantidade de recursos utilizados para cumprir o objetivo proposto. De forma a que uma UI (unidade industrial) seja sustentável a longo prazo, o conceito de eficácia tem que ser trabalhado em paralelo com o conceito de eficiência, isto é, tem que ser realizada uma auditoria dos recursos utilizados para completar a tarefa pretendida. Assim,

uma produção é considerada eficiente quando consumiu o mínimo de recursos para obtenção de um determinado resultado (Vasconcelos et al. (2012)).

Previamente, eram considerados recursos essenciais à operação apenas matérias primas e equipamentos. Atualmente, a esta definição foram adicionados os conceitos de energia e tempo (Shojafar et al. (2016)). As melhorias energéticas partem da análise do consumo da energia total e serão estudados com base na intensidade energética e consumo específico. Para o efeito, a unidade utilizada para apreciação do consumo energético é o [kWh] e a unidade utilizada para medir o consumo específico é dada por [kWh/Kun], onde [Kun] representa o número de unidades produzidas, em milhares.

O volume total de produção é um fator preponderante na análise energética. O incremento na cadência de produção irá traduzir-se num maior consumo final, associado ao aumento da frequência das máquinas em linha. No entanto, o custo energético das atividades de suporte irá diluir-se pela quantidade de unidades produzidas - um fator de escala. Assim, a análise das melhorias implementadas poderá ser realizada tendo por base duas perspetivas:

- Análise financeira: tempo previsto para o retorno do investimento tal como os *savings* expectáveis por ano.
- Análise de KPIs: ganhos conseguidos em termos percentuais, calculado através da análise de *Key Performance Indicators* (KPIs) como, por exemplo, o consumo específico de energia em [kWh/Kun].

2.4 Conceitos de qualidade

Qualidade, na perspetiva do cliente num modelo B2B (*Business to Business*), é designada como conformidade das especificações requeridas. Gestão da qualidade, permite a qualquer organização programar, realizar e controlar as atividades que geram fluxos de caixa, direta ou indiretamente, e obter estes resultados de uma forma consistente. Neste campo a filosofia *Lean* tem demonstrado ser um paradigma de gestão extremamente poderoso (Talib et al. (2010)).

Em 1950, no Japão, surge a necessidade de combater a escassez de recursos e a incapacidade de competir com economias de escala. Assim, dá-se uma revolução nas metodologias e técnicas produtivas, lideradas por *Taiichi Ohno* que desenvolve o TPS (*Toyota Production System*). Este sistema foi baseado em dois conceitos: a produção "*pull*" e no conceito JIT (*Just in Time*) que visa dar uma resposta a tempo e com flexibilidade à procura e, em paralelo, minimizar os custos dos recursos (Carpinetti et al. (2012)).

O 5S é um método *Lean* para otimização do local de trabalho, que promove uma cultura de melhoria contínua no âmbito da eficiência e da produtividade (Campos et al. (2005)). Os 5S representam:

- Utilização (*Seiri*)
- Organização (*Seiton*)

- Limpeza (*Seiso*)
- Padronização (*Seiketsu*)
- Disciplina (*Shitsuke*)

O conceito de *Gemba Walk*, originário do TPS (*Toyota Production System*), é uma parte essencial da filosofia de gestão *Lean*. *Gemba* refere-se ao "*actual place*", local onde se dá criação de valor. A equipa de gestores é convidada a deslocar-se até este espaço para comunicar pessoalmente com os seus trabalhadores e assistir ao processo produtivo em tempo real. Deste modo, irá aumentar o seu conhecimento sobre possíveis melhorias e avaliar, na primeira pessoa, a capacidade atual de alcançar estabilidade recorrendo ao sistema de gestão utilizado, que serve de base para a implementação de uma futura melhoria (Reynders et al. (2022)).

A filosofia implementada por *Taiichi Ohno* visa ainda integrar cada etapa da produção num processo holístico e eficiente com o objetivo de reduzir os custos (Sheikh-Sajadieh et al. (2013)). Assim, foi também essencial na forma como as organizações identificam e tratam o seu desperdício. *Ohno* identificou sete tipos de "*muda*", cuja tradução é desperdício:

1. Excesso de produção;
2. Custos de segurança e manutenção decorrentes do armazenamento excessivo;
3. Desperdício de movimento (quer por um humano ou uma máquina);
4. Inconformidade com especificações - Defeitos;
5. Excesso de processamento;
6. Movimento de materiais;
7. Tempo perdido devido à desaceleração ou interrupção da produção numa etapa da cadeia produtiva, enquanto a anterior é concluída - período de espera;

No âmbito do relatório é essencial considerar um oitavo tipo de "*muda*", o desperdício energético. É possível inferir que este conceito está intrinsecamente conexo a alguns fatores supra transcritos, dos quais depende diretamente, nomeadamente o excesso de produção, desperdício de movimento, excesso de processo, movimento de materiais e ainda o período de espera. Os restantes fatores, ainda que não tenham consumo direto de energia, estão ligados à produtividade, pelo que é possível inferir que afetam negativamente a eficiência da utilização dos equipamentos e, por consequência, aumentam as perdas energéticas (Jimenez et al. (2019)).

O desperdício retira valor ao produto. O conceito de valor acrescentado, que será fundamental para a análise da *muda*, resulta da diferença entre o valor da produção e do consumo de recursos utilizados para produzir outros bens. As atividades de suporte devem representar um custo mínimo, cuja flutuação não deverá ser refletida no valor final do produto/serviço. Assim, é essencial eliminá-las sempre que possível e, quando imprescindíveis para o correto funcionamento da operação, devem ser analisadas para que haja uma redução da despesa. Este diagnóstico diminui os

custos de produção e também promove a melhoria dos processos, pelo que eliminar desperdício deve ser considerado na formulação da estratégia das empresas.

A qualidade do produto final pode ser determinada recorrendo ao controlo estatístico de processos, baseado na metodologia *Six Sigma*. *Six Sigma* é um conjunto de práticas desenvolvidas pela *Motorola* para reduzir a variabilidade dos processos e melhorar os resultados. *Sigma*, mede os defeitos por parte de milhão. O nível de qualidade *six* corresponde a 3,4 defeitos por milhão e uma percentagem de conformidade de 99.99966% (Zhang et al. (2012)).

O DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) foi elaborado com base na metodologia supra transcrita e ajuda na sua implementação recorrendo a um roteiro de cinco fases (Lynch et al. (2003)). O seu objetivo é analisar processos, eliminar fontes de variações e o desenvolver alternativas para reduzir a variabilidade.

No entanto, a metodologia *Six Sigma* não está apenas limitada ao DMAIC. Existem outras técnicas tais como a análise causa-efeito e o *5Why's* que são também utilizadas para garantir a qualidade dos produtos.

As cartas de controlo (ou *control charts*), um standard na indústria para examinar a estabilidade dos processos é essencial na identificação de tendências prejudiciais à produção bem como no auxílio de tomadas de decisão sobre medidas corretivas a aplicar (Jensen et al. (2006)).

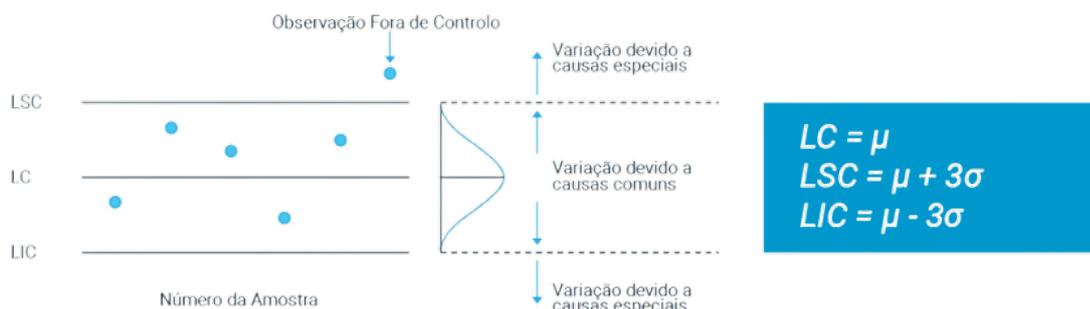


Figura 2.2: Conceitos de qualidade: Limites de Qualidade

A análise de uma variável e o cálculo do seu limite central (CL), superior (UCL) e inferior (LCL) é, à semelhança do processo produtivo de um aerossol, complexo e sujeito a diferentes etapas:

1. **Análise:** Escolha da variável e avaliação do processo de medição;
2. **Caracterização:** Distinção das possíveis causas de variação;
3. **Implementação:** Identificação e erradicação de fontes de variação;
4. **Fixação:** Validação da melhoria e cálculo dos limites;
5. **Monitorização e revisão:**
 - Reajuste periódico dos limites;

- Apenas aplicável a processos onde a capacidade exceda o valor de 1.3;

2.5 Desafios na implementação de medidas de eficiência energética

A implementação de um medidas de eficiência energética e conseqüente alterações dos hábitos provenientes desta mudança é dificultada por alguns fatores amplamente estudados, que restringem o seu desenvolvimento em ambiente industrial, os quais passarão a ser apresentados neste subcapítulo.

Inicialmente, surgem problemas relacionados com a escassez de recursos económicos, devido à falta de capacidade de investimento em tecnologias mais avançadas. Portugal, o sétimo país com menor PIB (produto interno bruto) da UE e situado numa extremidade da Europa, tem que praticar preços mais competitivos para operar no mercado europeu, uma vez que os custos de transporte são mais elevados quando comparados a um país como a Polónia, localizada na Europa central. A margem praticada por cada produto final vendido é inferior, pelo que os negócios terão falta de recursos financeiros para aquisição de tecnologias mais avançadas (Sisinni et al. (2018)).

A cultura de grande parte dos colaboradores portugueses é de rejeição à introdução de novos paradigmas e novas práticas uma vez que não compreendem a importância de um desenvolvimento sustentável o que é um dos grandes entraves à implementação de medidas de eficiência energética. O baixo valor do ordenado mínimo praticado em Portugal, recebido por grande parte dos operadores e a falta de incentivos à realização de trabalho extra não é suficiente para promover a mudança de paradigma.

Por último, existem dificuldades de utilização de fundos públicos uma vez que estes são de difícil acesso, escassos e pouco divulgados. O concurso é um processo moroso, que exige um grande investimento inicial e posterior aprovação através de uma inspeção visual o que não é confortável para muitas unidades industriais. Assim, não é retirado o máximo partido dos incentivos pelo que o desenvolvimento da eficiência energética permanece estagnado (Silveira et al. (2013)).

Capítulo 3

Utilização de energia na fábrica de enchimentos

A palavra energia provem do grego *ergos*, cujo significado é trabalho. Considera-se então como gasto energético todas as tarefas produtivas ou de suporte que requerem trabalho para serem concluídas.

A forma como a sociedade utiliza energia é preponderante na alteração do atual paradigma energético. As metas estipuladas internacionalmente procuram dar maior ênfase a energias verdes e à redução da emissão de gases de efeito estufa.

Dado o consumo intensivo de energia nas indústrias, é necessário realizar um acompanhamento constante, centrado no conceito de eficiência energética e que procura desenvolver operações e processos para potenciar a redução de desperdícios, minimizar despesas e manter o nível de produtividade.

3.1 Descrição da situação atual

A unidade industrial situada em Vale de Cambra requer o fornecimento constante de gás natural, ar comprimido e eletricidade de forma a garantir o correto funcionamento da sua operação. Dada a recente divisão da Colep em *Consumer Products* e *Packaging* e a elevada interconexão das infraestruturas das mesmas, as fábricas não só partilham a mesma localização como também o posto de transformação e conduta de abastecimento de gás natural, ambos detidos pela unidade de produção de plásticos e metais. A percentagem do consumo total atribuída à unidade de enchimento, é calculada através da leitura de caudalímetros colocados no início da rede de abastecimento de ar comprimido e de gás natural, dedicados ao enchimento.

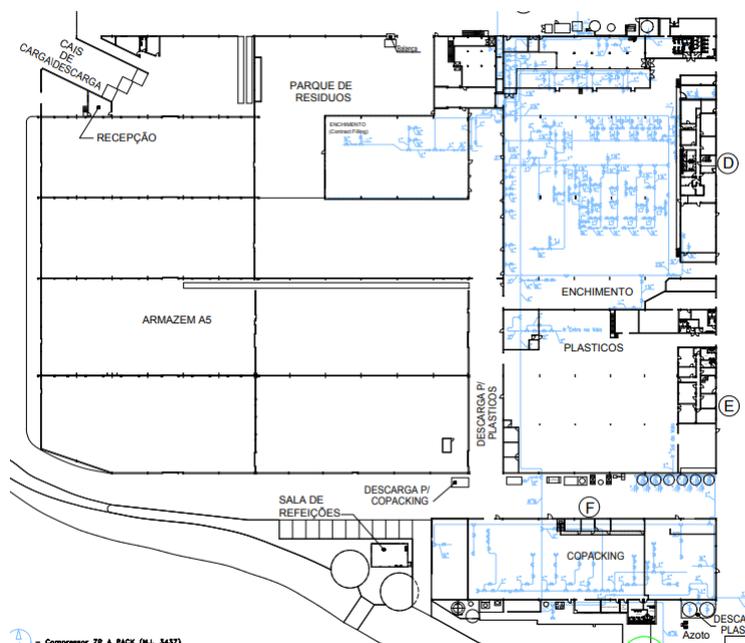


Figura 3.1: *Layout* fábrica da Colep CP

A sala dedicada ao ar comprimido é constituída por 5 compressores de ar, que consomem energia elétrica para comprimir o ar até à pressão pretendida - 7 bar. Os compressores da sala apresentam diferentes características de caudal debitado, rendimento e consumo elétrico. Não é possível identificar qual/quais são os compressores que estão a alimentar a *Consumer Products* numa dada altura.

Salienta-se o facto do contador de ar comprimido (AC) não estar corretamente calibrado para a dimensão da conduta, pelo que o valor obtido é cerca de 10x menor do que o valor real. O acerto é conseguido através do ajuste no valor cobrado por cada m^3 de ar consumido, realizado pelo responsável de energia do *Packaging*. A incerteza associada a este procedimento pode conduzir a uma sobre taxa. No entanto, a fábrica de enchimento não incorre qualquer custo com a manutenção dos compressores de ar pelo que se considera uma situação favorável para a unidade industrial em análise.

O gás natural chega às instalações da unidade industrial de Vale de Cambra através de uma conduta que pertence à empresa que explora este abastecimento. O valor que ambas unidades industriais consumiram é agregado e saldado pela fábrica de plásticos e metais que envia mensalmente à Colep CP o valor a ser pago. O valor médio gasto no ano de 2022 foi de 0.85 €/m^3 .

Quanto à geração de vapor e conseqüente consumo de gás natural é possível verificar que a unidade industrial em estudo tem 3 caldeiras antigas de vaporização rápida com capacidade teórica de 600kg/h. Estes equipamentos não garantem a funcionalidade estável e o desempenho real em kg/h é diminuto comparado com o desempenho teórico. Devido à grande variação de necessidades de vapor e à necessidade diária contínua, constata-se um elevado número de paragens não planeadas na produção e constantes quebras nas caldeiras provocando problemas críticos de

fiabilidade .

Relativamente ao consumo de energia elétrica, a abordagem é mais simplificada. O posto de transformação dispõe de três disjuntores alocados à unidade de enchimento. O primeiro é dedicado às 6 linhas de enchimento de aerossóis cosméticos, identificadas por LA (linhas de aerossóis) e o respetivo número, à mais recente linha de enchimento de líquidos, às duas formulações (aquosa e alcoólica), à ETARI (Estação de Tratamento de Água Residual industrial) e ao centro de investigação e desenvolvimento. Todas as zonas supra transcritas são sujeitas a monitorização em tempo real, conseguida através da plataforma desenvolvida pela empresa *Infocontrol*. O segundo disjuntor, dedicado ao consumo elétrico "não controlado", isto é, para o qual não existe registo e acompanhamento do consumo, serve o parque de gás, o laboratório, os usos gerais, os escritórios e os seus ar condicionados, o *chiller*, o secador de ar comprimido, as luzes, os portões de emergência e ainda a linha de líquidos 1 ou *Britvic* como é conhecida internamente. A soma dos consumos registados em cada área é 5.88% inferior ao valor registado pelo disjuntor pelo que foi atribuído o rótulo de "restante" a esta percentagem. Por último, existe um disjuntor reservado para o armazém utilizado pela *Consumer Products*, o armazém A5.

Distribuição do Consumo de Energia - 2022

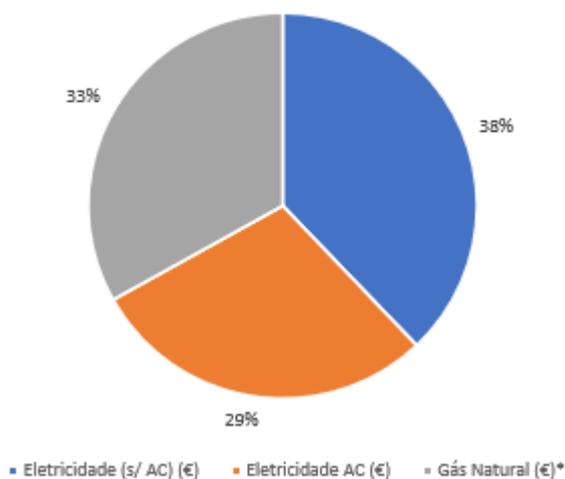


Figura 3.2: Distribuição Consumo Energia CCP 2022

3.2 Sistema de gestão de energia

A energia elétrica é considerada um recurso essencial ao correto funcionamento de uma unidade industrial. Assim, a implementação de um sistema de gestão de energia é mandatária em qualquer fábrica que procure maximizar o seu custo de oportunidade e requer uma análise prévia extensiva que permita analisar a eficiência dos equipamentos, caracterizar e quantificar os consumos energéticos e ainda detetar e contabilizar os desperdícios atuais.

As ferramentas utilizadas atualmente, tais como a plataforma *Infocontrol* e a leitura de caudalímetros são insuficientes para conduzir uma auditoria energética só por si, quer pela indisponibilidade de transferir dados diretamente do software, quer pela utilização de contadores subdimensionados para as condutas existentes. Adicionalmente, o fornecedor de eletricidade e de gás natural é a empresa que partilha o mesmo espaço, a Colep Packaging, que pratica um preço médio do kWh e do m³, o que inviabiliza poupanças inerentes à utilização de uma tarifa tri ou bi fásica.

Assim, foi estipulado um conjunto de ações baseado na norma ISO 50001:2018 que visam aumentar o conhecimento do sistema energético da unidade industrial em estudo. Este acompanhamento deve seguir um conjunto de etapas previamente definidas:

1. Extração de informação:

- Visualização e compreensão do processo produtivo.
- Quantidades já produzidas e ordens de produção.
- Conceptualização de atividades de apoio ao fabrico (ETARI, por exemplo).
- Registo dos consumos de todos os equipamentos considerados essenciais ao correto funcionamento da operação.

2. Tratamento e análise da informação:

- Determinar relações entre energia consumida com a quantidade e o tipo de unidades produzidas.
- Análise *Pareto* que identifica os maiores consumidores da linha.

3. Extração de conclusões e ações de melhoria:

- Propostas ações de melhoria que procuram standardizar os processos
- Sugestão de possíveis economias de energia, divididas em soluções sem qualquer custo, custo moderado e custo elevado.

3.3 Aplicação dos conceitos de qualidade

O sistema de produção implementado pela *Toyota* introduziu os 3Ms do *Lean*, diretamente relacionados com o desperdício e inconsistência nos processos das empresas. O primeiro, já abordado, é o conceito de *Muda*, isto é, desperdício. O segundo, o conceito de *Mura*, significa variabilidade e está intrinsecamente conectado com a oscilação de parâmetros nos processos, o que por sua vez leva a dificuldades na previsão de resultados e variações inesperadas. Por último, *Muri* significa sobrecarga dos funcionários (física e mental) e das máquinas.

Analisado os processo de mudança de turno e as etapas realizadas para desligar uma linha de enchimento, identifica-se uma grande variabilidade nos parâmetros do processo, isto é, na ordem como as máquinas são desligadas e também quais os equipamentos que deverão ser colocados em *stand by* durante períodos de pausa. Estas oscilações afetam diretamente os consumos energéticos

e podem também afetar a qualidade do produto final, introduzindo o conceito de *Mura*. De facto, um banho que tenha sido desligado durante um período de descanso e seja utilizado sem que seja verificada a sua temperatura, não irá atingir a valor mínimo requisitado para realizar os testes de segurança obrigatórios.

3.4 Análise dos consumos de energia por setor

O consumo elétrico total registado no ano de 2022, fez um total de 1453.96 MWh. Este consumo pode ser dividido em gastos com compressores e em gastos energéticos associados ao enchimento, formulação, armazém, ETARI e ainda, não controlado.

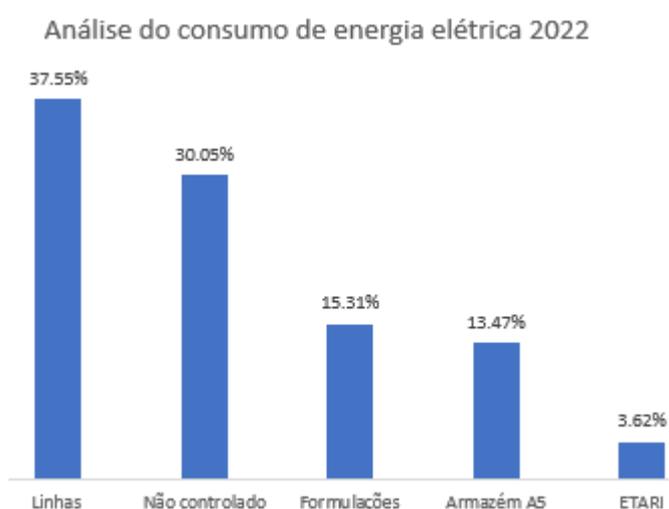


Figura 3.3: Análise Consumos por Setor

De uma rápida análise do gráfico supra transcrito verifica-se que o maior consumo, correspondente a 37.55% do consumo total, está relacionado com as linhas de enchimentos de produto.

Tabela 3.1: Análise dos maiores grupos de consumos nas linhas

	LA6	LA5	LA4	LA3	LA2	LA1	LL2
Transportadores	13.02%	9.75%	7.75%	16.57%	8.29%	8.33%	19.03%
Máquina de tabuleiros	7.69%	16.46%	53.72%	7.11%	5.45%	20.59%	19.19%
Máquina de filme	30.76%	19.75%	14.77%	28.45%	19.99%	24.70%	2.48%
Máquinas usos gerais	13.90%	26.86%	8.24%	15.57%	51.53%	31.35%	36.95%
Bomba de produto	7.69%	5.33%	3.45%	14.34%	4.00%	5.70%	14.18%
Turbinas	13.33%	4.61%	2.95%	5.22%	4.00%	4.53%	0.00%
Outros	13.62%	17.24%	9.11%	12.73%	6.74%	4.80%	8.16%

Através do mapeamento realizado às linhas observou-se os consumos teóricos máximos de cada componente da linha de produção com recurso às respetivas chapas características, independentemente de estarem ligados ou desligados. Nos elementos em que as chapas se encontravam inacessíveis ou ilegíveis a informação foi extraída dos manuais dos equipamentos.

O grupo com maior gasto médio foi o das máquinas de usos gerais, isto é, máquinas de inserção de produto, máquinas de inserção de gás, máquinas de válvulas, atuadores e tampas bem como os respetivos elevadores e *sorters*. As linhas foram pensadas para encher qualquer tipo de lata, independentemente dos seus requisitos, pelo que nem todas as máquinas estarão ligadas durante a produção. Assim, dado o elevado número de componentes que constituem uma linha de enchimento, é expectável que este conjunto de equipamentos apresente o maior consumo teórico.

O segundo maior consumo teórico e o principal consumo prático, a *shrink wrapping machine* ou máquina de filme e forno é caracterizada por ter 4 resistências elétricas, de 2.5kW cada. O propósito deste equipamento é filmar um conjunto de latas e aquecer o mesmo de forma a que o filme seja aplicado corretamente. O seu uso adequado garante que as latas chegam ao seu destino final em conformidade com as especificações impostas pelo cliente.

As resistências elétricas estão, inicialmente, em funcionamento constante e aumentam a temperatura desde o ambiente até à temperatura de *setpoint* - 150°C. Uma vez que este valor é alcançado, as resistências irão ligar e desligar de um modo intermitente, para que o forno se mantenha a uma temperatura constante.

A LL2 não possui forno pelo que o seu gasto energético é consideravelmente mais baixo.

É também relevante analisar os consumos relacionados com a máquina de tabuleiros. O elevado gasto energético provém da utilização de braços mecânicos para levantar as latas até uma altura pré-determinada e para empurrar o tabuleiro, previamente feito, para o local pretendido.

A máquina de tabuleiros da linha LA4 é um *outlier* dado que tem um sistema que permite montar os tabuleiros a utilizar. São utilizadas resistências elétricas para aquecer e manter a temperatura da cola a 60°. Esta cola é posteriormente aplicada ao cartão, culminando com um tabuleiro pronto a ser utilizado. Adicionalmente, a *tray machine* mencionada permite colocar um maior número de latas em tabuleiros, de uma só vez.

Tabela 3.2: Análise dos consumos elétricos não sujeitos a análise em tempo real

Zona	%
Parque de Gás	8.75%
Laboratório	9.38%
Escritórios	2.50%
Ar Condicionado primeiro piso	2.50%
Água quente	0.25%
Usos gerais	9.38%
Luzes	10.38%
Portões corta-fogo	1.00%
Secador de ar comprimido	15.63%
<i>Chiller</i>	21.88%
<i>Britvic</i>	12.50%
Restante	5.88%

Relativamente ao consumo descrito como "não controlado", isto é, elementos cujo consumo instantâneo e acumulado não pode ser consultado em tempo real, verifica-se que o elemento responsável por maior consumo é o *chiller*, cuja função é arrefecer água utilizada na formulação. Após a separação da Colep em duas unidades de negócio separadas, o *chiller* adjudicado ao enchimento está sub dimensionado para as necessidades atuais de arrefecimento. Adicionalmente, os vários anos em funcionamento levam a um aumento de perdas e a uma maior ineficiência.

Segue-se o secador de ar comprimido, que remove a possível humidade que o ar saído dos compressores tenha adquirido durante o seu transporte pelas tubagens. Instalado por requisito de um cliente e apenas ligado aquando da produção de latas para o mesmo, o seu elevado consumo é explicado através da necessidade de debitar um caudal elevado o suficiente para alimentar todas as linhas em simultâneo (uma vez que se filtra a totalidade do ar ou nenhum ar). Assim, são necessários motores e filtros em grande escala, o que culmina num consumo extremamente elevado.

Por último, a linha de líquidos 1, também denominada como *Britvic*, tem o terceiro maior consumo do grupo dos não controlados. Responsável pelo enchimento de líquidos não cosméticos, esta linha foi montada com os equipamentos mais antigos e com menor cadência dada a sua localização e a sua ocupação reduzida. O consumo verificado advém de transportadores, máquinas de produção e bombas de produto.

Tabela 3.3: Análise dos consumos na formulação

	Processo Formulação [kWh/ano]	Ventilação da Formulação [kWh/ano]
Formulação Aquosa	45578.08	25415.82
Formulação Alcoólica	112225.51	35245.59

A formulação é o local onde os componentes necessários para formular o produto são misturados e trabalhados, até se alcançarem as características pretendidas do produto final. O seu consumo elétrico divide-se em duas componentes de maior relevo: o processo de formulação propriamente dito e a ventilação associada.

Consta-se que no processo de formulação aquosa, a formulação em si representa cerca de 64.2% do consumo final. Nesta formulação verifica-se uma tendência da ventilação acompanhar a formulação e um fenómeno de abrandamento do consumo de energia por parte da ventilação, quando o processo de formulação funciona mais intensamente.

À semelhança do exposto previamente, a formulação alcoólica estará também dividida no processo de formulação (correspondente a 76.1% do consumo total) e na ventilação associada. Salienta-se que as identificações elétricas dos quadros não estão atualizadas, não se conseguindo apurar a natureza dos consumos de energia quanto à ventilação dedicada aos vários tanques de formulação.

Ambas as formulações estão equipadas com um autómato, que desliga automaticamente a ventilação entre o período das 00:00 e as 06:00, no caso de não haver qualquer produto a ser formulado.

Tabela 3.4: Distribuição percentual do consumo no armazém A5

Consumo	ON
Cais	54.23%
Ferramentaria	30.23%
Transportador	15.54%

O consumo do armazém A5 pode ser dividido em três parcelas. A que tem maior contributo para o consumo energético é o cais. De facto, o cais de receção de mercadoria serve ainda de escritório para três colaboradores, como zona de reuniões para a equipa do armazém e ainda como zona de carga e descarga, que requer iluminação constante e uma grande utilização dos portões acionados eletricamente. A soma de todas estas pequenas parcelas traduz-se no consumo mais significativo desta zona da unidade industrial.

A ferramentaria, ao qual corresponde 30.23% do consumo total do armazém, é o local onde são armazenadas peças para manutenções de máquinas realizadas pela equipa da manutenção e mecânicos. Para o efeito, foi utilizada um armazém vertical, com a opção de se deslocar na horizontal em cada patamar. O utilizador pode definir o formato das zonas dentro de cada andar bem como indicar a sua capacidade máxima. Quando há necessidade de alcançar as peças armazenadas, basta seleccionar no controlador que as irá recolher e devolver ao andar 0.

O elevado consumo deve-se ao facto deste armazém estar organizado por tipos de peça, isto é, todos os parafusos estão juntos, todas as correias de distribuição estão juntas, etc. Assim, quando é necessário mais do que um componente para reparar um máquina, é adquirido que a plataforma que retorna os artigos ao piso térreo terá que fazer mais do que uma viagem.

Por último, o transportador, caracterizado por 54 motores de acionamento elétrico de baixa potência, transporta paletes de produto final desde o início do armazém até a um ponto mais central. Este serve dois propósitos: impedir a entrada a colaboradores da Colep *Packaging* no armazém A5 - caso haja necessidade de armazenar uma paleta basta deixá-la no transportador, localizado no portão de entrada do armazém. Adicionalmente, permite também que seja carregado/descarregado um camião durante o tempo de transporte da paleta, facilitando deste modo a operação logística.

Finalmente, a ETARI apenas apresenta consumos relacionados com iluminação, tomadas e uma filtro prensa cuja função é formar aglomerados de lama para serem tratados por uma empresa externa à operação. Naturalmente, o maior consumo está relacionado com a prensa, cerca de 80% do consumo total, verificado através das leituras realizadas.

3.5 Processos produtivos utilizados

O processo do enchimento de aerossóis é um processo produtivo único. O primeiro passo para eliminar o desperdício energético é a elevada compreensão deste procedimento e a definição de *benchmarks* que sirvam de *baseline* para definir objetivos de redução do consumo energético.

De um modo geral, este processo inicia-se pela seleção de válvulas, seguido do enchimento de latas, que foram colocadas na mesa de alimentação, com produto e a subsequente cravação da válvula. A lata dirige-se para o enchimento de gás, pesagem e banho onde são realizados testes que garantem que não há fugas para pressões e temperaturas elevadas. De seguida, poderá, ou não, ser adicionados atuadores e tampas. Os *inkjetters* adicionam um código na parte inferior da lata que serve como garante do local de produção e da origem dos aerossóis. De acordo com as especificações do cliente, o produto final poderá ser embalado em caixas, tabuleiros ou em filme.

O processo realizado nas linhas de líquidos é semelhante ao realizado nas linhas de aerossóis, com uma notável exceção, não existe passagem pela cabine de gás. Como os produtos formulados poderão apresentar características diferentes, aliado ao facto de haver diferentes especificações exigidas por diferentes clientes, é expectável que haja uma grande variação dos consumos energéticos de acordo com cada ordem de produção.

O abastecimento de produto a ser introduzido na fase inicial de fabrico pode ser feito de uma forma automática, com recurso a bombas elétricas que transportam os produtos desde tanques situados na zona de formulação até à zona de produção. A alimentação poderá também ser feita de uma forma manual, recorrendo a uma bomba e tanque móveis com produto.

Por uma questão de segurança, o abastecimento de gás para ser utilizado na *gas house* é sempre realizado de forma automática, quer seja proveniente do parque de gás ou do mini parque de gás.

O processo de alimentação de máquinas de válvulas, tampas, atuadores é realizado manualmente por um operador. Este material é introduzido diretamente numa zona "pulmão" do elevador e são posteriormente escolhidas no *sorter* antes de serem enviadas para a máquina.

A máquina de filme e as máquinas de tabuleiros têm de ser recarregadas com filme e tabuleiros respetivamente de uma forma manual.

3.6 Análise de capacidade do processo

O processo de transformação de uma lata num aerossol pronto a ser expedido é complexo e envolve equipamento de diferentes fornecedores, com características e capacidades distintas. Assim, é essencial analisar detalhadamente a variabilidade dos processos e eliminar consumos excessivos sem comprometer as especificações requeridas pelo cliente e os tempos de entrega previamente definidos.

Para explorar os resultados obtidos, foi calculada a média e a variabilidade da potência total consumida, de acordo com as fórmulas introduzidas no capítulo 2.4. Os resultados da análise efetuada nas linhas de aerossóis (LA) podem ser encontrados na seguinte tabela:

Tabela 3.5: Análise dos limites de potência consumida, em intervalos de 15 minutos

	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6
LCL	2,28	1,47	2,84	7,07	6,50	0,80
CL	8,61	7,78	6,34	8,68	9,74	6,55
UCL	14,94	14,09	9,85	10,29	12,98	12,31

A linha de enchimento de aerossóis número cinco, tem novos equipamentos que lhe permitem atingir uma cadência superior a qualquer outra, no entanto, como é possível verificar pela tabela é a que apresenta maior consumo médio. Já a LA2, está atualmente equipada com três etiquetadoras que funcionam em paralelo quando ligadas, no entanto, produtos como o shampoo seco alocado a esta linha não exigem que as mesmas estejam em funcionamento, pelo que o seu desvio padrão é superior ao registado em qualquer outra linha.

3.7 Monitorização e controlo existentes relativos aos consumos energéticos

A monitorização implementada na unidade industrial de Vale de Cambra, assenta em leituras provenientes de contadores físicos. A plataforma do *BeEnergy*, na qual estão todos os dados relativos aos consumos elétricos instantâneos e acumulados bem como o total de m^3 de ar comprimido consumidos, registou os primeiros dados no mês de Janeiro de 2020.

A partir de Maio de 2021 estas leituras, em conjunto com o número de latas enchidas, são introduzidas numa folha cálculo, que permite inferir a potência teórica consumida e calcular eventuais desvios. Já em Outubro do mesmo ano surgem os primeiros KPIs através dos quais foram definidas metas de objetivos energéticos. O indicador da eletricidade é obtido através do rácio entre a energia total gasta, em kWh, e o número total de peças produzidas, em milhares de unidades. O indicador do ar comprimido será obtido através do quociente entre o número de m^3 gastos a multiplicar por um fator de conversão de m^3 para kWh e o número total de peças, em milhares de unidades.

O controlo da energia consumida realizado até Maio de 2021, da responsabilidade do departamento de energia divisional, isto é da fábrica da *Consumer Products* e do *Packaging*, apenas analisava o total de eletricidade e de ar comprimido consumidos mensalmente. Assim, dado que não estava a ser realizada uma auditoria exaustiva, não era possível analisar os consumos por zona e detetar eventuais custos associados à improdutividade.

Com a divisão das empresas, surge a necessidade de analisar os consumos relacionados com processos produtivos e externos ao processo, visto que deixaram de estar abrangidos pelo departamento de energia e que representam um custo significativo da operação

3.8 Análise de Pareto dos custos energéticos

O princípio desenvolvido pelo economista italiano Vilfredo Pareto no ano de 1896, estabelece que uma pequena parte das causas contribui para uma grande parte dos defeitos. De forma a estudar a aplicação do pressuposto apresentado, realizou-se a recolha do consumo elétrico de todos os elementos intervenientes no processo de mutação de uma lata para um aerossol, desde o momento da sua formulação até ao momento da sua expedição.

Adicionalmente, foi analisada a forma como o consumo varia com 1000 unidades produzidas. Os resultados obtidos podem ser observados na seguinte tabela:

Zonas	kWh/1000unid	% Relativo	% Acumulado
A5 Warehouse	3.13	15%	15%
LA5	2.26	11%	26%
Alcoholic Formulation	2.11	10%	36%
LA3	1.55	7%	43%
LA2	1.35	6%	49%
Chiller	1.33	6%	56%
LA6	1.27	6%	62%
Water Formulation	0.96	5%	66%
Compressed Air Dryer	0.95	5%	71%
LA1	0.83	4%	75%
Britvic	0.76	4%	78%

O princípio de *Pareto* estabeleceu a ordem pela qual foram estudadas as várias zonas e identificadas as respetivas fontes de energia, bem como as suas principais utilizações. Esta análise permitiu o desenvolvimento de diferentes cenários, organizados por recurso energético consumido e custo de implementação que culminaram no cálculo dos *payback times*. Após a recolha de todas as informações a sua priorização foi auxiliada por uma matriz de *Eisenhower* que divide o trabalho em quatro quadrantes distintos - urgente e importante, urgente e não importante, não urgente e importante, não urgente e não importante. Assim, foi possível definir uma ordem cronológica pela qual se realizou o estudo das hipóteses desenvolvidas.

3.9 Análise aos consumos de energia de equipamento elétrico

Numa fase inicial, foi recolhida a potência nominal de todos os equipamentos das linhas, através da chapa característica das mesmas, com o intuito de identificar e detetar os principais responsáveis pelo consumo elétrico. Para complemento da análise, foi desenvolvida uma folha de cálculo com o propósito de calcular o número teórico de unidades produzidas com base no seu consumo elétrico, no regime de trabalho e em produções passadas. Deste modo, é possível detetar qualquer oscilação relativamente ao valor esperado teórico e atuar sobre a mesma num curto espaço de tempo.

A idade do equipamento, a sua disponibilidade e o operador que manuseia a máquina são fontes de variabilidade do consumo, pelo que foram utilizados equipamentos de medição, que oferecem um grau de precisão superior e permitem a observação do fator de potência, corrente e tensão por fase em tempo real e ainda a leitura da potência acumulada durante um período inferior ou igual a sete dias .

Foram identificados os equipamentos cujo o consumo anual em função dos milhares de unidades produzidas excede a média e foram analisados e criados cenários para a sua substituição ou para melhoria da sua utilização com objetivo de rentabilizar a elevada aplicação de recursos. Estes cenários, analisados nas medidas de investimento elevado, contaram com a utilização de um aparelho de medição que permitiu estimar, de uma forma precisa.

3.10 Resultados dos indicadores no passado

Em 2021 ficou definido o indicador que relaciona o consumo elétrico e o consumo de ar comprimido com o nível de produtividade registado na fábrica. Analisando o histórico apresentado é possível inferir que no ano de 2021 a média do *KPI* da eletricidade foi de 18.3 kWh/kUn e a média do *KPI* do ar comprimido foi de 15 kWh/kUn. Em 2022 verificou-se uma subida nos valores destes indicadores, cuja média passou a ter os valores de 21.9 kWh/kUn e 16.7 kWh/kUn respetivamente.

Até ao mês de Abril de 2023 foram registados os valores para os indicadores 22.3 kWh/kUn e 16 kWh/kUn. A meta definida para 2023 é 19.7 kWh/kUn para a eletricidade e de 14.3 kWh/kUn para o ar comprimido.

Os valores destes indicadores serve de base de referência para implementação de futuras melhorias.

Tabela 3.6: Análise KPIs de eletricidade e de ar comprimido

Mês	2021		2022		2023	
	Eletricidade	Ar Comprimido	Eletricidade	Ar Comprimido	Eletricidade	Ar Comprimido
Janeiro	-	-	21.1	17.4	26.5	17.6
Fevereiro	-	-	18.6	14.2	23.3	14
Março	-	-	20.3	16.2	17	16.4
Abril	-	-	23.5	15.4	-	-
Maio	-	-	21.6	9.4	-	-
Junho	-	-	22.5	18.3	-	-
Julho	-	-	18.7	15.6	-	-
Agosto	-	-	19.4	17.2	-	-
Setembro	-	-	24.3	17.9	-	-
Outubro	18.7	15.5	23.6	18.4	-	-
Novembro	16.8	14	23.6	18.7	-	-
Dezembro	19.5	15.5	25.7	22.2	-	-
Média	18.3	15	21.9	16.7	22.3	16

3.11 Mapeamento, análise e identificação do desperdício

Value stream mapping (VSM) é uma ferramenta *Lean* que recorre a um fluxograma para ilustrar, analisar e melhorar o curso de pessoas, materiais e informação, essenciais para o correto funcionamento de uma unidade industrial. Deste modo, é possível inferir quais as etapas que acrescentam valor aos seus processos enquanto que, em simultâneo, encontra restrições que limitam o custo de oportunidade da fábrica.

No âmbito deste projeto foi mapeado e analisado o fluxo de processos nas diversas áreas produtivas, tais como as linhas de enchimento e também nas áreas de apoio, tais como a ETARI. Estas observações foram realizadas com o intuito de identificar as zonas onde se verifica maior consumo energético, onde existe oportunidades de melhoria e também de desenvolver soluções para redução do desperdício. Uma vez vencida a etapa supra transcrita, foram identificados os consumos mais elevados e foram definidas ações que aumentam a eficiência da unidade industrial em análise.

O tipo de produto a formular tem um papel preponderante no consumo da formulação. De facto, as diferentes viscosidades e tempos de preparação das distintas fórmulas utilizadas pelo vasto leque de clientes e ainda as condições de temperatura e humidade verificadas dentro da sala de formulação levam ao registo de resultados variáveis do gasto energético. Assim, utilizou-se a extração da formulação como *benchmark* para comparação dos dados obtidos pelos contadores disponíveis na plataforma *BeEnergy*. A extração é caracterizada por estar sempre desligada no período compreendido entre as 00h e as 06h e ligada quando se encontra um produto a formular, pelo que o seu consumo é considerado previsível e homogéneo. Verifica-se que, independentemente da base do produto a formular (alcoólica ou aquosa), pelo menos 60% do consumo total corresponde ao processo de formulação, que envolve motores de grandes dimensões, com potências nominais

que variam entre os 15kW e os 35kW para alimentação trifásica, responsáveis por criar movimento nas pás rotativas e transportar o produto até à linhas de produção.

No processo de enchimento os consumos mais significativos encontram-se nas resistências elétricas das *shrinkwrappers* e nos motores dos transportadores, responsáveis por conduzir a embalagem durante o processo de mutação de uma lata vazia para um aerossol. Já no armazém, os consumos mais significativos são provenientes da iluminação, que é caracterizada por lâmpadas estanques e pela sua elevada taxa de utilização. Uma unidade industrial dedicada ao enchimento de aerossóis e líquidos é caracterizada pelo seu elevado consumo de vapor - utilizado para aquecer a água dos banhos, estufas e produtos a formular - e ar comprimido - utilizado para limpeza, vibradores, e acionamento pneumáticos. Juntos, no decorrer do ano de 2022 perfizeram perfazem 62.1% do total do consumo energético da fábrica de Vale de Cambra.

Uma análise detalhada ao gasto energético permitiu inferir que:

- Gás Natural
 - Há falta de mantas térmicas para diminuir as perdas de temperaturas associadas à longa tubagem de transporte desde a casa das caldeiras até aos banhos da produção.
 - Os banhos demoram cerca de 1 hora a aquecer, no entanto, são ligados em média com 1h30 de antecedência.

- Ar comprimido
 - Existe utilização indevida de ar comprimido para fazer vibrar os transportadores, que por vezes permanecem ligados mesmo que não estejam a transportar qualquer produto.
 - Foram identificadas diversas fugas de ar comprimido

Para promover uma análise detalhada foi extrapolado o consumo das fontes de energia no ano de 2022 e o numero total de unidades cheias durante esse ano. Com recurso a uma regressão linear desenvolvida no *software R Studio* obteve-se uma relação que permite inferir os consumos fixos de ar comprimido e de gás natural. O acompanhamento constante deste indicador é essencial para observar, na primeira mão, os resultados dos cenários propostos e agir com a maior brevidade possível.

Os valores observados indicam que, praticando o custo médio do gás natural e do ar comprimido foram gastos 463m³ de gás natural e 682.46m³ de ar comprimido em atividades de desperdício.

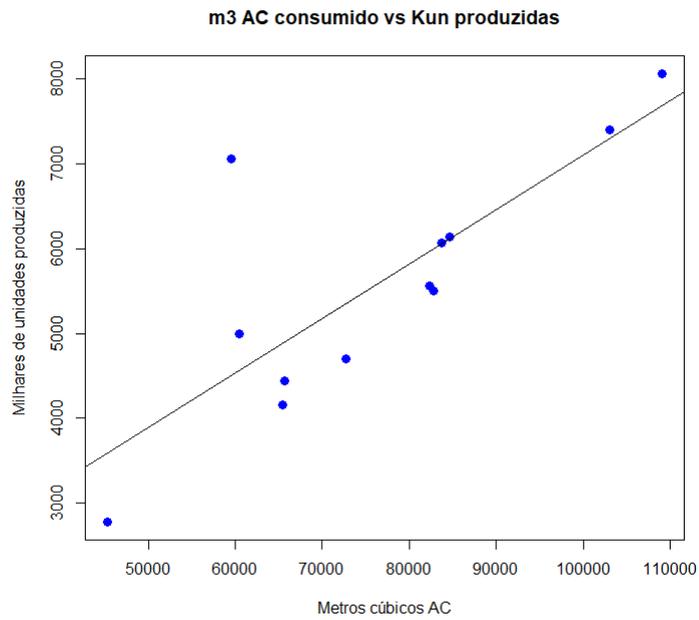


Figura 3.4: Ar comprimido vs número total de peças produzidas

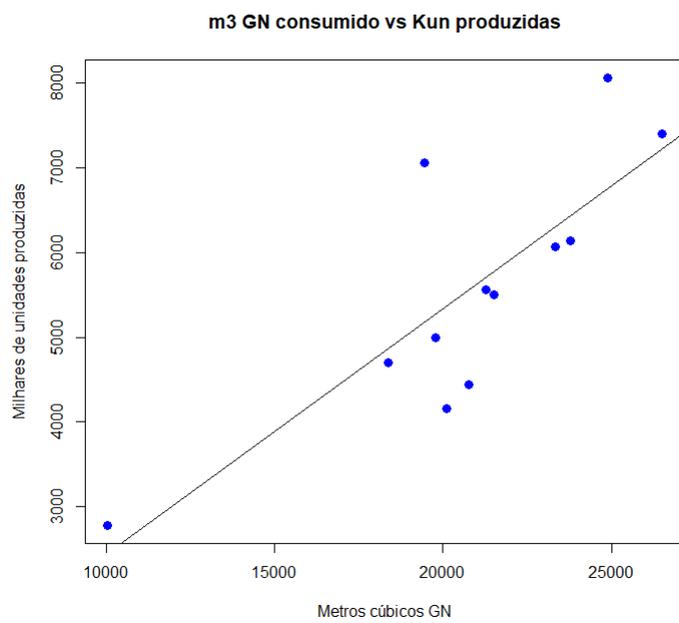


Figura 3.5: GN vs número total de peças produzidas

3.12 Pontos de melhoria

A unidade industrial de Vale de Cambra conta com três pontos essenciais para melhoria dos resultados energéticos obtidos, os quais serão identificados neste subcapítulo.

A falta de monitorização da qualidade da água retirada dos furos e a falta de manutenção realizada ao sistema de tratamento de conversão de água bruta para água tratada, compromete o correto funcionamento das caldeiras de vaporização rápida. Efetivamente, valor da dureza e do pH acima dos indicados pela marca, resultam no entupimento da serpentina, da rede de distribuição de vapor e condensados o que resulta na diminuição da eficiência do processo de produção de vapor e o conseqüente incremento no gasto de gás natural.

O ar comprimido, utilizado com elevada frequência em todas as atividades realizadas na UI, é o maior custo energético da empresa, dado o elevado número de fugas e a elevada distância da fábrica à sala de compressores. A perda de pressão que ocorre durante o transporte, afeta a longevidade das máquinas que contêm acionamentos pneumáticos e podem ficar danificadas por trabalhar abaixo da pressão indicada.

A falta de caudalímetros de gás natural e ar comprimido instalados em pontos essenciais de análise como as entradas das linhas e das formulações, impede que seja realizado um acompanhamento contínuo dos gastos que relacione acontecimentos chave com o aumento dos recursos despendidos.

Nos capítulo seguinte é analisado em detalhe cada uma das fontes de energia.

Capítulo 4

Melhorias propostas

O presente capítulo tem como objetivo apresentar e discutir as sugestões de melhorias identificadas durante o período de estágio, baseadas em lacunas e limitações encontradas na realidade vivida, que serão apresentadas de forma clara e objetiva. Assim, inicia-se o capítulo pelos pressupostos implementados bem como a demonstração das bases utilizadas para definir os diferentes cenários criados, que são posteriormente analisados em detalhe.

4.1 Pressupostos

Os projetos de engenharia envolvem a definição de pressupostos para simplificação dos problemas apresentados, uma vez que abrangem um número elevado de variáveis correlacionadas. A redução da complexidade permite que o trabalho elaborado seja conseguido de um modo ágil e eficiente e o seu resultado seja pertinente na resolução do problema em análise.

De forma análoga, o desenvolvimento de cenários para análise dos consumos das fontes de energia numa unidade industrial, presume a escolha e utilização de alguns pressupostos. A duração do estágio, o facto da unidade de plásticos servir de intermediário entre a unidade de enchimento e o fornecedor bem como algumas limitações encontradas são fontes de variabilidade nas hipóteses apresentadas pelo que foram definidas condições prévias utilizadas no decorrer do projeto.

Pressupostos gerais:

- O período de trabalho na fábrica é de 16 horas por dia útil. Não são realizados trabalhos em dias de fim de semana.
- A ferramentaria, armazém vertical utilizado pela manutenção para armazenar *spare parts* está em funcionamento duas horas por semana.
- Nos escritórios, as janelas ocupam 10% da fachada.
- Para efeitos de cálculo, foi definido que o MTBF (tempo médio entre falhas) de um motor de um transportador é de 10 anos.

- 10% do volume total de gás natural e ar comprimido produzido anualmente é perdido para fugas na sua rede de distribuição.
- A percentagem de aerossóis rejeitados pelo controlo de qualidade é extremamente reduzida, no entanto, existe uma percentagem de produto final considerado não conforme pelo cliente, que não pode ser desprezado. A elevada complexidade e cadência de uma linha de enchimento são dois dos principais fatores que dificultam a observação das imperfeições e, por consequência, a taxa de rejeitados pelo que, para efeitos de cálculo, foi contabilizada uma perda de 5% do número total de produtos finais expedidos.

Custos:

- O preço de cada kWh consumido é de 0.11€/kWh.
- O preço de cada m³ de gás natural utilizado é de 0.85717€/m³.
- A unidade industrial em análise tem um retorno de 0,5€ por cada aerossol concluído, independentemente da quantidade enchida, produto formulado e do cliente.

Grandezas físicas:

- *Solar heat gain coefficient* (SHGC) das janelas da UI é de 0.5.
- O coeficiente de convecção de um tubo com diâmetro de 65cm é de 10 W/(m²)K, sem isolamento e de 4 W/(m²)K, no caso de o ter.

4.2 Gás Natural

O gás natural, cuja fonte de consumo são as caldeiras de vaporização rápida que fornecem gás natural para a UI, é responsável por 33.1% do valor final da fatura mensal. A sua rede de distribuição é antiga e altamente complexa, no entanto, numa fábrica de enchimento, o vapor de água é considerado essencial para aquecer a água até à temperatura requerida para realizar testes que simulam as condições de transporte dos aerossóis e para aquecer produtos a formular. Assim, foi estudada em detalhe o funcionamento das caldeiras, a rede de transporte de vapor até aos coletores e a rede de retorno de condensados e foram desenvolvidos cenários que foram divididos pelo seu custo de implementação.

4.2.1 Medidas sem investimento

Os colaboradores da Colep CP desempenham diversas funções num dia de trabalho, o que promove o seu sentido de responsabilidade, trabalho em equipa e incrementa o seu desenvolvimento pessoal e profissional. Com efeito, um colaborador que desempenhe as suas funções no primeiro turno é também responsável por realizar o *setup* da linha, isto é, garantir que a máquina de filme e o forno estão às temperaturas necessárias para o seu correto funcionamento, verificar o estado

de todos os transportadores e limpá-los, assegurar que todas os equipamentos estão devidamente alimentados e realizar inspeções visuais sobre o estado de toda a linha e reportar, caso necessário, à equipa de manutenção o encontrado. O trabalho de toda a equipa Colep CP Vale de Cambra não é refletido na qualidade do vapor, uma vez que não é possível realizar inspeções visuais e que casa das caldeiras encontra-se à parte do pavilhão de produção pelo que, qualquer intervenção necessária é realizada pela equipa de mecânicos.

No ano de 2022 foi gasto 43256€ em intervenções realizadas nas caldeiras de vaporização rápida. A atual política de manutenção não prevê quaisquer ações preventivas, isto é, não é analisado o sistema de tratamento de água, não são recolhidos periodicamente parâmetros da água, não são realizadas purgas periódicas às caldeira e não se realizam inspeções visuais. Assim, foram desenvolvidas ações de manutenção preventiva consideradas essenciais e que assentam em três tipo de frequência de realização. Numa base diária deve ser analisado um teste ao pH e à dureza da água de alimentação das caldeiras para garantir conformidade com as especificações enviadas pelo fornecedor, isto é, o pH deverá estar compreendido entre o valor de 8.5 e 9.5 e o valor da dureza deve ser inferior a 0.1ºdH. É necessário verificar que a pressão da caldeira não ultrapassa o valor de referência de 8 Bar, para não danificar as tubagens antigas existentes e realizada uma purga às caldeiras quando as mesmas são desligadas. Num espetro mensal, devem ser recolhidas amostras mensais de água, por uma empresa certificada que poderá realizar um estudo mais detalhado das suas características cuja evolução é contínua com o tempo. Finalmente, todos os anos devem ser analisadas as purgas de vapor, responsáveis por separar água no estado líquido do estado gasoso e pelas fugas na rede de abastecimento à UI. O que não pode ser medido, não é mensurável pelo que foram definidos 2 KPIs: percentagem de manutenção planeada ((Número de horas de manutenção planeadas / Número total de horas de manutenção)*100) e a taxa de conformidade da manutenção preventiva (numero de tarefas concluídas / numero de tarefas agendadas)*100). Apesar dos tempos de paragem serem mandatários para realização das tarefas supra transcritas este tempo é muito inferior ao tempo de uma pausa inesperada e não envolve custos de ter material armazenado nem de contratar técnicos especializados para resolução do problema, pelo que se estima uma redução no custo de manutenção de 33% a longo prazo bem como uma redução significativa na pegada ecológica, ao reduzir o número de equipamento armazenado e as viagens de avião realizadas pelos técnicos.

A segunda ação isenta de custo, passou por falar com os colaboradores e analisar os seus hábitos de *setup* da linha. Efetivamente, verificou-se que os banhos são o primeiro equipamento a ser ligado pelas 05h, duas horas antes de se iniciar a produção, devido a problemas prévios com o abastecimento do vapor e o elevado tempo de aquecimento da água. Deste modo, foram retiradas as medidas do formo, densidade do material que o constitui (aço inoxidável), poder calorífico do gás natural e foi definido um coeficiente de perda de calor para o exterior. Para efeitos de cálculo assumiu-se que o regime de transporte do vapor é laminar (pior caso cenário possível) e foram utilizadas as equações termodinâmicas necessárias para o cálculo do tempo total de aquecimento, cujo valor é de 72.1 minutos. Assim, o desperdício de 47.9 minutos por dia é traduzido numa perda de 1.3m³ de GN, por linha. Pressupondo que apenas 3 linhas são ligadas por dia, os *savings* podem

ascender aos 1064.9m³, reduzindo a pegada ecológica do consumo de gás em 0.5% e devolvendo à empresa 912.8€/ano.

4.2.2 Medidas de investimento moderado

De acordo com os processos internos da empresa, todos os investimentos realizados cujo valor não ultrapasse os 75000€ são considerados de nível 1 e 2 e carecem de aprovação interno, sem necessidade de autorização formal do grupo RAR. Uma vez realizadas as implementações de custo 0 é essencial que os projetos de melhoria energética não estagnem pelo que são agora apresentadas soluções com um valor inferior ao mencionado.

O tanque de condensados, localizado no telhado da casa das caldeiras, recebe a água de retorno da linha de vapor a qual é armazenada e disponibilizada à caldeira quando existe necessidade. Este reservatório, equipado com dois pressostatos que verificam o nível da água e comandam a abertura de uma válvula de água tratada em caso de falta de caudal, é uma fonte de contaminação da água, dada a sua falta de manutenção e a idade do equipamento. Adicionalmente, uma auditoria externa indicou que o entupimento da serpentina da caldeira é resultado da falta de manutenção à rede de condensados. Assim, sugere-se um investimento na ordem dos 1000€ que engloba a aquisição de uma tanque de 5000 litros, o seu transporte e a sua instalação e estima-se que esta compra diminua o custo anual de manutenção em 5% pelo que o seu retorno é conseguido em 1.16 anos.

Dada a sua elevada utilização, as canalizações de vapor e de condensados sofreram algumas fugas ao longo dos anos, as quais foram reparadas por empresas subcontratadas para o efeito. Assim, há várias tubagens na fábrica, cujo isolamento foi retirado para realizar a manutenção e não foi repostado. Considerando um tubo com 80mm de diâmetro que percorre 1 metro de comprimento é possível calcular a perda de calor do cenário com isolamento (coeficiente de convecção é de 4W/m²K) vs o cenário sem isolamento (coeficiente de convecção é de 10W/m²K) que é de 1206.37W/dia, ou de 5018.51kW/ano. Utilizando os parâmetros e fórmulas introduzidos no subcapítulo anterior, bem como o rendimento das caldeiras, é estimado que 501.8 m³ de GN sejam perdidos devido à falta de isolamento nas tubagens o que pode ser traduzido em 430.1€/ano. O baixo custo do isolamento de tubos industriais (cerca de 55€/m²) viabiliza a implementações desta solução em qualquer local da linha de vapor e de condensados, com um *payback* inferior a um ano - 0.13 anos.

A divisão da fatura de GN com a Colep Packaging obriga a um controle rigoroso do caudal utilizado pela unidade de enchimento. Adicionalmente, a utilização dos caudalímetros atuais permite também a recolha de dados em tempo real, nomeadamente o Caudal mássico [kg/h], total de vapor [kg], pressão [bar], potência [kW] e ainda a energia [kWh] que são ferramentas essenciais para a observação e prevenção de possíveis falhas na rede de abastecimento. A instalação ideal projetada é de uma unidade por cada saída do coletor na zona de enchimento, de forma a obter informação preciso dos custos energéticos associados a cada processo que ocorre na linha e de um caudalímetro à entrada de cada formulação. O registo histórico de dados, permite analisar tendências e identificar a melhor utilização da energia térmica em função do planeamento de produção, maximizando a eficiência da rede. O custo de aquisição e implementação de caudalímetros foi

pedido a um fornecedor externo, e tem um custo de 12225.26€. Assumindo que os caudalímetros iriam ajudar a reparar cerca de 20% das fugas, que representam 10% da produção anual, é possível concluir que num período inferior a 3 anos (2.95 anos) o investimento estava pago.

A análise aos purgadores da rede de condensados é essencial para o aproveitamento de toda a energia produzida na caldeira. Este procedimento, realizado com recurso a uma câmara termo gráfica, identifica eventuais incrementos na temperatura do ar que envolvem o purgador, o que indica a presença de uma fuga. Esta análise, a ser realizada uma vez por ano, tem inicialmente um custo elevado de aquisição de equipamento, 8175€. No entanto, as empresas especialista indica que 5 a 7% do valor anual debitado pela caldeiras é perdido por fugas nos purgadores, pelo que o seu *payback* é inferior a um ano. No caso do estudo dos purgadores não ser realizado durante dois anos, é estimado que as suas perdas representem entre 10% e 14% do valor total debitado.

Tabela 4.1: Análise de *Savings* nos purgadores

%	Volume [m ³]	<i>Savings</i> [€]
5%	12487,505	10703,86
7%	17482,507	14985,404

4.2.3 Medidas de investimento elevado

O custo de manutenção da instalação atual, constituída por 3 caldeiras Babcock, ascendeu ao valor de 43256€ no ano de 2022. Adicionalmente, a falta de performance das mesmas leva a que a pressão do vapor que chega à formulação seja apenas de 1.5bar, em vez do valor requerido de 5 bar, pelo que o processo de aquecimento de um produto a formular demora três vezes o tempo expectado. Considerando o custo médio de 170€/h para acionamento de uma empresa especializada que realize a reparação das caldeiras e o facto de existe em média, uma avaria por semana, é possível concluir que o custo de operação das três caldeiras é de 24480€, pelo que o custo da ineficiência das caldeiras é de 67736€. Já o custo anual do GN é de 224274€, que pode ser influenciado pelo preço praticado pela Colep Packaging.

Este cenário sugere a substituição das três caldeiras instaladas por apenas uma caldeira Certuss 1800 TC, de 2017 e capaz de produzir 1800 kg/h a uma pressão máxima de 16 bar. É estimado que a *performance* desta caldeira represente um aumento de 15% relativamente às caldeiras de vaporização rápida atualmente instaladas o que representa um *saving* de 33600€ (224000*0.15=33600). De acordo com as indicações do fornecedor, o custo de manutenção preventiva é de 6000€/ano, o que representa uma poupança de 37000€ face ao custo atual. Assim, realizando um investimento de 154000€ para aquisição da nova caldeira (custos discriminados na tabela 4.2) e considerando os *savings* de manutenção na ordem dos 37000€ e de poupanças com o gás natural de 33600€ é estimado que o *payback* seja de 2.18 anos.

Tabela 4.2: Descrição custos aquisição nova caldeira

Descrição investimentos	Custo (k€)
Caldeira	74,80 €
PRM Colep CP (Fonte GN)	19,50 €
Adaptação do Coletor, Condensados e Vapor	24,15 €
Transporte	2,50 €
Desmontagem	13,50 €
Montagem	16,95 €
Licenças	3,00 €
Total	154,00 €

4.3 Ar Comprimido

Os compressores de ar instalados na unidade industrial de Vale de Cambra, transformam energia mecânica em energia pneumática. Estes equipamentos, responsáveis por 28.9% do valor da fatura energética mensal, estão instalados em duas zonas, que satisfazem as necessidades da Colep Consumer Products e da Colep Packaging. Como consequência, é essencial analisar os processos que utilizam ar comprimido e monitorizar o caudal que abastece a rede do enchimento. Esta forma de energia flexível e versátil é essencial em diversas atividades produtivas como em vibradores que introduzem movimento nas latas e acionamentos pneumáticos.

A análise da utilização de ar comprimido da fábrica, foram identificadas três tipos de ações para otimizar o sistema: as de custo 0, as de custo moderado e as de custo elevado. Estas soluções melhoraram a eficiência energética, reduzem perdas e minimizam desperdícios relacionados ao consumo de AC na fábrica o que culmina na redução da pega ecológica.

4.3.1 Medidas sem investimento

A UI de Vale de Cambra dá resposta às necessidades de produção requeridas por diferentes clientes, localizados em diversos continentes. Com efeito, para estar em conformidade com a legislação própria de cada país é necessário realizar investimentos nas linhas de enchimento e nas tarefas de suporte. A rede de abastecimento de ar comprimido não é exceção, pelo que foi comprado um secador cujo propósito é retirar qualquer humidade adquirida pelo AC durante o seu transporte e a instalação foi realizada no interior de um contentor à entrada da fábrica. A baixa taxa de utilização bem como as elevadas temperaturas que se fazem sentir nesta localidade durante períodos do ano, levam a que o funcionamento deste equipamento seja defeituoso e que o mesmo entre em alarme, em média, ao fim de 02 horas e 35 minutos por exceder a temperatura máxima de funcionamento. Adicionalmente, no ano de 2023, não houve qualquer produção para o cliente que requisitou o secador, no entanto, o registo automático do número de utilizações é de 6 à data de 20 de Abril do presente ano. Assim, com recurso a um dispositivo de análise da qualidade da potência e energia foi recolhida a potência consumida em *standby* - 0.07kW - e a potência consumida em

funcionamento - 5.7kW o que permitiu calcular que, no primeiro quarto do ano em teoria foram consumidos 201.6kW, no entanto, o acionamento indevido desta máquina culminou num consumo de 725kW, mais de 3 vezes o necessário. Assim, a ação de melhoria implementada foi a criação de uma folha de registo de utilização do equipamento a ser preenchida por todos os colaboradores que pode resultar num *saving* de 175€/ano.

A utilização desta fonte de energia é transversal a todos os colaboradores da Colep CP que têm contacto com as linhas de produção numa base diária. O ar a uma pressão elevada e também utilizado para realizar tarefas de limpeza mas, no entanto, não é dada qualquer formação sobre a produção e o custo do mesmo que é visto por muitos como "apenas ar". Verificou-se que o ar comprimido está acionado na consola da linha durante tempos de *setup* e durante períodos de pausa, o que culmina num incremento do consumo sem aumentar o número de latas produzidas (KPI atual = m³ de AC consumidos/milhares de unidades produzidas). Assim, a segunda solução sem qualquer custo passa por dar formação a todos os colaboradores sobre a utilização desta forma de energia e a introdução do KPI atual no prémio de fábrica atribuído mensalmente de forma a aumentar a sensibilidade de cada funcionários.

Tratar as fugas de ar comprimido provenientes de vazamentos não intencionais e que resultam em perdas significativas de energia e de recursos é um desafio comum nas unidades industriais. Para colmatar este problema, é necessário a adoção de uma abordagem pro ativa que minimize perdas e garanta a eficiência do sistema. A deteção de fugas pode ser feita através de inspeções visuais, testes com equipamentos que utilizem ultrassons ou com a utilização de equipamentos de medição especializados. Já as ações corretivas, como a substituição de componentes defeituosos, deve ser prontamente executada para evitar desperdícios desnecessários. Na UI de Vale de Cambra, ate à data de inicio do estágio, foi apenas realizada uma iniciativa que procurou identificar fugas de AC e retificá-las. No entanto, a elevada taxa de utilização dos equipamentos, as elevadas temperaturas dentro do pavilhão industrial e a falta de ações de manutenção realizadas às tubagens leva a que o número de fugas aumente exponencialmente com o tempo e que cerca de 10% do total do ar comprimido produzido seja perdido durante o seu transporte. Assim, propõe-se a realização de *Gemba Walks* mensais para identificação e reparação de fugas, o que poderá traduzir-se num *saving* de 10657.8€/ano caso sejam verificadas e restabelecidas à normalidade 50% das fugas.

4.3.2 Medidas de investimento moderado

Uma válvula solenoide é um dispositivo eletromecânico que controla o fluxo de fluidos e é composto por uma bobina e um êmbolo móvel que, quando são energizados, criam um campo magnético, movendo o êmbolo e permitindo, ou não, a passagem de fluxo. Uma válvula deste tipo é conectada à consola e o seu acionamento é efetuado através de sinais elétricos provenientes do PLC, que permitem a regulação de determinados parâmetros, tais como a pressão. As linhas de produção de aerossóis e a linha de líquidos 2 montada no ano 2021, estão equipadas com válvulas solenoides que permitem a automação do controlo de ar comprimido e serviram de *baseline* para o estudo efetuado, no qual se verificou uma diminuição do consumo de AC em 0.5% quando instalados os dispositivos que permitem a interrupção do fluxo. As zonas mais afastadas do pavilhão

principal de produção, a *Britvic*, também conhecida como linha de líquidos 1 e o centro de investigação e desenvolvimento (ID) também conhecido como *Copacking* não estão equipadas com esta tecnologia. Com efeito, foram recolhidos os dados sobre o consumo de AC destas áreas da UI e o possível *saving* - 393.11€/ano. O elevado custo deste equipamento (368€) bem como o custo do seu transporte e instalação, que é considerado trabalho em altura, perfaz um valor de 700€ por válvula instalada e culmina num *payback* de 3.57 anos para a aplicação das válvulas nos locais indicados.

O ar que sai do compressor encontra-se à pressão de 7bar. Reduzir a pressão à saída do equipamento, recorrendo à aquisição e instalação de uma válvula redutora de pressão, é uma estratégia eficaz para mitigar as fugas na rede de distribuição do AC. Operar os compressores a uma pressão inferior, reduz a tensão exercida nas tubagens e conexões internas do equipamento, diminuindo a probabilidade de ocorrer avarias e reduzindo os custos de manutenção. Adicionalmente, a pressão inferior resulta na menor velocidade de circulação do ar, o que por sua vez contribui para a diminuição do desgaste e da abrasão nas superfícies internas das tubagens de distribuição. Adotar esta abordagem diminui o desperdício de ar comprimido e prolonga a vida útil dos componentes do sistema. O manual do fornecedor dos compressores - Atlas Copco - indica que uma redução da pressão de 7 bar para 6 bar resulta numa economia anual de energia de 8%, em média. O valor praticado por válvula dimensionada para o diâmetro da tubagem é de 635€ e foi assumido um custo de instalação e transporte de 365€. Os 1000€ de investimento inicial requerido para este cenário serão repostos em 0.1 anos, uma vez que os potenciais *savings* ascendem ao valor de 9810.21€.

As linhas de aerossóis, estão equipadas com 12 máquinas de enchimento de produto e 12 máquinas de enchimento de gás, ambas da marca Pamasol e cujo modelo é Macromat 2045. Uma rápida análise às condições de trabalho destes equipamentos, permitiu concluir que a pressão mandatária para o correto funcionamento da máquina é entre 8 a 10 bar, a qual não é atingida pela atual rede de abastecimento de AC pelo que foi considerado pertinente analisar o histórico de reparações do equipamento. Verificou-se que, em média, as máquinas eram reparadas durante 1.5h e apresentavam um MTBF de 6 meses, pelo que são realizadas 48 reparações anuais. Assumindo um valor médio de 15€/h recebido por um mecânico são gastos 1080€/ano em custos de capital humano para realizar as reparações necessárias para o funcionamento da linha. Assumindo que administrar a pressão correta irá reduzir o número de intervenções em 20%, como indicado pelo fornecedor, há um potencial *saving* de 216€/ano, sem contabilizar o valor poupado em peças de substituição. O valor da instalação e aquisição de um *booster* de ar comprimido, que funciona através da entrada de ar num câmara, onde o mecanismo de acionamento (geralmente um pistão ou uma membrana) aumenta a pressão do ar, é de 600€, logo a aquisição de 4 dispositivos tem um custo de 2400€ e um *payback* calculado de 11 anos.

É importante procurar um equilíbrio que maximize os benefícios de ambas as abordagens supra transcritas. A redução da pressão de circulação do AC reduz as fugas, no entanto, é crucial operar as máquinas dentro das pressões recomendadas pelos fornecedores para garantir o seu desempenho adequado. Por outro lado, o uso de *boosters* pode aumentar a pressão necessária, mas

é preciso ter em conta o retorno do investimento. A solução "ideal" seria combinar as duas abordagens de forma estratégica, isto é, reduzir a pressão de circulação do ar comprimido, utilizando válvulas redutoras, apenas quando as linhas de produção que estão equipadas com *boosters* estiverem a operar. Esta abordagem requer um planeamento cuidado e coordenação entre as equipas de operações, engenharia e manutenção para garantir uma produção eficiente, segura e sustentável.

4.3.3 Medidas de investimento elevado

A utilização de caudalímetros, dispositivos de medição de fluxo que permitem analisar e controlar o volume utilizado em diferentes processos, desempenha um papel fundamental na gestão eficiente do ar comprimido numa UI. Assim, é recomendável instalar um caudalímetro por linha de enchimento, possibilitando uma monitorização precisa e individualizada do consumo. Com efeito, irá ser possível identificar discrepâncias entre linhas e tipos de produtos a encher e detetar e eliminar possíveis fugas. A simples aquisição de caudalímetros, é insuficiente para maximizar o proveito dos mesmos, uma vez que estes proporcionam acesso a dados em tempo real o que permite a análise de tendências, identificar padrões de utilização, otimizar a eficiência do sistema e tomar decisões baseadas em dados concretos pelo que é expectável uma redução de 0.8% do consumo anual. A proposta para instalação de seis caudalímetros na fábrica, um no ponto de entrada de AC e a respetiva alimentação deste equipamento tem um custo de 24150€, no entanto, os *savings* anuais de 6295.5€ permitem calcular um *payback time* de 3.83 anos.

A Colep Packaging, senhoria do terreno onde a Colep Consumer Products está instalada, atribuiu uma percentagem do consumo dos compressores à unidade de enchimento. A falta de transparência na forma como esta percentagem é atribuída, levou à realização da monitorização diária dos consumos através da instalação de um caudalímetro e aluguer provisório de uma plataforma para leitura dados, à entrada da tubagem da UI em análise. Durante os 61 dias no qual decorreu este estudo, verificou-se que o caudalímetro utilizado pela unidade de plásticos estava mal dimensionado, pelo que o consumo atribuído é 7.25 vezes inferior ao consumo real, no entanto, o valor praticado pelo kWh é de 1.11€/kWh, cerca de 9.98 vezes superior ao valor definido pelo mercado, 0.11€/kWh o que se traduziu num custo extra de 3796.36€ durante os 62 dias, ou 22349.51€ durante um ano. O custo de aquisição de dois compressores Atlas Copco GA 160, que satisfazem as necessidades de ar comprimido da UI, é de 50000€, a sua instalação tem um custo de 4000€, o seu transporte o custo de 6000€. Adicionalmente, a Colep Consumer Products é agora responsável por pagar o custo de manutenção dos compressores - 3000€, previamente ao encargo da empresa homónima. Foi desenvolvida uma tabela com o intuito de calcular o tempo que demoraria a pagar um investimento neste cenário, 2.9 anos.

Tabela 4.3: Análise custos aquisição dois compressores novos

	Custo Manutenção	Custo aquisição	Savings
Ano 0	€ -	€ 60 000,00	-€ 22 349,51
Ano 1	€ 3 000,00	€ -	-€ 44 699,02
Ano 2	€ 3 000,00	€ -	-€ 67 048,53

4.4 Consumo elétrico

A análise e controlo do consumo elétrico, intrinsecamente relacionado com o funcionamento de equipamentos, sistemas e processos industriais, desempenha um papel crucial na gestão eficiente e sustentável da unidade industrial. O estudo sistemático da utilização elétrica em tempo real permite identificar padrões de consumo, picos de procura e avaliar o desempenho energético da fábrica o que culmina na implementação de medidas de controlo e eficiência específicas como o ajuste de horários da operação. Controlar o consumo elétrico evita desperdícios e reduz custos operacionais através da identificação de anomalias (equipamentos com alto consumo em momentos inesperados ou perdas de corrente) que permitem reconhecer falhas ou problemas de eficiência e definir metas para a redução energética, implementar programas e avaliar o impacto das medidas adotadas.

A recente separação das empresas obrigou à partilha dos recursos previamente existentes entre as duas unidades industriais. O posto de transformação (PT), atualmente detido pelo *Packaging* e responsável por receber energia elétrica proveniente da rede em alta tensão e pela transformação da mesma numa tensão adequada para uso nas instalações. Os disjuntores utilizados no PT, dispositivos de proteção que desempenham o papel de interromper a corrente no caso de falha ou sobrecarga no sistema, permitem dividir o consumo entre as diferentes unidades industriais. A extensão da fábrica e dos locais onde são realizadas as suas atividades de suporte, torna inviável alocar todo o seu consumo a um único disjuntor pelo que foi designado um específico, que controla o consumo das linhas de enchimento e da formulação, para realizar a medição e recolha de dados em tempo real. Todos os dados recolhidos com recurso a este análise são apelidados de dados de eletricidade "controlada". O consumo das outras partes da UI que não são monitorizadas sistematicamente foi designado por eletricidade "não controlada" e estudado individualmente. A segmentação resultou no melhor acompanhamento e análise do consumo de energia, pelo que foram obtidos *insights* valiosos para otimização da eficiência elétrica e para redução da pegada ecológica.

4.4.1 Eletricidade controlada

A análise e recolha de dados em tempo real é realizada por meio da plataforma *BeEnergy*, que oferece uma variedade de recursos para análise em detalhe do consumo elétrico. Os dados podem ser estudados em intervalos de tempo distintos, 15 minutos, 1 hora, 1 dia, 1 mês ou 1 ano o que permite obter uma visão abrangente do consumo ao longo do tempo. Adicionalmente,

a plataforma BeEnergy é composta por uma interface visual intuitiva, que permite a observação gráfica dos resultados obtidos o que permite analisar de forma concisa as tendências de consumo, identificar picos de procura, detetar variações sazonais e comparar o desempenho em diferentes períodos.

4.4.1.1 Medidas sem investimento

As equipas de operadores da Colep Consumer Products, estão organizadas de forma hierárquica, com chefes de turno, responsáveis por garantir o correto funcionamento da linha e por alertar a equipa de manutenção em caso de necessidade e com membros da equipa que desempenham funções específicas, como embalar latas que saíram da máquina de filme ou garantir a limpeza adequada das latas durante o seu percurso. Adicionalmente, são pautadas por utilizarem um horário rotativo, isto é numa semana estão alocados ao primeiro turno, que tem a responsabilidade de realizar o *setup*, enquanto que na segunda semana estarão alocados ao segundo turno, no qual geralmente se realiza a paragem. A tomada de decisão sobre que equipamentos parar e quando fazê-lo tem a supervisão do chefe de turno, sem haver qualquer processo standardizado, pelo que foi realizada um estudo sobre a homogeneidade dos consumos nos tempos não produtivos.

A recolha e armazenamento de dados foi uma ferramenta essencial na identificação de *underlying costs*. Foram utilizados intervalos de 15 minutos e escolhidos os meses de maior consumo das linhas de aerossóis, para serem retirados os valores mínimos e máximos registados ao fim-de-semana. De seguida, foi calculada a sua variação ao qual foi subtraída a sua média para quantificar a quantidade de energia desperdiçada. Inferiu-se que, a homogeneização dos resultados obtidos levava a uma poupança anual na ordem dos 1849.91€, que poderia ascender ao valor de 3197.15€ caso o disjuntor fosse desligado no final do último turno da semana. No entanto, a última proposta não foi contemplada como um cenário a desenvolver, uma vez que a atmosfera explosiva da unidade de enchimento, obriga a que certos mecanismos de segurança permaneçam ativos ainda que não haja produção.

Os turnos realizados pelos colaboradores contam com a duração de 8 horas e contemplam um intervalo de 30 minutos para realizar uma refeição. O chefe de turno deve imobilizar a linha de uma forma segura e expedita, que permita reiniciar os trabalhos sem a necessidade de tempos de pausa acrescidos. Os dados recolhidos para análise seguiram a metodologia descrita no parágrafo anterior e revelaram que as pausas nem sempre são perceptíveis, o que indica que, por vezes, os equipamentos estão em funcionamento contínuo quando não há latas em circulação, estes períodos foram considerados *outliers* e removidos da análise. Assumindo que cada linha está ligada apenas 8 dos possíveis 22 dias úteis mensais, um cenário conservador para a realidade vivida em Vale de Cambra, calculou-se um *saving* anual de 376.61€ no caso da fábrica trabalhar sempre com 2 turnos e de 564.79€ com a unidade industrial a trabalhar a 3 turnos.

Uma *shrink wrapper*, também conhecida com máquina de filme termoencolhível, é um equipamento utilizado em processos de embalamento industrial que envolve produtos em filme plástico o que incrementa a sua proteção e estabilidade durante o transporte e armazenamento. A máquina de filme e forno, funciona através de um processo de aquecimento controlado, no qual o filme plástico

é aplicado sobre o produto e, de seguida, é aquecido através de convecção para que encolha e fique ajustado à forma do objeto o que resulta numa embalagem firme e uniforme. A recolha de dados de campo, especificamente o material que constitui este equipamento, a altura, largura e comprimento dos fornos instalados nas diferentes linhas, as temperaturas iniciais e finais registadas e a potência calorífica de cada uma das suas resistências permitiu recorrer a fórmulas termodinâmicas para calcular o tempo que demora a realizar o processo de calefação desde a temperatura inicial até à temperatura final pretendida. Os valores obtidos podem ser encontrados na seguinte tabela:

Tabela 4.4: Tempo de aquecimentos dos fornos

	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6
t [min]	55,77	51,62	51,62	21,45	60,13	43,58

A hora de início de produção é pelas 07:00, pelo que os resultados previamente obtidos permitem inferir a hora exata na qual o forno deve ser ligado para maximizar o seu consumo. A análise em intervalos de 15 minutos identifica o momento a partir do qual este equipamento consome grandes quantidade de eletricidade, uma vez que existe um pico quando comparado a períodos anteriores de duração semelhante. Assim, foi registado a percentagem de vezes que a máquina foi ligada de forma conforme, calculado pelo quociente entre o número total de eventos em que foi iniciado antes do horário previsto e o número de ocorrências total. As poupanças possíveis ascendem ao valor de 593.81€ anuais, isto é, a correta operação das *shrink wrappers* poupava 5349.6 kWh/ano, uma redução na pegada ecológica do consumo de energia elétrica de 4.4%.

4.4.1.2 Medidas de investimento moderado

O trabalho dos mecânicos numa unidade de enchimento é essencial para garantir o funcionamento contínuo dos equipamentos utilizados no processo de transformação de uma lata num aerossol. Os mecânicos, responsáveis por montar e desmontar máquinas, substituir peças desgastadas ou danificadas, ajustar e calibrar componentes e realizar a lubrificação adequada para manter os transportadores em boas condições de operação, têm também conhecimentos básicos sobre acionamentos pneumáticos. Com efeito, existe uma zona do pavilhão industrial dedicada à reparação de componentes, que conta com três luminárias estanques, com uma potência de 231W no total e que permanecem ligadas durante as 16 horas de operação pelo que representam um custo anual de 319.9€.

As lâmpadas LED oferecem vantagens em relação às lâmpadas estanques como maior eficiência derivada da maior taxa de conversão de energia consumida em lumitância o que se traduz num menor custo operacional, uma vida útil significativamente superior a de uma lâmpada tradicional o que reduz a necessidade de manutenção e maior resistência a impactos e vibrações pelo que são ideais para ambientes industriais. Assim, foi solicitada uma cotação de um fornecedor para realizar a troca das 3 luminárias da oficina e a implementação de 3 sensores de movimento e lumitância, cujo o valor é de 356.01€ sem instalação ou de 500€ com a solução "chave na mão". O tempo de retorno do investimento é variável, caso os *savings* sejam de 20% ao valor previamente

registado o *payback time* é de 7.8 anos, enquanto que caso haja um redução de 50% do consumo o tempo para recuperar o dinheiro investido é de apenas 3.1 anos.

Os motores responsáveis por acionar os transportadores, sistemas compostos por correias ou esteiras que movimentam as latas ao longo das etapas de produção, são projetados para oferecer o binário e velocidade apropriados para o transporte suave e preciso das latas. Estes encontram-se equipados com variadores de frequência, um dispositivo que permite controlar a frequência e tensão fornecidas ao motor e, por consequência, alterar a sua velocidade o que se traduz numa poupança energética. O próximo passo para otimização da taxa de utilização dos motores é a aquisição e implementação de sensores infravermelhos, especificamente sensores de proximidade que possuem um emissor de luz infravermelha e um recetor que, quando obstruído indica a presença de uma lata. Assim, este cenário propõe o investimento de 3815.1€ para equipar os 92 transportadores utilizados com sensores que ativam o motor imediatamente a seguir e param o mesmo quando não estão a circular embalagens. Uma vez que não existem dados concretos sobre a taxa de utilização deste equipamento, foi desenvolvida uma tabela que contempla diversos cenários.

Tabela 4.5: Diferentes cenários de *savings* para a utilização de sensores

<i>Savings (%)</i>	<i>Savings (€)</i>	<i>Payback (anos)</i>
10%	€ 863,69	4,42
15%	€ 1 295,54	2,94
20%	€ 1 727,38	2,21
25%	€ 2 159,23	1,77
30%	€ 2 591,07	1,47

4.4.1.3 Medidas de investimento alto

Os motores que alimentam os transportadores supra transcritos, são equipamentos com mais de 30 anos, utilizados durante longos períodos de funcionamento contínuo e cuja política de manutenção é de emergência, isto é, quando se verifica uma avaria, os motores são substituídos por outros em *stock* e a sua reparação é posteriormente concluída por um mecânico. O histórico de intervenções indica que o MTBF destes equipamentos é de 10 anos, logo é expectável que os 92 transportadores tenham, pelo menos, 9 avarias durante um ano de trabalho. A deteção de um problema é realizada através da inspeção visual pelo que o tempo que leva a notar a avaria, dirigir-se à ferramentaria para ir buscar o moto redutor de substituição, retornar à linha e proceder à sua instalação é de 20 minutos, uma avaliação otimista que indica que por ano, são perdidas 3h produtivas na manutenção destes motores. Uma linha imobilizada durante 3h/ano cuja cadência é de 100 latas por minuto e assumindo que cada aerosol pronto a ser expedido tem um lucro após taxas e impostos de 50 cêntimos, representa um custo operacional de 9200€/ano pelo que existem estes potenciais *savings* no caso de serem adquiridos novos motores. O equipamento atualmente instalado conta com uma potência nominal de 0.37kW, um fator de potência de 0.77, uma tensão

de 415V e uma corrente de 1A enquanto que um motor atualmente em circulação no mercado nacional que tenha a mesma potência, tem um fator de potência de 0.64, uma tensão de 400V e uma corrente de 1.14A. Supondo que os 92 transportadores estão ativos durante 16 horas por dia, 3 dias por semana e 52 semanas num ano é estimado que as poupanças atinham o valor de 706.3€/ano. Assim, adquirir 92 motores equipados com as devidas seguranças para atmosfera explosiva tem um custo de 102212€ (1111€ por unidade) e um retorno a 10.3 anos ($102212/(706.3+9200)=10.32$).

O valor pago por kWh, imposto pelo *Packaging* é resultado de uma percentagem atribuída à unidade de enchimento e não tira o partido da tarifa tri-horária existente na UI. Este tipo de tarifa tem como objetivo incentivar o consumo fora dos horários de pico onde os preços da eletricidade são mais altos e que normalmente correspondem aos horários de maior procura durante o dia, enquanto os preços são mais baixos nos períodos de cheia e vazio, momentos de menor procura na rede. O custo estimado para aquisição de um posto de transformação próprio, construção de uma infraestrutura, instalação, transporte e ligação dos quadros atuais ao PT projetado é de 200000€. Com efeito, foi estudado o consumo durante o mês de Setembro de 2022, no qual o preço pago à unidade de plásticos foi de 0.25€/kWh enquanto que o preço praticado pela EDP Comercial no seu tarifário de maior potência foi de 0.19€/kWh em períodos vazios, 0.22€/kWh em períodos de cheio e de 0.33€/kWh em períodos de ponta. A poupança no valor final mensal foi de 2278.23€ pelo que é possível inferir que a poupança anual é de 27338.7€ e o payback de 7.3 anos.

4.4.2 Eletricidade não controlada

4.4.2.1 Laboratório de Controlo de qualidade

O laboratório de qualidade de uma unidade de enchimento desempenha um papel fundamental na garantia de qualidade dos produtos fabricados. Este é o local onde se realizam testes minuciosos para verificar a conformidade dos aerossóis e das matérias primas utilizadas, para que todos os produtos atendam aos rigorosos padrões de qualidade estabelecidos pelo departamento comercial em conjunto com o cliente, garantindo a segurança e a satisfação do consumidor final. Uma das principais tarefas realizadas pelo laboratório é a análise detalhada das matérias-primas utilizadas durante a produção, o que inclui testes exaustivos a ingredientes, embalagens e materiais auxiliares que asseguram a escolha adequada dos elementos utilizados. Adicionalmente, são responsáveis por recolher amostras em diferentes etapas do processo produtivo que são posteriormente analisadas (realizados testes à condutividade e ao pH, por exemplo) para garantir conformidade com as especificações do cliente. Por último, realizam diferentes testes de qualidade a produtos acabados que abrangem diversos parâmetros como o aroma, a aparência e a textura, verificados através de uma análise sensorial, e a durabilidade e integridade dos produtos ao longo do tempo, analisada com um teste de estabilidade.

A elevada importância do trabalho realizado no laboratório de qualidade, levou à realização de investimentos em equipamentos complexos, como o FTIR (*Transform Infrared Spectroscopy*) cujo funcionamento parte do princípio que diferentes substâncias absorvem radiação infravermelha em

diferentes comprimentos de onda, o que se traduz num espetro característico, posteriormente analisado para identificar os componentes presentes na amostra utilizada. A inspeção visual realizada ao laboratório indicou que este instrumento está constantemente ligado até em períodos em que não está a decorrer produção, o que foi corroborado pelos membros da equipa da qualidade. Assim, o estudo realizado ao manual do utilizador indicou que este equipamento pode e deve ser desligado quando não está a ser utilizado e consome uma potência de 391W, pelo que os possíveis *savings* são de 198.8€/ano, caso lhe seja removida a alimentação em períodos de descanso - 8 horas num dia útil e fins de semana.

Dispositivos como o supra transcrito exigem condições específicas de humidade e temperatura que garantem o seu correto funcionamento. Com efeito, foi instalado um equipamento que mede em contínuo, através de sensores que têm um elevado grau de sensibilidade, os dois parâmetros previamente apresentados e é utilizado um extrator para circular o ar que trabalha de forma contínua e independente do resultado obtido pelos sensores instalados. Uma possível redução na pegada ecológica da empresa é conseguida através da troca de sinais entre os equipamentos, isto é, quando o nível de humidade ou temperatura atingir um valor predefinido, a extração é ligada e quando os parâmetros forem restabelecidos o seu movimento é impedido. O cotação recebida pelo fornecedor de serviços de automação foi de 811€, os quais são recuperados a 5 anos no caso de haver uma poupança de 33% (cenário pessimista) ou a 3.3 anos, prevendo uma poupança de 50% no consumo da extração (cenário otimista).

4.4.2.2 Armazém A5

Um armazém numa unidade de enchimento desempenha um papel crucial no processo de produção e logística, uma vez que armazena matérias-primas, produtos semi-acabados e acabados, bem como outros recursos necessários para o correto funcionamento da fábrica. O objetivo principal desta infraestrutura é garantir o abastecimento contínuo de materiais e produtos, além de oferecer um ambiente adequado para movimentação segura do *stock*. Além da função de armazenamento, este também é responsável por realizar atividades que garantem a qualidade dos produtos recebidos, realizar inventários periódicos, registar entradas e saídas e rastrear datas de validade, tarefas essenciais que garantem a disponibilidade adequada dos produtos. A Colep Consumer Products conta com um armazém de grandes dimensões, com seis naves, uma doca de carga e descarga, escritórios e uma zona de controlo de material. Cada estante é constituída por quatro andares, no entanto, para efeitos da análise que se segue foram apenas contabilizados três uma vez que o andar superior está reservado ao *Packaging*.

Um dos aspetos essenciais é a organização física do armazém, essencial para um movimento mais eficiente dos empilhadores elétricos cujo consumo está diretamente dependente do número de horas trabalhadas e o número de quilómetros percorridos. Com efeito, foi aplicado o conceito da teoria da simulação, uma abordagem que envolve a criação de modelos e a realização de experiências virtuais para compreender e analisar o comportamento de sistemas elaborados. Através do *software Anylogic* foi desenvolvido um cenário para estudar a forma como as paletes são dispostas numa *rack* com 3 andares, que contempla que o armazém tem 2400m² com um custo de

utilização de 15€/m², a empresa tem um custo de 15€/h por condutor de empilhadora e a velocidade de deslocação da mesma é de 6 km/h e outros pressupostos expostos no anexo A3. Os dados utilizados para análise foram escolhidos de forma aleatória e retirados do registo efetuado em SAP para criar uma lista de material a entrar e sair no decorrer de uma semana de trabalho. Assim, procura-se analisar os custos associados com o armazenamento e capital humano os quais são indicadores de maior eficiência e conseqüente redução da pegada de carbono. Atualmente, o material é disposto através de uma curva ABC, um método de classificação que, quando aplicado ao controlo de *stocks*, serve para determinar quais são os produtos mais relevantes e com maior impacto na atividade da empresa. Assim, à semelhança do conceito de *Pareto* já introduzido, os 20% dos produtos que têm maior taxa de saída estão armazenados no andar 0, os seguintes 30% no andar 1 e os restantes 50% no último andar. As hipóteses desenvolvidas são a organização do material por peso, isto é, as paletes mais pesadas encontram-se no andar térreo e as mais leves no andar superior e a organização por BU (*Business unit*) que agrupa as paletes a serem enviadas pelo seu destino final e as paletes que deram entrada pelo seu fornecedor. Os resultados obtidos indicam que há um potencial *saving* de 14% no tempo de trabalho dos condutores de empilhador e de 0.2% nos custos de caso seja implementado um sistema baseado nas BUs recebidas, o que é desde já recomendado.

Atualmente o armazém contém 218 luminárias cujo consumo é de 250W, utilizadas para iluminar as naves onde as matérias são armazenadas e 14 luzes que consomem 150W para iluminação do cais de carga e descarga, receção e escritórios que permanecem ligadas durante 4862 horas por ano, pelo que o seu consumo é de 275189.2kWh. A instalação de LEDs com controlo automático tem um custo de 85000€ e permite automatizar o funcionamento das luzes o que resulta numa redução da fatura anual no valor de 30941.3€ ou de 222599.2kWh e um *payback* de 2.8 anos.

4.4.2.3 Escritórios

O escritório da unidade industrial de Vale de Cambra é composto por mesas, cadeiras, computadores e outros equipamentos necessários para proporcionar condições para realizar as atividades relacionadas ao trabalho. É um espaço organizado e projetado para promover a produtividade, concentração e colaboração pelo que cada funcionário tem direito a um monitor e a uma *hub*, dispositivo utilizado para conectar vários componentes eletrónicos a um único ponto central. O elevado número de equipamentos e o facto de permanecerem ligados 24 horas por dia, motivou a realização de uma inspeção visual, na qual foram encontrados 55 monitores e 52 *hubs*, com o respetivo consumo de *standby* unitário de 0.12W/h e 5.8W/h. A aquisição de uma tomada com interruptor, com o custo de 5.5€ que multiplicado pelo numero de *hubs*, culmina num investimento inicial de 286€ pode mitigar o custo anual de 243.8€ relacionado com os gastos em modo de pausa e reaver o seu investimento em apenas 1.3 anos. Mitigar a componente humana pode levar a melhores resultados uma vez que os mesmos estão diretamente relacionados com o cumprimento rigoroso dos procedimentos estabelecidos. Assim, foi também desenvolvido um cenário para a aquisição e utilização de uma extensão que utilize uma tomada *master* que quando está ligada

permite a passagem de corrente para as restantes tomadas, denominadas de *slaves* e quando é desligada cria um barramento à passagem de energia. O investimento mais elevado, 2035.8€ para aquisição de 52 tomadas tem um *payback* de 8.3 anos, no entanto, elimina qualquer variabilidade à utilização de um interruptor de acionamento manual.

O teletrabalho, também conhecido como trabalho remoto, oferece uma série de benefícios para os colaboradores e para as empresas, como maior flexibilidade no horário de trabalho, o que permite que os funcionários conciliem melhor as suas responsabilidades profissionais e pessoais e o facto de eliminar o deslocamento diário, o que diminui diretamente a pegada ecológica e economiza tempo. Da perspectiva das empresas, o teletrabalho pode resultar numa maior produtividade, uma vez que os funcionários gozam de um ambiente com menos distrações, e garante uma redução da energia consumida. Numa unidade industrial de enchimento, este regime está limitado à equipa que pertence aos gabinetes, logo as poupanças anuais de cada departamento gozar um dia em casa a cada duas semanas são de 206.8€/ano ou de 413.6€/ano no caso do ficarem em casa um dia a cada semana. Apesar dos *savings* serem modestos é importante proporcionar estas regalias aos colaboradores o que se traduz em melhores resultados e maior atenção ao detalhe.

4.4.2.4 Refrigeração dos gabinetes

Vale de Cambra é caracterizado por grandes amplitudes térmicas o que se traduz em verões intensos e invernos rigorosos logo, para garantir o conforto térmico adequado nos ambientes fechados, cada gabinete foi equipado com uma unidade de ar condicionado cujo funcionamento envolve a circulação de ar num sistema que envolve um compressor, condensador, evaporador e um fluido refrigerador que troca calor com este fluido, retirado do meio ambiente. A instalação destas unidades de ar condicionado garante um ambiente mais cómodo durante as diferentes estações, proporcionando temperaturas adequadas em qualquer momento no entanto, representa um custo significativo do consumo dos escritórios pelo que foram estudadas opções com o objetivo de reduzir esta pegada ecológica.

Uma *green wall*, envolve cultivar plantas numa estrutura vertical e pode ser instalada em ambientes internos e externos proporcionando um visual esteticamente mais agradável uma vez que traz natureza para um espaço industrial. Existem duas principais categorias de paredes verticais: as *green walls* com sistema de solo que envolvem a plantação direta num substrato que é posteriormente agregado à estrutura vertical e as *green walls* hidropónicas, que realiza a alimentação das plantas através de uma solução nutritiva que flui por canais de suporte. Ambas melhoram a qualidade do ar através do aumento dos níveis de oxigénio e regulam a temperatura e o nível dos ruídos. De acordo com o volume 197 da revista *Applied Energy*, é expectável uma redução na temperatura em 6.1°C nos dias de verão e um aumento de 4°C nos dias de inverno, que se traduz numa potencial redução de 36.52% no consumo relacionado com o ar condicionado, quando a amplitude térmica entre a temperatura pretendida e a temperatura ambiente é de 30°C, no máximo. O elevado investimento inicial para utilização de uma parede verde hidropónica, sem sistema de alimentação, é de 65€/m² o torna inviável o retorno do investimento ser inferior a 15 anos pelo que foram também exploradas outras soluções.

Um *cool roof* é uma cobertura feita de materiais altamente refletivos que têm a capacidade de absorver uma menor quantidade de radiação solar, em vez de absorvê-la para o interior do edifício, pelo que retém menos calor em comparação com os telhados convencionais. Adicionalmente, os *cool roofs* contribuem para a redução do efeito de ilha de calor urbano que resulta da utilização de materiais escuros e da falta de vegetação e aumenta o tempo de vida útil da infraestrutura. A metodologia supra transcrita foi também utilizada para análise deste cenário, no qual se contemplou uma redução na amplitude térmica de 3°C que resulta numa redução da variabilidade do consumo do ar condicionado em 22.13%. O baixo investimento, viabiliza o retorno que é conseguido ao final de 6.8 anos com um *saving* anual de 281.6€.

4.4.2.5 Chiller

Um chiller é um equipamento essencial numa unidade de enchimento uma vez que remove calor de um líquido, especificamente água e reduz a sua temperatura para valores previamente determinados. O seu princípio de funcionamento assemelha-se ao ciclo dos sistemas de ar condicionado, cujas etapas principais consistem na compressão, o líquido de refrigeração é absorvido pelo compressor onde aumenta a sua pressão e temperatura transformando-o num vapor sobreaquecido a alta pressão, a condensação, onde é realizada troca de calor entre o líquido e o meio externo (água), expansão, momento em que o fluido passa pelo dispositivo de pressão que diminui a sua pressão e, por consequência, a sua temperatura e, por último, evaporação, onde também há troca de calor que ocorre uma vez que a água que circula num circuito fechado entra em contacto com as serpentinas do evaporador, pelo que o calor acumulado pela água é transferido para o líquido refrigerador. O vapor que resulta desta operação é conduzido novamente ao compressor, reiniciando o ciclo enquanto que a água refrigerada é conduzida para um tanque de 25000L, onde permanece armazenada a 12°C, preparada para refrigerar qualquer produto a formular.

A recente divisão da Colep em duas unidades industriais culminou na divisão de equipamentos auxiliares à produção. Considerando o número de horas que o *chiller* operou em Março de 2023 e a amplitude registada de temperaturas da água durante este período é possível inferir que em 14 dos 17 dias no qual esta máquina operou, não teve capacidade para refrigerar a água havendo inclusive registos de um incremento na temperatura durante o tempo em que o refrigerador esteve ligado. Utilizando a mesma metodologia aplicada para verificar a viabilidade do sistema atualmente instalado, foi contemplado a aquisição de um novo equipamento, cujo consumo é significativamente inferior - 38kW vs 50 kW - capaz de gerar maior potência de refrigeração - 111kW vs 100kW - e com maior *Energy efficiency ratio*, uma métrica utilizada para avaliar a eficiência energética deste tipo de equipamentos - 2.92 vs 2.2. Utilizando os valores obtidos no mês de março, é estimado que o novo equipamento consuma 2493.6kW que representam um custo de 276.7€ enquanto que o sistema atualmente montado tem um custo de 950€. Assim, o investimento necessário para aquisição e instalação de um refrigerador convencional - 32326€ - seria recuperado no prazo de 4 anos dado os *savings* de 8080.1€/ano.

Um *free cooler* é um equipamento utilizado para arrefecer que faz proveito das propriedades do ar exterior para realizar o arrefecimento da água, sem a necessidade de utilizar compressores

ou líquidos refrigeradores. O seu funcionamento envolve a aquisição de ar do meio que o rodeia que é colocado em contacto com a água num painel constituído por alhetas que promovem a transferência de calor e consequente absorção de calor proveniente da água. As principais vantagens do *free cooler* é a redução no consumo de energia elétrico, uma vez que não é necessário recorrer a compressores para arrefecer a água, e a sua maior sustentabilidade porque faz proveito, quando possível, as condições climáticas envolventes. O *free cooler* em análise, apresenta um consumo de 34.7kW, produz 107.2kW de frio e tem um EER de 3.095 pelo que o valor requerido pela sua instalação e aquisição, 38441.5€, terá um retorno a 4.65 anos, e um *saving* de 8266€/ano.

4.4.2.6 Formulação

A formulação é uma preparação química específica que consiste na combinação de ingredientes ativos, responsáveis pelos efeitos desejados do produto e inertes, que fornecem suporte físico e ajudam a melhorar a estabilidade e absorção. O processo inicia-se na sala de pré-pesagem, equipada com balanças de alta precisão para pesar os ingredientes a serem utilizados no processo de constituição do produto. Uma vez concluído este processo de triagem, estes elementos são transportados para a formulação aquosa ou alcoólica, dependendo da sua base, e são introduzidos em tanques onde são misturados, emulsionados, aquecidos ou arrefecidos durante o tempo indicado na fórmula. Trata-se de um processo complexo, onde são considerados diversos fatores tais como a solubilidade dos ingredientes ativos, forma de administração desejada e estabilidade do produto ao longo do tempo, pelo que existem áreas reservadas na unidade industrial para elaboração destas tarefas que foram analisadas em detalhe durante os *gamba walks* realizados.

No decorrer das inspeções visuais, verificou-se que duas das balanças utilizadas na sala da pré-pesagem, ambas modelo *Mettler Toledo IND690*, cujo propósito é pesar paletes de ingredientes, está em funcionamento contínuo, ainda que não esteja a ocorrer um processo que utilize estes equipamentos. Com efeito, foi retirado do manual do fornecedor, que a potência consumida é de 57.5W por unidade, ou 115W considerando as duas balanças. A reduzida taxa de utilização desta sala, levou a que fossem considerados dois tipos de cenários, o primeiro, cenário otimista, prevê uma utilização de 4 horas diárias, pelo que desligar este equipamento poupa 93.27€/ano. Considerando uma situação que se aproxima mais da realidade vivida na unidade industrial de Vale de Cambra, prevê-se a utilização destes equipamentos durante 1.5 horas por dia, o que se poderá traduzir num *saving* de 104.93€/ano.

Uma estufa de matéria prima é uma estrutura especialmente projetada para armazenar e preservar matérias-primas em condições controladas de temperatura e humidade o que garante que as matérias-primas sejam mantidas nas condições ideais para preservar a sua qualidade e integridade uma vez que grande parte dos materiais utilizados são extremamente sensíveis a condições ambientais desfavoráveis. O equipamento atualmente utilizado, conta com 3 câmaras de aquecimento, conectadas por um respiradouro e tubagens de vapor o que é desfavorável para a diversidade de funções que pode desempenhar e para o consumo energético. De forma a realizar a separação dos compartimentos, prevê-se um custo total de 675€ que contempla válvulas, autómatos, instalação e

tubagens cujo o retorno é de 5.1 anos uma vez que existem potenciais *savings* de 131.9€, obtidos através do pressuposto que esta estufa é ligada 50 vezes por ano.

É de extrema importância haver uma boa iluminação nos locais dos produtos a formular dado os inúmeros perigos que o colaborador está exposto enquanto realiza o processo de introdução dos ingredientes que culminam no produto final. Com efeito, foram instaladas luminárias estantes que se encontram a uma distância inferior do solo para que iluminem apropriadamente as tarefas a realizar. No entanto, foi registado em cinco observações distintas que o piso 0 da formulação aquosa estava totalmente ligado sem a presença de um funcionário, cenário que se repetiu na formulação alcoólica, quer no piso inferior quer no piso superior. A colocação de detetores de movimento e temporizadores cujo tempo de acionamento é regulável o garantindo a segurança de todos é de 2373.4€ e tem um retorno de 4.98 anos, associada a uma diminuição de 50% no consumo destes locais, o que se traduz num *saving* de 595.3€/ano.

4.4.2.7 ETARI

A ETARI (Estação de Tratamento de Águas Residuais industriais) é uma infraestrutura projetada para tratar e purificar as águas residuais provenientes das atividades de formulação, banhos e sanitização e que contem uma variedade de contaminantes que necessitam de ser removidos. Durante o processo de tratamento, o fluido é sujeito a filtração, sedimentação e desinfecção e são estudadas posteriormente os seus parâmetros que garantem a devolução ao ecossistema sem qualquer associado.

A estação de tratamento de águas residuais da Colep CP, por mitigação dos riscos associada a uma possível contaminação, é localizada na extremidade do terreno da unidade industrial e operada por dois funcionários durante os dias úteis. A distância considerável que separa a fábrica destas instalações resulta num menor controlo sobre o gasto de energia, pelo que é pertinente observar os dados obtidos, através de levantamentos realizados diariamente. Os resultados indicam que durante o mês de fevereiro de 2023, o consumo máximo diário registado ao fim de semana é de 84.8kW e o consumo mínimo de 56.1kW enquanto que durante a semana o consumo máximo é de 172kW e o mínimo de 54.2kW. A homogeneização dos valores obtidos depende do treino prestado aos funcionários e pode resultar num *saving* mensal de 169.45€ ou de 2033.4€/ano.

Uma filtro-prensa é um equipamento utilizado no processo de separação de sólidos e líquidos provenientes de lamas industriais e desempenha um papel importante na remoção do excesso de água, o que resulta numa redução significativa no volume e na concentração dos resíduos sólidos. Constituído por uma série de placas cobertas por um tecido filtrante, que se mantém em contacto através de um sistema de pressão, o processo de desidratação ocorre através do bombeamento da lama para a prensa, aplicação de pressão no sistema e filtração da água restante. O equipamento atualmente instalado na unidade de enchimento, tem mais de trinta anos e consome 14.4kW para retirar um máximo de 191.6 litros de sólidos, um valor extremamente baixo quando comparado com uma máquina atual que consome apenas 2.2kW e apresenta uma capacidade de 720 litros. De acordo com o fornecedor, o investimento para aquisição de um equipamento novo no valor

de 15473€ culmina numa diminuição de 55% do consumo da ETARI, dado que é o único equipamento utilizado com frequência neste local e resulta numa poupança de 2180.22€/ano e num *payback time* de 7.1 anos.

A *screw press* (prensa de parafuso) e a prensa de filtro que partilham o mesmo objetivo de separar o líquido do sólido, no entanto diferem no seu princípio de funcionamento e características. A prensa de parafuso utiliza um sistema de parafuso helicoidal para comprimir e promover a separação do líquido da parte sólida o que a torna mais compacta e passível de ser operada em contínuo enquanto que a *filter press* utiliza o sistema de placas supra transcrito e exige ciclos de operação intermitentes. A conformidade com as necessidades de tratamento de lamas da fábrica, é conseguida com uma máquina cujo custo 20000€ e que consome apenas 1.3kW, com a capacidade de acomodar 1000 litros. O maior investimento requerido é recuperado a 6.7 anos, uma vez que a poupança total expectável é de 70%.

4.5 Financiamento público

A alteração à realidade vivida na Europa com o conflito decorrente entre a Ucrânia e a Rússia, exige políticas de ação rápida, que combatam a subida sem precedentes do preço dos custos de energia, que está intrinsecamente conectado com a eficiência energética.

A nível internacional foi implementado o RGIC, regulamento geral de isenção por categoria, um conjunto de regras submetidas pela união europeia que permite a que os seus governos concedam fundos públicos a empresas, sem necessidade de solicitar previamente a autorização da Comissão Europeia. Ao simplificar o processo supra transcrito, há uma redução de barreiras previamente presentes, o que por sua vez incentiva os Estados membros à utilizar medidas ambiciosas e a agilizar a descarbonização da indústria.

A nível nacional, a Componente 11 - Descarbonização industrial, está integrada na vertente da Transição Climática do Plano de Recuperação e Recuperação (PRR) e visa tirar partido desta redução das emissões, promovendo a mudança de paradigma na utilização dos recursos, através da implementação do Plano Clima e Energia 2030 (PNEC 2030) e da contribuição para acelerar a transição para uma economia neutra em carbono.

A terceira fase de candidaturas, que deverá iniciar-se em Julho de 2023, promove investimentos a realizar pelas unidades industriais, ao nível de projetos que procurem adotar processos e tecnologias que reduzam as taxas de emissão de carbono, incrementem o número de medidas de eficiência energética e incorporem uma fonte de energia renovável e o seu respetivo armazenamento. O apoio prestado pelo estado tem um limite superior de 55% do valor do projeto, até um valor máximo de 200 000€.

Os apoios criados para usufruto das empresas, visam incrementar a resiliência industrial, designadamente aos efeitos das alterações climáticas, preservar as cadeias de valor e indústrias prioritárias a nível nacional e europeu, apoiar empresas atualmente integradas nestas cadeias e fomentar a inclusão de outros sectores.

A Colep Consumer Products Portugal, a única unidade de enchimento em Portugal e responsável pelo desenvolvimento da zona de Vale de Cambra, deve utilizar as soluções oferecidas para renovação de equipamentos industriais, enquadrado em projetos que visem processos e tecnologias de baixo carbono na indústria, para realizar a instalação de caudalímetros para promover a eficiência energética e para a instalação de painéis fotovoltaicos, isto é, incorporação de energia de fonte renovável e armazenamento da mesma.

4.5.1 Painéis fotovoltaicos

Um painel fotovoltaico, também conhecido como painel solar, é composto por células fotovoltaicas interligadas em série ou paralelo, encapsuladas dentro de um material de proteção, geralmente vidro temperado, e revestidas por uma estrutura metálica resistente. No interior de cada uma das células constituídas por silício, ocorre o fenómeno da absorção da radiação emitida pelo sol, que consiste na assimilação de fótons de luz que fornecem energia suficiente para separar os eletrões dos átomos do material semicondutor, gerando assim um fluxo de corrente elétrica.

Os painéis fotovoltaicos são projetados para serem encontrados em locais com elevada exposição solar, como telhados de edifícios industriais. A energia elétrica gerada pelos painéis pode ser utilizada em duas vertentes distintas, para alimentar aparelhos de iluminação ou para ser armazenada em baterias para uso posterior. Em sistemas conectados à rede elétrica, o excesso de energia produzido pode ser devolvido novamente à rede de volta para diminuir o valor pago na fatura mensal.

A instalação destes equipamentos oferece uma fonte de energia renovável e sustentável que contribui para alcançar maior autonomia energética, redução dos custos de eletricidade e mitigação dos impactos ambientais através da redução de emissões de gases de efeito estufa. Através dos avanços tecnológicos e incentivos governamentais como os descritos no sub capítulo anterior, registou-se um aumento na taxa de utilização dos painéis, dado que se incorporam numa fonte de energia renovável.

A unidade industrial de Vale de Cambra, constituída por vários pavilhões de elevadas dimensões é o local indicado para a instalação destes equipamentos que podem ser utilizados para aquecer a água utilizada nos banhos e na alimentação da caldeira ou para funcionamento como uma UPAC (unidade de auto consumo) - hipótese desenvolvida nesta análise. No período de um mês, a rede de alimentação da fábrica e todas as suas atividades de suporte consomem, em média 205000kW. A visita de um especialista permitiu analisar a radiação solar que incide na UI, a possível dimensão da instalação solar fotovoltaica, a potência dos painéis solares a instalar e o custo de aquisição que culminou na proposta de instalação de 25 painéis solares de grandes dimensões. Assim, a UPAC tem a capacidade de produzir 97000kW/mês, dos quais 77000kW/mês serão utilizados para auto consumo e 20000kW/mês para injetar na rede novamente, o que garante uma taxa de autonomia de 37.6%. Apesar do elevado investimento inicial, cerca de 595500€ e os custos anuais de operação e manutenção de 2725€, caso sejam utilizados os apoios provenientes do PRR, é expectável uma *payback time* inferior a 3 anos.

Capítulo 5

Conclusão

O desenvolvimento do presente projeto tornou evidente a situação da dependência energética mundial face aos combustíveis fósseis. Efetivamente, o atual cenário socioeconómico europeu levou a uma subida rápida do preço da energia o que condiciona a competitividade das empresas quando comparado com diferentes mercados. Assim, a eficiência energética tem que estar no topo das prioridades da empresa para garantir que é extrapolada a maior produtividade possível dos recursos despendidos, sem comprometer a conformidade com as especificações requeridas.

A eficiência da utilização dos recursos energéticos está intrinsecamente conexas à redução da pegada ambiental gerada pela indústria dado que a implementação de medidas neste âmbito incrementa a sustentabilidade. Adicionalmente, a aplicação das ações sugeridas melhora os resultados financeiros da unidade industrial pelo que a sua implementação é mais viável na perspetiva de gestão de topo.

Os novos valores da recentemente revista estratégia empresarial, apelidados de *OurFormula* e introduzidos durante a realização do estágio, promovem a comunicação, sentido de propriedade e agilidade, logo traduzem a importância que todos os colaboradores têm para o sucesso da empresa. Assim, a consciencialização de todos, a todos os níveis, relativamente ao consumo energético é essencial para garantir a longevidade e a sustentabilidade do negócio.

A gestão da energia pode ser traduzida em ganhos por toda a organização, a redução do número de intervenções necessárias permite que a equipa de manutenção aloque este tempo a outras tarefas, o incremento da qualidade irá melhorar a relação com os clientes e facilitar as funções do departamento comercial e os KPIs relativos ao número de unidades produzidas por kWh gasto são melhores pelo que os objetivos traçados no início do ano serão cumpridos. Com efeito, todos os colaboradores devem ser informados das medidas implementadas cujo sucesso deve ter sido em conta aquando a atribuição do prémio mensal e anual de fábrica.

Numa perspetiva de melhoria contínua, a monitorização dos consumos é considerada essencial para acompanhar numa base diária as flutuações registadas. Esta análise permite desconstruir a complexa rede de abastecimento de energia e delinear melhorias que se traduzam em resultados concretos e positivos.

Foi identificado o principal responsável pelo elevado gasto energético da fábrica, o sistema de

ar comprimido que necessita de melhorias significativas, uma vez que grande parte desta fonte de energia é perdida durante o transporte e em fugas que são facilmente identificadas.

Algumas medidas cujo investimento é nulo, foram implementadas mediante o planeamento de produção previamente definido, no entanto, a viabilidade da implementação de todas as ações propostas depende de diversos fatores, como a disponibilidade financeira, a aprovação da equipa da PMT (*plant management team*) e ainda o número de ordens de clientes que necessitam de ser expedidas. Assim, numa fase inicial, sugere-se a implementação de todas as medidas que não requerem qualquer custo, para que os resultados obtidos sejam analisados pela equipa de gestão da empresa RAR o que irá resultar no aumento de verbas para futuros projetos de eficiência energética.

Recomenda-se, no futuro, a execução de todas as medidas sem investimento e de custo moderado, bem como as medidas de substituição de equipamentos que já contam com mais de 20 anos a operar, para que sejam alcançadas as poupanças calculadas. De forma a retirar o máximo partido de todas as possíveis melhorias é recomendado que a *Consumer Products* não prolongue a divisão de recursos com o *Packaging*, uma vez que foram detetadas situações de falta de transparência e inconformidade com os preços praticados pelo mercado e que inviabiliza a realização de alguns projetos de eficiência energética, nomeadamente a instalação de painéis solares que teria de ser conectado ao posto de transformação da outra empresa. Adicionalmente, no desenvolvimento deste relatório surgiram várias dificuldades em estudar o consumo em tempo real, uma vez que o aparelho para medir a potência, foi requisitado pela unidade de plásticos numa fase inicial e não pode ser devolvido apesar das diversas tentativas.

A atual expansão da operação da unidade industrial que ficou com grande parte dos equipamentos e das produções provenientes das fábricas que foram encerradas na Alemanha, exige que seja realizada uma revisão periódica sobre a pegada ecológica da empresa para que sejam definidos os passos seguintes para a redução da mesma. Deve ser retirado o máximo proveito de todos os apoios do estado, ainda que escassos, para a implementação das medidas apresentadas no relatório.

Uma proposta futura seria a criação de um departamento de automação, que permite melhorar o *setup* das linhas e reduzir o desperdício energético. Adicionalmente, a instalação e automação de eletroválvulas e de caudalímetros em locais de alto consumo permite o controlo em tempo real do caudal bem como o bloqueio, com efeito imediato, do seu fluxo.

Considerando o papel fulcral da eficiência energética na indústria, conclui-se que a estratégia apresentada ao longo do documento é fundamental para que a empresa atinja os objetivos de redução de intensidade energética e carbónica das atividades empresariais. Com a implementação de todas as medidas propostas, estima-se que as poupanças possam ascender ao valor de 150000€.

Bibliografia

- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Adeshola, I., and Rjoub, H. (2022). Wavelet analysis of impact of renewable energy consumption and technological innovation on co2 emissions: evidence from portugal. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16):23887–23904.
- Bairrão, D., Soares, J., Almeida, J., Franco, J. F., and Vale, Z. (2023). Green hydrogen and energy transition: Current state and prospects in portugal. *Energies*, 16(1):551.
- Campos, R., OLIVEIRA, L. C. Q. d., Silvestre, B. d. S., and Ferreira, A. d. S. (2005). A ferramenta 5s e suas implicações na gestão da qualidade total. *Simpep–Simpósio de Engenharia de Produção*, 12:685–692.
- Carpinetti, L. C. R. et al. (2012). *Gestão da qualidade*. EDa Atlas SA.
- Correa Soto, J., Borroto Nordelo, A. E., González Álvarez, R., Curbelo Martínez, M., Díaz Rodríguez, A. M., et al. (2014). Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la nc-iso 50001: 2011. *Ingeniería energética*, 35(1):38–47.
- Deshmukh, M. K. G., Sameeroddin, M., Abdul, D., and Sattar, M. A. (2023). Renewable energy in the 21st century: A review. *Materials Today: Proceedings*, 80:1756–1759.
- Jensen, W. A., Jones-Farmer, L. A., Champ, C. W., and Woodall, W. H. (2006). Effects of parameter estimation on control chart properties: a literature review. *Journal of Quality technology*, 38(4):349–364.
- Jimenez, G., Santos, G., Sá, J. C., Ricardo, S., Pulido, J., Pizarro, A., and Hernández, H. (2019). Improvement of productivity and quality in the value chain through lean manufacturing—a case study. *Procedia manufacturing*, 41:882–889.
- Lynch, D. P., Bertolino, S., and Cloutier, E. (2003). How to scope dmaic projects. *Quality progress*, 36(1):37–41.
- Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., and Yap, P.-S. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2):741–764.
- Parker, C. F., Karlsson, C., and Hjerpe, M. (2017). Assessing the european union’s global climate change leadership: from copenhagen to the paris agreement. *Journal of European Integration*, 39(2):239–252.
- Rêgo, P., Rêgo, C., Branco, M., Tomé, L., Brito, M., Carmo, A., Ribeiro, F., Ferreira, J., Ramos, I., Condessa, B., et al. (2021). Estudo do impacto socioeconómico da desativação da central termoelétrica de sines.

- Reynders, P., Kumar, M., and Found, P. (2022). ‘lean on me’: an integrative literature review on the middle management role in lean. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(3-4):318–354.
- Sheikh-Sajadieh, H., Navabakhsh, M., Karimi-Ghartemani, S., and Allameh-haery, F. (2013). Achieve to agility manufacturing by use of seven wastes through lean manufacturing. *Advances in Environmental Biology*, 7(8):1687–1691.
- Shojafar, M., Cordeschi, N., and Baccarelli, E. (2016). Energy-efficient adaptive resource management for real-time vehicular cloud services. *IEEE Transactions on Cloud computing*, 7(1):196–209.
- Silveira, M. P., Alves, J. N., and Flaviano, V. (2013). Os desafios da implantação de um sistema de gestão ambiental: estudo de caso em uma indústria de laticínios. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 2(2):88–106.
- Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., and Gidlund, M. (2018). Industrial internet of things: Challenges, opportunities, and directions. *IEEE transactions on industrial informatics*, 14(11):4724–4734.
- Smith, J. B., Schneider, S. H., Oppenheimer, M., Yohe, G. W., Hare, W., Mastrandrea, M. D., Patwardhan, A., Burton, I., Corfee-Morlot, J., Magadza, C. H., et al. (2009). Assessing dangerous climate change through an update of the intergovernmental panel on climate change (ipcc)“reasons for concern”. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 106(11):4133–4137.
- Talib, F., Rahman, Z., and Qureshi, M. (2010). The relationship between total quality management and quality performance in the service industry: a theoretical model. *Talib, F., Rahman, Z. and Qureshi, MN (2010), “The relationship between total quality management and quality performance in the service industry: a theoretical model”, International Journal of Business, Management and Social Sciences (IJBMS), MultiCraft*, 1(1):113–128.
- Vasconcelos, L. L. D. S. d. et al. (2012). Melhoria da eficiência energética e eliminação do desperdício na fábrica dos plásticos colep portugal sa.
- Vieira, M. A. et al. (2023). *CO2: análise contemporânea no impacto do crescimento econômico e energia sobre a emissão de dióxido de carbono*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Maria.
- Zhang, Q., Irfan, M., Khattak, M. A. O., Zhu, X., and Hassan, M. (2012). Lean six sigma: a literature review. *Interdisciplinary Journal of Contemporary research in business*, 3(10):599–605.

Anexo A

Anexos

A.1 Figuras

Nesta secção dos anexos serão apresentadas algumas imagens que complementam a informação encontrada no corpo de texto, no entanto, por uma questão de espaço não foi possível colocá-las.

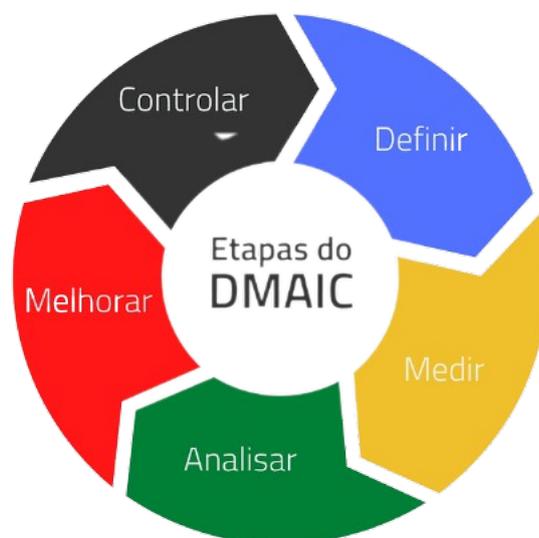


Figura A.1: Etapas DMAIC

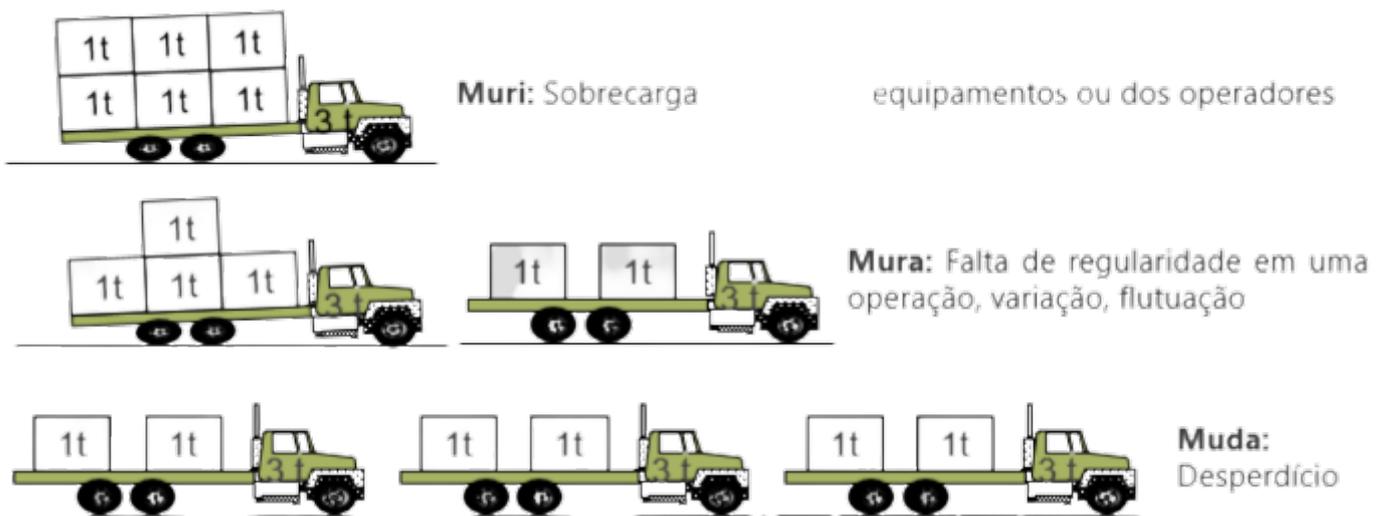


Figura A.2: Conceitos de qualidade: Muda, Mura e Muri



Figura A.3: Equipamento de medição de potência

A.2 Software R Studio

A.2.1 Código para criação de regressões lineares

```

library(readxl)
GN V1 <- read_excel("C:/Users/manue/Downloads/Gás Natural e AC.xlsx")
View(GN V1)
data trabalho <- GN V1
names(data trabalho)
class(data trabalho$m3)
class(data trabalho$kUn)
plot(data trabalho$m3,data trabalho$kUn,main="Scatterplot")
cor(data trabalho$m3,data trabalho$kUn)
?lm
mod GN <- lm(data trabalho$kUn ~ data trabalho$m3)
(mod GN)
mod GN$coefficients
Cubic meter GN <- data trabalho$m3
kUn<- data trabalho$kUn
plot(Cubic meter GN,kUn, pch = 16, cex = 1.3, col = "blue",main="m3 GN consumido vs Kun
produzidas", xlab = "Metros cúbicos GN", ylab = "Milhares de unidades produzidas")
abline(mod GN)
data trabalho 2 <- AC
mod AC <- lm(data trabalho 2$kUn produzidas ~ data trabalho 2$m3(AC))
plot(data trabalho 2$m3(AC),data trabalho 2$kUn produzidas, pch = 16, cex = 1.3, col
="blue",main="m3 AC consumido vs Kun produzidas", xlab = "Metros cúbicos AC", ylab = "Mi-
lhares de unidades produzidas")
abline(mod AC)

```

A.3 Software Anylogic

A.3.1 Noções gerais:

- O anylogic corre das 5h às 17h10 de um determinado dia. Para cada cenário, o anylogic foi corrido para todos os dias analisados;
- Para correr o anylogic, deve-se abrir o *Main*, selecionar o ícone "ExcelOrderInfoInCorrectOrder" e em *file* selecionar um ficheiro excel;
- O nome do ficheiro excel é indiferente, no entanto, deve conter 3 sheets chamadas: "dispickingTimes", "timesPickers" e "timesForklifters" todas preferencialmente vazias, as quais vão, no final da simulação, automaticamente, receber informação, respetivamente, sobre:
 - SKUs que foram feitas em cada *order* pela ordem que efetivamente aconteceu, a *store* associada e as quantidades pedidas de cada SKU (dados que serão utilizados para calcular, em Python, os dispicking times e costs);
 - o tempo, em segundos, que cada forklift operator necessitou para fazer uma "order" (dados que serão utilizados para calcular os custos em forklift operators);

- Existem 3 tabelas de input para o anylogic conseguir correr, as quais podem ser editadas em Database: pickingorder, sku positions, storetable e as quais contêm, respetivamente:
 - as *orders* que vão ser realizadas, especificando as skus e respetivas quantidades pedidas. Como as *orders* variam de dia para dia, esta tabela teve que ser editada para cada dia;
 - A localização das skus varia apenas de cenário para cenário, não sendo necessário alterar esta tabela quando se varia o dia;
 - o horário dos camiões de cada loja no dia analisado. O horário está escrito em segundos entre a hora em que o camião aparece e a hora em que começa a simulação. Quando não existe horário, está escrito 0. Como a análise é feita por dia, esta tabela é alterada para cada dia;
- Quando corrido num computador novo, o anylogic pode não reconhecer as tabelas atuais e obrigar a voltar a escrever estas tabelas. Estas tabelas são copiadas e coladas de excels com esta informação, feitos para todos os dias de todos os cenários. Pode-se dar diretamente upload de um excel e criar a tabela a partir dele, no entanto, às vezes isto deu erros, daí não ter sido feito;
- Nos cenários com maior número de "orders"e, conseqüentemente, de *picking* de skus, poderá ser necessário utilizar o Anylogic Professional, pois surgiu o erro *The model has reached the maximum number of dynamically created agents (50000) for this edition of AnyLogic*;
- A análise do despicking time foi realizada recorrendo à linguagem de python através do compilador PyCharm. Foi utilizada a biblioteca de software Pandas que oferece estruturas e operações criadas para manipulação e análise de tabelas numéricas e séries temporais. Adicionalmente, foi também utilizado o Software Anaconda que visa simplificar a gestão e implementação de pacotes;
- Para a correta utilização deste projeto, deve-se alterar o diretório na linha 13 do código bem como adicionar o novo ficheiro do tipo .xlsx na pasta do programa e garantir que o mesmo está presente na coluna "Project"do compilador;

A.3.2 Código python

```

print(dispatch.head())
Pallet= pd.DataFrame()
Pallet['PalletNr'] = dispatch.PalletNr.unique()
print(Pallet.head())
total = 0
for n in Pallet['PalletNr']:
    aux = pd.DataFrame()
    aux=dispatch.loc[dispatch['PalletNr'] == n]
    mixed=0
    size=len(aux)-1
    for i in range(size,0,-1):
        if aux.iloc[i]['BU'] == aux.iloc[i-1]['BU']:
            mixed = mixed
        if aux.iloc[i]['BU'] != aux.iloc[i - 1]['BU']:

```

```
mixed += 1
time=0
if mixed > 4:
for i in range(0, len(aux), 1):
time += aux.iloc[i]['Quantidade na order'] * 10.2
if mixed == 3:
for i in range(0, len(aux), 1):
time += aux.iloc[i]['Quantidade na order'] * 6.7
if mixed == 2:
for i in range(0, len(aux), 1):
time += aux.iloc[i]['Quantidade na order'] * 4.6
if mixed < 2:
for i in range(0, len(aux), 1):
time += aux.iloc[i]['Quantidade na order'] * 1.4
total += time
print('Pallet:' + str(n) + ' mixed:' + str(mixed) + ' Time: ' + str(time))
print('Total Time: ' +str(total))
print(aux.head())
```