



Sabrina Marques Sintra

Licenciada em Ciências da Engenharia Química e Bioquímica

Estudos de optimização energética e de controlo da qualidade do processo de moldação de injeção de plásticos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Eng.º Carlos Wilson, Empresa Promoplás

Co-orientadores: Prof. Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Madalena Alves Campos de Sousa Dionísio Andrade, FCT/UNL

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Barbosa Mota, FCT/UNL

Vogal: Eng.º Carlos Wilson, Empresa Promoplás



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2015

Sabrina Marques Sintra
Licenciatura em Engenharia Química e Bioquímica

Estudos de optimização energética e de controlo da qualidade do processo de moldação de injeção de plásticos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Eng.º Carlos Wilson, Empresa Promoplás

Co-orientador: Prof. Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Madalena Alves Campos de Sousa Dionísio Andrade

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Barbosa Mota

Março 2015

Optimização de Processos de Produção

Copyright © Sabrina Sintra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor”.

(Este documento está escrito sob regras do velho acordo ortográfico)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às pessoas que tive o privilégio de conhecer e/ou trabalhar e cujo conhecimento e incentivo em muito contribuíram para a elaboração desta dissertação.

À Promoplás pela oportunidade de realizar este trabalho académico através de um estágio curricular na área de injeção de plásticos, que contribuiu bastante para o meu crescimento profissional.

Ao Eng. Carlos Batista pela orientação, tempo despendido, bem como ao Sr. Wilson e ao Edgar por todas opiniões e críticas durante todo o período de seis meses e pela informação facultada, essencial ao desenvolvimento deste trabalho e por toda a disponibilidade.

A Ana e a Sílvia por me terem recebido tão bem, por todo o carinho e amizade que me transmitiram ao longo destes 6 meses.

Aos operadores da Promoplás pela amabilidade que demonstraram em responder a todas as questões.

À Faculdade de Ciências e Tecnologias e respectivo corpo docente, por ter contribuído na expansão do meu conhecimento científico e por me ter proporcionado uma formação exemplar em Engenharia Química e Bioquímica.

Ao meu co-orientador, Prof. Mário Eusébio pela sua disponibilidade, conhecimento transmitido e interesse no trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Aos meus colegas e amigos, pelas longas horas de estudo, por todo o carinho, apoio e motivação que me deram nas alturas mais difíceis. Espero algum dia puder retribuir a vossa amizade.

Para finalizar, agradeço ao meu irmão, David Sintra, que me acompanhou mesmo não estando presente, à minha família, em especial aos meus pais, Jorge e Milita, pelo privilégio que deram em fazer um curso superior, pelos valores transmitidos e pelo orgulho no meu percurso até aqui. É a eles que dedico este trabalho.

Muito Obrigada a Todos!

Resumo

Esta dissertação, para obter o grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica foi realizada no âmbito de um estágio curricular na unidade de produção da empresa Promoplás Lda, na zona industrial da Marinha Grande.

Actualmente as empresas procuram cada vez mais formas de incrementar a sua vantagem competitiva para fazer face à competitividade do mercado. Essa vantagem competitiva começa por vezes pela própria organização da empresa assim como pela optimização dos seus processos.

Este trabalho tem os seguintes objectivos: optimização do processo de arrefecimento de água utilizada na unidade fabril para proceder ao arrefecimento dos moldes, possibilitando uma poupança energética e diminuindo a percentagem de rejeição devido a oscilações na temperatura de arrefecimento; estudar a possibilidade de substituir 2 máquinas hidráulicas por máquinas eléctricas; revisão do plano de controlo da qualidade de modo a diminuir a percentagem de rejeição de produto final não conforme.

Para realizar o estudo de optimização energética do circuito de água de arrefecimento foram monitorizadas as temperaturas ao longo do circuito no final do verão e no início do inverno. Optou-se por isolar os tanques de água fria e de água quente, tendo-se obtido uma poupança mensal na ordem dos 300 euros. Além, desta poupança verificou-se uma maior estabilidade da temperatura de água de refrigeração à entrada das máquinas o que levou a uma diminuição dos problemas relacionados com a refrigeração do molde.

O estudo de substituição das máquinas hidráulicas por máquinas novas revelou que é mais vantajoso adquirir máquinas eléctricas. Como os custos de energia eléctrica de uma máquina de injeção eléctrica são 6 vezes menores que os de uma máquina hidráulica, tanto o VAL como a TIR e como o payback indicam que é vantajosa a opção eléctrica apesar de estas terem custos de investimento superiores.

Para elaborar as propostas de revisão do plano de controlo da qualidade fez-se um estudo detalhado sobre os principais defeitos associados à matéria-prima, aos parâmetros de injeção, à refrigeração do molde, ao modo como é feito o controlo do processo de produção e ao processo de controlo da qualidade do produto acabado. Como conclusão deste estudo foi sugerida a classificação da matéria-prima, do molde e da peça de acordo com a probabilidade esperada de ocorrência de falha no processo de produção. Propõe-se que esta classificação condicione a maneira como é feito o controlo do processo de produção e do processo de controlo da qualidade do produto final, sendo sugerido que a amostragem, o controlo da dimensionalidade da peça, o controlo do peso, o controlo visual de defeitos seja mais rigoroso no caso de situações conjuntas onde a probabilidade de falha seja maior. É sugerida uma classificação em 3 grupos de probabilidade conjunta, correspondentes a graus elevado, médio e baixo de ocorrência de falha.

Foi estudada a substituição de ABS por polipropileno de baixo índice de fluidez. Após um ensaio de injeção de 200 peças conclui-se que a poliolefina é mais vantajosa porque as peças apresentam maior resistência ao impacto, há uma poupança energética de 5% porque o ABS necessita de pré-tratamento, e há um ganho de 35% na margem porque a poliolefina é mais barata.

Palavras-Chave: Injeção, poliolefinas, poupança energética, controlo, optimização energética, qualidade

Abstract

This thesis was executed to obtain the Master degree in Chemical and Biochemical Engineering while doing an internship at production unit of Promoplás Lda.

Nowadays, many companies look for ways to improve their production in order to stay ahead of the competition. To accomplish that, they have to optimize and organize their processes.

This thesis' goals are:

- Optimization of water cooling process, in order to cool the molds. This will allow to save energy and to decrease the rejected product;
- Study to replace two hydraulic machines by electric machines;
- Review of quality control specifications in order to decrease the rejected product;

In order to optimize the water cooling process, the temperatures were studied throughout the process. The cool and hot water tanks were isolated which allowed to save about 300 euros. The water temperature at input presented increased stability, erasing any problem related to the mold refrigeration.

The costs associated to electric energy of an electric injection machine are six times less than the ones associated to a hydraulic machine. Although electric machines have bigger investment costs, values like VAL, TIR and payback period indicate that the best solution is to acquire those machines.

To review the quality control specifications, it was necessary to identify the main flaws associated to polymers, the injection's process parameters, the mold refrigeration and the way that statistical and quality process control are made. Therefore, it was suggested to classify the polymers, molds and pieces accordingly to the expected probability of a process' failure. It is important that this classification limits the way statistical and quality process control are made. To achieve this outcome, when the probability of occurring a failure is high, one should address a more strict control of samples, weight, and piece's flaws.

It was studied the possibility of replacing ABS by polypropylene of low fluidity value. After a 200 pieces essay, it was concluded that using polyolefin is better because the pieces present a higher impact resistance. Also, it allows to save 5% in electric energy and gain 35% once polyolefin is less expensive.

Keywords: injection, polyolefin, energy saving, control, energetic optimization, quality.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	IX
1	
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2 EMPRESA.....	1
1.2.1 Processo de Injecção	2
1.3 POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS.....	3
1.4 MOLDE INJECCÃO	9
1.4.1 Sistemas de refrigeração do molde.....	11
1.4.2 Tipos de circuitos de refrigeração	13
1.5 MÁQUINA INJECTORA	14
1.6 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE INJECCÃO	15
1.6.1 Etapas do ciclo de injecção.....	15
1.6.2 Principais defeitos do processo de injecção	17
1.7 REFRIGERAÇÃO.....	20
1.7.1 Ciclo de Carnot.....	20
1.7.2 Sistemas de refrigeração	21
1.7.3 Fluido refrigerante	21
1.7.4 Ciclos de Refrigeração.....	22
1.7.5 Ciclo de compressão de vapor e os seus componentes	23
BALANÇO ENERGÉTICO:	25
METODOLOGIA	29
2.1 BALANÇO ENERGÉTICO À UNIDADE DE REFRIGERAÇÃO	29
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS MAIS FREQUENTES DE INJECCÃO	30
2.3 AQUISIÇÃO DE NOVAS MÁQUINAS DE INJECCÃO PARA FAZER O REVAMPING DAS MÁQUINAS ANTIGAS.....	30
2.4 PRINCIPAIS PRESSUPOSTOS.....	31
2.5 PROPOSTAS DE MELHORIA DO SISTEMA DE CONTROLO DE QUALIDADE.....	31
RESULTADOS E DISCUSSÃO	33

3.1	OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE REFRIGERAÇÃO.....	33
3.1.1	Hipótese 1: Isolamento dos Tanques.....	38
3.1.2	Hipótese 2: troca dos circuitos de água à temperatura	39
3.2	CAUSAS DE PRODUTO NÃO CONFORME E TIPOS DE DEFEITOS POSSÍVEIS	40
3.3	ENSAIO DE SUBSTITUIÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	42
3.4	MELHORAMENTO PLANO DE CONTROLO DA QUALIDADE	43
3.4.1	Proposta 1- Classificação qualitativa das matérias-primas, do molde e da complexidade da peça.....	44
3.4.2	Proposta 2- Amostragem	48
3.4.3	Proposta 3- Controlo da matéria-prima recepcionada	49
3.4.4	Proposta 4- Controlo do peso do produto através de uma balança por cada posto de controlo	50
3.4.5	Proposta 5- Controlo do tipo de defeito	51
3.4.6	Proposta 6- Melhoria da Rastreabilidade do produto.....	53
4.	SUBSTITUIÇÃO DAS MÁQUINAS DE INJECCÃO	53
4.1	ANÁLISE COMPARATIVA DAS MÁQUINAS A SUBSTITUIR.....	53
4.2	ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO	54
	CONCLUSÕES.....	61
	TRABALHO FUTURO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS.....		67
7.1	ANEXO A- NORMA MIL STD 105D.....	67

Índice de Tabelas

Tabela 1.1: Apresentação das propriedades dos polímeros termoplásticos usados na moldação de injeção.....	9
Tabela 2.1: Temperaturas medidas no circuito de arrefecimento de água.....	35
Tabela 3.1: Dados retirados do diagrama de Mollier.....	38
Tabela 3.2: Custos da aplicação do isolamento dos tanques.....	39
Tabela 3.3: Apresentação das causas e das soluções do empeno das peças.....	40
Tabela 3.4: Apresentação das causas e das soluções da rebarba das peças.....	41
Tabela 3.5: Apresentação das causas e das soluções das falhas de material das peças.....	41
Tabela 3.6: Apresentação dos preços médios do ABS e do PP.....	42
Tabela 3.7: Apresentação das percentagens de produção e de rejeição.....	44
Tabela 3.8: Classificações usadas para o molde.....	45
Tabela 3.9: Classificações usadas para o molde.....	46
Tabelas 3.10 e 3.11: Classificações usadas para a matéria-prima.....	47
Tabelas 3.12; 3.13 e 3.14: Classificações usadas para as peças.....	49
Tabelas 3.15; 3.16 e 3.17: Atribuição do código de cor.....	50
Tabela 3.18: Tempo da amostragem consoante o produto.....	53
Tabela 3.19: Custos da implementação das balanças na unidade fabril.....	54
Tabela 4.1: Caracterização do Cenário A.....	55
Tabela 4.2: Caracterização do Cenário B.....	56
Tabela 4.3: Valores da energia em KW.....	59
Tabela 4.4: Custos do Cenário A.....	59
Tabela 4.5: Custos do Cenário B.....	60
Tabela 4.6: Principais resultados do Cenário A e B.....	60

Índice de Figuras

Figura 1.1: Unidade fabril da Promoplás.....	2
Figura 1.2: Plastómetro.....	4
Figura 1.3: Representação da cristalinidade de um polímero em função da massa molar.....	5
Figura 1.4: Relação da massa molar em função do índice de fluidez.....	6
Figura 1.5: Curva típica de distribuição de massa molar (DMM) de um polímero.....	7
Figura 1.6: Curva de G' e G'' para um dado polímero, indicando o deslocamento MM e DMM.....	8
Figura 1.7: Ilustração básica de um molde de injeção.....	10
Figura 1.8: Molde de injeção de plásticos e os seus circuitos de refrigeração.....	11
Figura 1.9: Circuito de refrigeração de um molde para uma determinada peça.....	12
Figura 1.10: Circuito de refrigeração da cavidade e da bucha para uma determinada peça.....	12
Figura 1.11: Máquina injectora com a descrição das suas unidades.....	14
Figura 1.12: Etapas do ciclo de injeção.....	15
Figura 1.13: Etapas do ciclo de moldação.....	16
Figura 1.14: Fluxograma da relação entre os parâmetros de injeção e os defeitos de moldação.....	19
Figura 1.15: Diagrama do ciclo de Carnot.....	20
Figura 1.16: Diagrama de Mollier.....	22
Figura 1.17: Ciclo de compressão de vapor.....	23
Figura 1.18: Diagrama p-h do ciclo de Carnot.....	24
Figura 1.19: Balanço ao compressor.....	25
Figura 1.20: Compressor semi-hermético a piston.....	26
Figura 1.21: Balanço ao condensador.....	26
Figura 1.22: Balanço energético ao evaporador.....	28
Figura 1.23: Balanço a válvula de expansão.....	28
Figura 1.24: Termómetro digital.....	29
Figura 1.25: Conceito de taxa de rentabilidade.....	31
Figura 1.26: Circuito de água da Promoplás.....	33
Figura 1.27: Informações relativas a bomba.....	35
Figura 1.28: Curva característica da bomba.....	36

Figura 1.29: Representação do ciclo do gás R407c no diagrama de Mollier.....	37
Figura 1.30: Representação da aplicação do isolamento.....	38
Figura 1.31: Tanque de água.....	39
Figura 1.32: Sistema e balanças propostas.....	51
Figura 1.33: Caixas para a proposta.....	52
Figura 1.34: Break even máquina hidráulica para o Cenário A.....	55
Figura 1.35: Break even máquina eléctrica para o Cenário A.....	56
Figura 1.36: Representação do Payback no Cenário A.....	57
Figura 1.37: Break even máquina hidráulica para o Cenário B.....	58
Figura 1.38: Break even máquina eléctrica para o Cenário B.....	58
Figura 1.39: Representação do Payback no Cenário B.....	59
Figura 1.40: Norma MIL STD 105D usada para efectuar a amostragem do produto embalado.....	67



Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

As empresas Portuguesas têm de fazer face ao aumento na internacionalização dos mercados e de uma economia globalizada que tem favorecido uma procura crescente por produtos e serviços mais eficientes. Produtos que ofereçam uma maior qualidade, ao menor custo em tempo adequado de execução, com o intuito de atender as expectativas desse mercado cada vez mais exigente e competitivo.

A Promoplás é uma empresa especializada em injeção de plástico, produzindo diversos produtos. Este processo de injeção é bastante minucioso, requer cuidados redobrados por parte dos operadores para que não ocorram falhas que se tornem significativas para a empresa, ao nível da produção.

Diante este contexto e devido a elevada concorrência no mercado dos plásticos é necessário destacar-se. Uma forma de se destacar é certificar-se relativamente a qualidade dos produtos produzidos. A Promoplás posiciona-se numa procura constante de optimização dos processos de produção para garantir um lugar de destaque nos diversos segmentos, com total controlo do processo produtivo.

É muito importante, para as empresas serem competitivas para o mercado global, nesse sentido é feito, optimizações energéticas ao processo, identificando as causas das falhas mais comuns, diminuindo desta maneira a percentagem de produto não conforme, utilizando formas de controlo mais eficiente do processo de produção. Também é muito importante o controlo da qualidade do produto final com o objectivo de reduzir o número de devoluções e reclamações por parte dos clientes.

1.2 Empresa

A Promoplás é uma empresa especializada em injeção de plástico. Desenvolve uma vasta gama de produtos plásticos, tais como: baldes, caixas plásticas, cápsulas de iogurtes, peças para máquinas de café, entre outros.



Figura 1.1: Unidade fabril da Promoplás [1]

A Promoplás destaca-se no mercado nacional e internacional pela aposta na qualidade e rigor, que mantém a empresa numa posição de relevo no âmbito das parcerias com empresas de referência [1]. Mantém um conceito que prima pela proximidade com o cliente aliada à qualidade dos produtos e ao rigor nos prazos de entrega. A Promoplás exporta para Espanha, França, Bélgica e Alemanha. Em 2013 apresentou uma taxa de exportação de 28% e uma variação do volume de negócios de 23,8% [2].

A Promoplás iniciou a sua actividade na zona industrial da Marinha grande em 1990 e actualmente é uma empresa certificada e qualificada pelas normas ISO 9001 referente a qualidade do produto, ISSO 14001 referente ao ambiente e a FSSC 22000 que diz respeito a segurança alimentar. A empresa tem como objectivo o desenvolvimento de moldes e produção de peças em plástico por injeção de alta qualidade.

1.2.1 Processo de Injecção

Patenteado pelos irmãos Hyatt em 1872, o processo de injeção é um processo de transformação de plásticos. A Injecção é uma técnica de moldação onde o material é fundido no interior de um cilindro e empurrado por um fuso para preencher um determinado molde. De seguida, o material é arrefecido e a peça é retirada da máquina de injeção. Os materiais injectados classificam-se como termoplásticos. Estes materiais são rígidos à temperatura ambiente e tornam-se viscosos quando são aquecidos. Podem processar-se diversas vezes sem que as suas propriedades sejam afectadas significativamente.

As indústrias de transformação de plásticos pelo processo de injeção são diferenciadas pelo tipo de produto que produzem. Este tipo de processo atende às mais diversificadas áreas

no mercado, como exemplos temos: alimentar, automóveis, electrodomésticos, embalagens, construção civil, entre outros.

A moldação por injeção apresenta diversos benefícios, tais como:

- ➔ Transformação directa da matéria-prima para o produto final;
- ➔ Alta reprodutibilidade;
- ➔ Produção de diversificadas peças (formas, tamanhos e cores);
- ➔ Necessidade de poucos acabamentos para os produtos moldados;

Apesar das vantagens acima referidas, é muito importante ter em mente a complexidade deste processo devido à diversidade de produtos, com geometrias simples ou complexas, de peças extremamente pequenas até peças de grandes dimensões, de peças robustas até peças que requerem um rigoroso controlo dimensional, de peças extremamente leves, com menos de um grama, até peças de maior peso, peças de elevada espessura a outras de espessura finíssima.

Esta complexidade e variabilidade do produto final faz aumentar o número de variáveis a considerar no controlo do processo e no controlo de qualidade. Estas variáveis estão relacionadas com a matéria-prima, o molde, a máquina, as operações de controlo do processo e as características pretendidas para o produto final. Estas variáveis necessitam de um controlo constante para que não ocorram falhas no processo tendo como consequência obtenção de produtos não conformes, provocando prejuízos para a empresa. De modo a evitar esse fenómeno, torna-se fundamental que o processo seja cuidadosamente entendido e conhecido de forma a maximizar a produção de peças com elevada qualidade a baixo custo de produção. [3]

1.3 Polímeros termoplásticos

No processo de moldação por injeção os polímeros são classificados como termoplásticos. Os termoplásticos são polímeros que a uma dada temperatura atingem um estado de amolecimento, podendo ser moldados e solidificados. Quando são arrefecidos mantém a forma que lhes foi imposta. Estes polímeros podem ser submetidos a este fenómeno anteriormente definido diversas vezes sem sofrerem alterações na sua estrutura química.

Os polímeros apresentam propriedades muito diversificadas, havendo dois parâmetros fundamentais que os diferenciam e que revelam uma elevada importância do desempenho do processo de moldação por injeção de plásticos. Esses parâmetros são: o índice de fluidez e a distribuição dos pesos moleculares.

Analisando o índice de fluidez, percebe-se que é ele que caracteriza as propriedades do fluxo dos polímeros quando estes são fundidos. O comportamento do polímero fundido depende do tempo, temperatura, tensão e taxa de cisalhamento. A viscosidade atribuída ao fluxo do termoplástico fundido é uma consideração muito importante durante o processo de

moldação por injeção. A viscosidade representa a resistência que um material tem no sentido de fluir, é inversamente proporcional à fluidez.

O índice de fluidez define-se como sendo a quantidade em gramas de polímero, que flui durante 10 minutos através de um orifício calibrado, em condições de força e de temperatura definidas. Por exemplo: carga de 2,160 Kg e temperatura 190°C. A figura 1.2 representa o aparelho usado para efectuar a medição do índice de fluidez, designado por plástometro.



Figura 1.2: Plastómetro [4]

O equipamento determina o fluxo do material derretido, o volume do fluxo de material derretido e a densidade da resina termoplástica derretida.

Por sua vez, as propriedades finais de um determinado polímero são fortemente dependentes dos seus pesos moleculares médios e da largura da distribuição de peso molecular. A fracção de menor peso molecular é responsável pela boa processabilidade do polímero, por outro lado, a fracção maior peso molecular proporciona boas propriedades mecânicas.

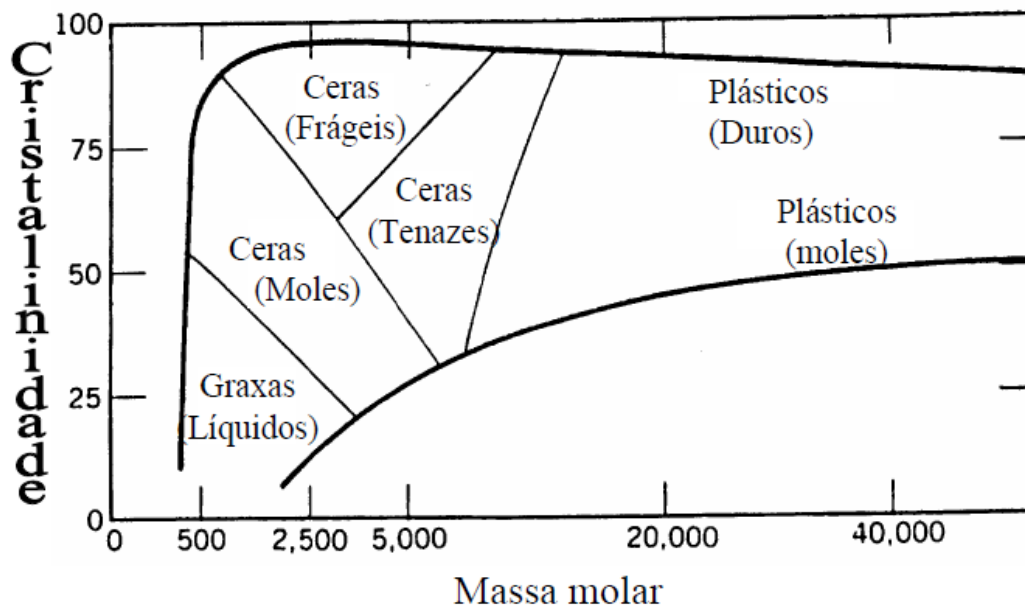


Figura 1.3: Representação da cristalinidade de um polímero em função da massa molar

A figura 1.3 relaciona a influência da cristalinidade de polímeros em função da sua massa molar.

No polímero fundido, as cadeias moleculares adquirem formas irregulares quando se ligam entre si, ou seja, o aumento da massa molar (MM) provoca o aumento da viscosidade no estado fundido e aumenta a tenacidade no estado sólido [8].

Entre o índice de fluidez e o peso molecular existe uma correlação que permite mostrar que o peso molecular médio (MV) diminui com o aumento do índice de fluidez, isto verifica-se uma vez que o processo de degradação envolve preferencialmente a cisão das moléculas de maior tamanho.

Tomando como exemplo o polietileno, uma forma de estimar indirectamente a MM de um polietileno é o índice de fluidez (MFI-Metl Flow Index) do polímero fundido. Pela figura 1.4 verifica-se que a massa molar é inversamente proporcional ao MFI. No caso dos polietilenos com maior MM, implica que apresentam menor fluidez, apresentam maior viscosidade quando fundido, no entanto, possuem melhores propriedades mecânicas [8].

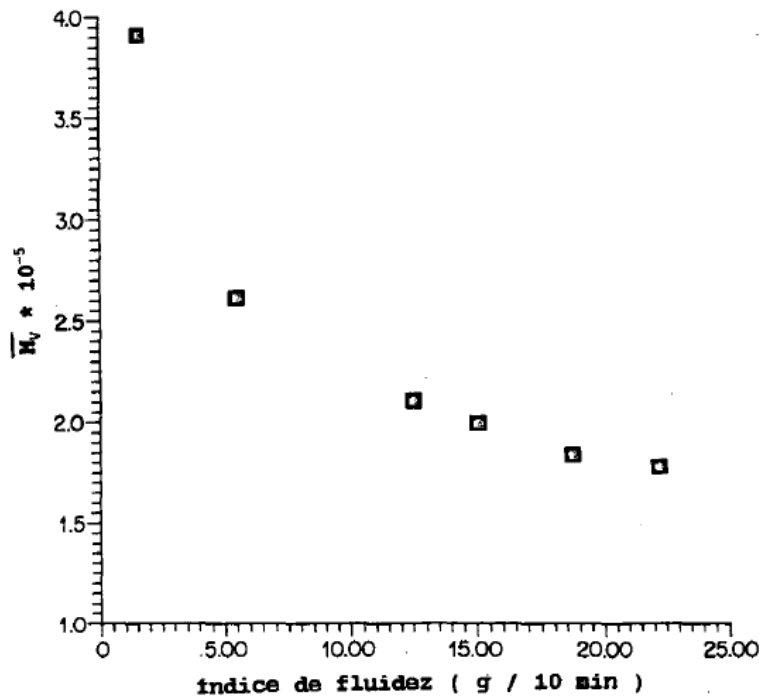


Figura 1.4: Relação da massa molar em função do índice de fluidez [5]

As principais massas molares médias podem ser calculadas através das seguintes equações apresentadas:

- Massa Molar Numérica Média (M_n):

$$\overline{M}_n = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i} \quad (\text{Equação 1})$$

- Massa Molar Ponderal Média (M_w):

$$\overline{M}_w = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i (M_i)^2}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i M_i} \quad (\text{Equação 2})$$

- Massa Molar Z-médio (M_z):

$$\overline{M}_z = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} N_i (M_i)^3}{\sum_{i=1}^{\infty} N_i (M_i)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

A razão M_w/M_n é chamada de índice de polidispersividade, sendo uma estimativa da distribuição de massa molar (DMM). A figura 1.5 representa uma curva típica de DMM onde se observa que as médias M_w e M_z são mais susceptíveis à presença de moléculas de elevada massa molar, enquanto que a M_n é mais susceptível às moléculas de menor massa molar [18].

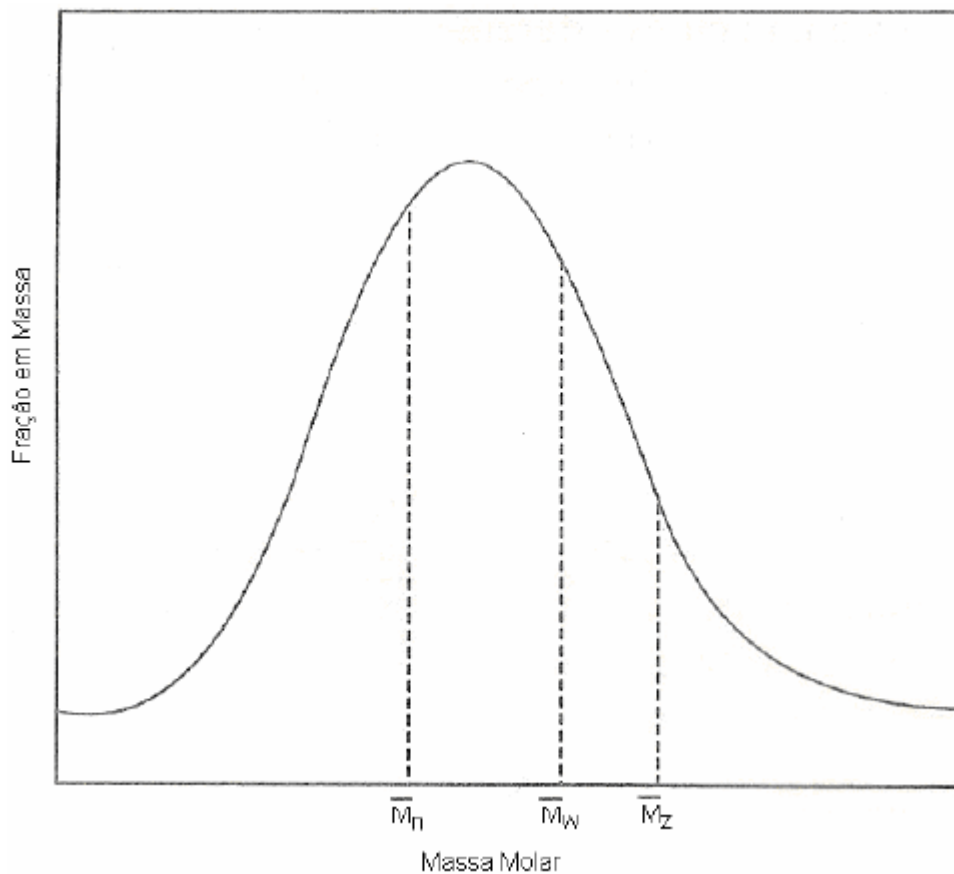


Figura 1.5: Curva típica de distribuição de massa molar (DMM) de um polímero [18].

Outra forma usada na indústria para estimar a DMM é o FRR (Flow Rate Ratio), representa a razão entre o índice de fluidez medido em duas condições diferentes de carga. A partir de essa relação é possível prever-se o comportamento do material durante a sua transformação, pois perante um maior FRR indica uma DMM mais larga [8].

Desta forma é possível concluir que quanto maior a MM e menor DMM, influência a que ocorram desenvolvimentos de tensões e de deformações durante o fluxo, modificando-se o comportamento do polímero [18].

Outra das propriedades, que no estado fundido variam com a MM e com a DMM, são as propriedades viscoelásticas representadas por G' e G'' . Na figura 1.6 permite indicar para que direcção o ponto $G'=G''$ vai se deslocar se a MM e a DMM forem modificados. Através desse ponto de intersecção é possível determinar o PI (Polidispersivity Index) que indica a DMM do polímero [18].

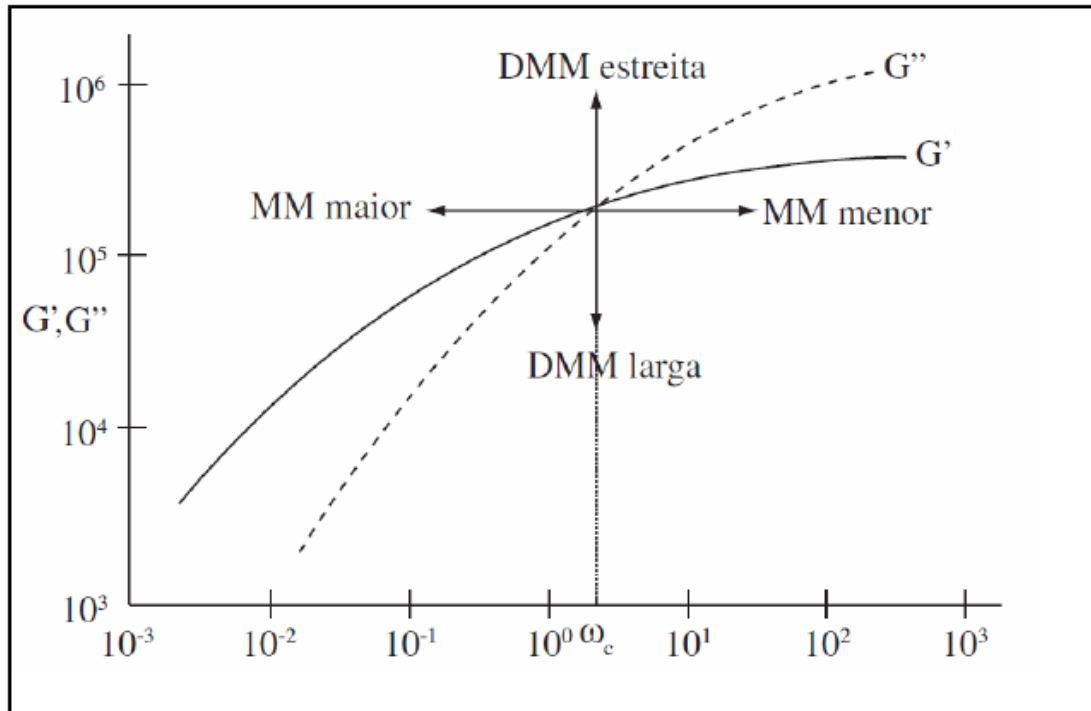


Figura 1.6: Curva de G' e G'' para um dado polímero, indicando o deslocamento MM e DMM [18].

As análises reológicas são muito utilizadas para se obter informações da DMM dos polietilenos. Uma DMM mais larga apresenta comportamentos mais pseudoplásticos e consequentemente, terão maior redução da viscosidade com o cisalhamento em relação aos tipos com a DMM mais estreita [18].

No processo de moldação de injeção de plásticos, os polímeros mais utilizados apresentação na Tabela 1.1 com as propriedades de cada um. Nomeadamente, peso específico, a percentagem de contracção, temperatura de injeção e a temperatura do molde.

Tabela 1.1: Apresentação das propriedades dos polímeros termoplásticos usados na moldação de injeção [6] [7] [9].

Material	Símbolo	Morfologia	Peso específico (g/cm ³)	Contração %	Temperatura de Injeção °C	Temperatura do Molde °C
Polipropileno	PP	Cristalino	0,91	1,0-3,0	200-220	30-60
Polipropileno Homopolímero	PPH	Cristalino	0,92	1,2-2,2	180-230	50-70
Polipropileno Copolímero	PPC	Cristalino	0,91	1,2-2,3	180-230	50-70
Polipropileno Random	PPR	Cristalino		1,2-1,3	180-230	40-70
Poliétileno Baixa Densidade	PEAD	Cristalino	0,96	2,0-4,0	185-220	20-70
Poliétileno Alta Densidade	PEBD	Cristalino	0,92	1,5-3	150-175	30-50
Poliestireno	PS	Amorfo	1,05	0,2-0,6	180-210	
Policarbonato	PC	Amorfo	1,2	0,4-0,8	270-320	85-120
Poliámidas 6.6	PA	Cristalino	1,14	1,5 - 2,2	250-270	70-100
Poliacetil	POM	Cristalino	1,41	2	200-220	80-120
Acrilonitrila Butadieno Estireno	ABS GP22	Amorfo	1,04	0,5-0,8	190-230	40-80

1.4 Molde Injeção

O molde injeção é um componente de elevada importância e fundamental no processo de injeção de plásticos. É complexo e de elevado custo monetário. Um molde de injeção é definido como uma ferramenta que é construída individualmente seguindo algumas instruções relativamente ao produto final que se pretende obter. As cavidades do molde contêm as formas e dimensões da peça desejada. O molde é colocado na máquina injetora e recebe na sua cavidade, a matéria-prima fundida, que é levada para o interior da cavidade por pressão exercida sobre a mesma. A variedade de um molde é imensa, pois ele é projectado consoante a peça pretendida, Um molde de injeção pode apresentar diferentes configurações e grau de complexidade tudo em função da peça desejada, da produtividade solicitada, do custo do molde e do grau de dificuldade de injectar-se uma determinada matéria-prima. Isto são todos factores a ter em conta na projectação de um molde.

O molde de injeção é constituído por um conjunto fixo e um outro móvel, como está representado na figura 1.7. Eles podem constituir uma ou mais cavidades que dão forma ao produto.

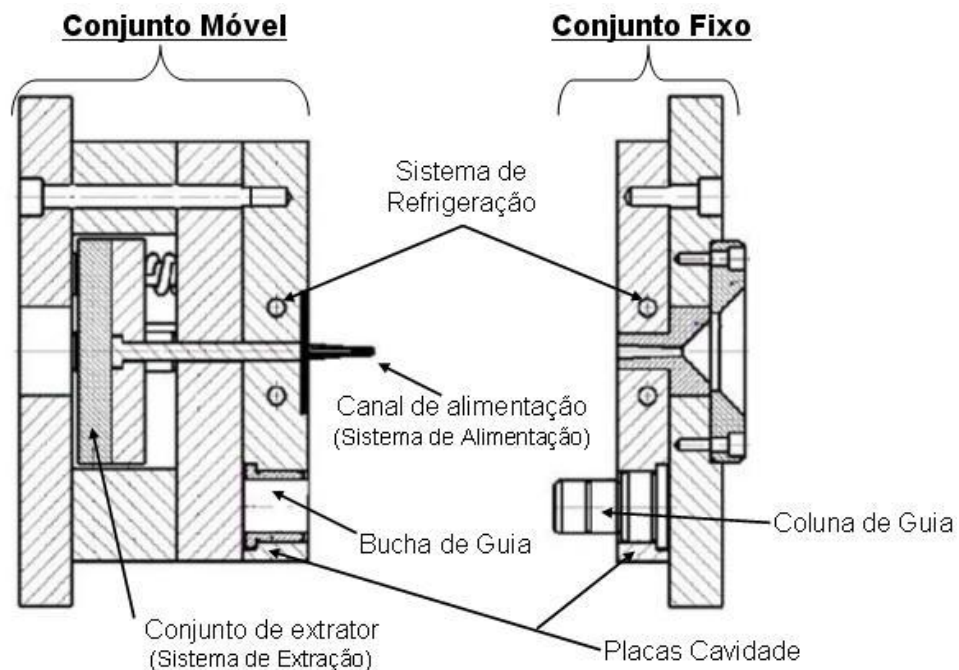


Figura 1.7: Ilustração básica de um molde de injeção [10]

Como se observa na figura 1.7 os conjuntos de um determinado molde são compostos por: um sistema de refrigeração que permite dissipar o calor para que ocorra o arrefecimento da peça, sendo possível efectuar a sua extracção; sistema de alimentação que tem a funcionalidade de mandar o material fundido para dentro das cavidades exercendo pressão; sistema de extracção que serve para empurrar a peça que foi moldada para fora do molde e por fim, os elementos de alinhamento (guias) com a funcionalidade de proceder ao alinhamento do conjunto fixo com o móvel [10].

Tanto o sistema de alimentação como o sistema de extracção são influenciados pela forma da peça, da matéria-prima a ser injectada e pela máquina injectora.

É importante realçar que cada elemento ou sistema do molde são determinados, pela experiência prática do projectista, através de cálculos e simulações em *softwares* adequados, para garantir a funcionalidade do molde durante o processo de injeção. É sem dúvida uma grande responsabilidade para o projectista, pois se o molde não estiver em excelentes condições de funcionamento, toda uma produção vai em vão e torna-se um grande prejuízo para a empresa, pois é o funcionamento do molde que garante a qualidade e características exigidas numa determinada peça durante a transformação da matéria-prima [11] [12].

Para este estudo, focou-se no sistema de refrigeração do molde, que possui um papel muito importante no processo de injeção de plásticos. No processo de injeção o grande objectivo é obter ciclos de injeção mais curtos, de forma a aumentar a produtividade. Uma forma de diminuir esses ciclos de injeção está no controlo da velocidade de arrefecimento do molde [12].

1.4.1 Sistemas de refrigeração do molde

Trata-se de um processo que permite diminuir, de forma rápida e constante, a temperatura da peça moldada até atingir o seu estado sólido, mantendo a sua forma e resistindo à extracção sem sofrer deformações. Este processo de arrefecimento do molde depende: da temperatura externa da superfície do molde, do ambiente que circunda o molde e da matéria-prima que é injectada. Esta fase de arrefecimento da peça no molde é na maioria das vezes a mais demorada de todas as etapas que constituem o ciclo de injeção, sendo também o sistema que apresenta mais dificuldades a ser projectado durante a excussão do projecto de um molde [12]. A figura 1.8 ilustra um molde de injeção de plásticos, onde é possível visualizar as entradas e saídas dos circuitos de água de arrefecimento.

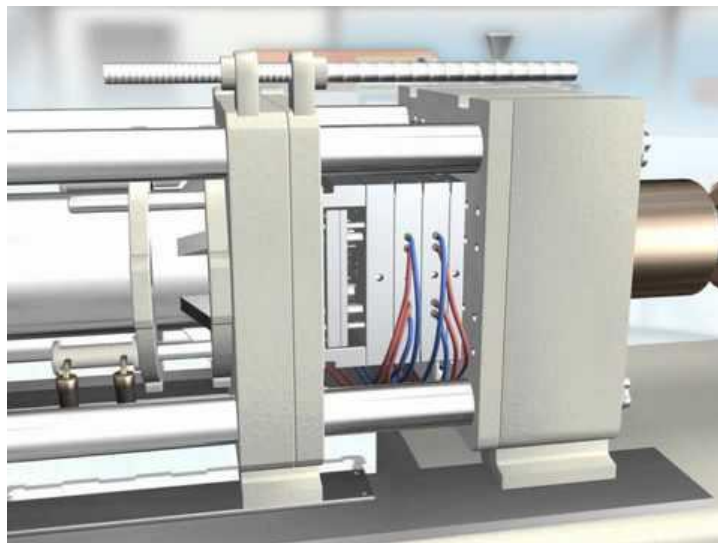


Figura 1.8: Molde de injeção de plásticos e os seus circuitos de refrigeração [13]

Um parâmetro fundamental no arrefecimento do molde é a velocidade a que esse arrefecimento é realizado. A velocidade de refrigeração do molde é um factor decisivo no desempenho económico de um molde de injeção, pois define as propriedades da peça e tem uma influência directa no tempo do ciclo de injeção. A principal função do sistema de refrigeração é permitir o controlo da velocidade com que ocorre o arrefecimento da peça, pois se o controlo for eficaz, permite obter condições adequadas ao fluxo do material no interior do molde, garantindo o arrefecimento da peça moldada. Desta forma, obtém-se um aumento na produtividade em função da redução do tempo de ciclo de injeção [12].

Se tivermos uma refrigeração adequada, obtém-se um produto melhor e consequentemente um ciclo mais curto. Caso contrário, em que a refrigeração não é a mais adequada, verificam-se defeitos no produto final e obtém-se ciclos de injeção muito mais longos.

Contudo há alguns aspectos que influenciam directamente a eficiência de refrigeração do molde, tais como:

- A estrutura da peça;
- O tipo de matéria-prima e a temperatura do seu processamento;
- A entrada do canal de refrigeração próximo do bico de injeção, pois é a região de maior acúmulo de calor;
- O dimensionamento e localização adequada dos sistemas aplicados aos moldes;
- O acabamento superficial do molde e da peça que se pretende alcançar;

A refrigeração do molde procede-se com a circulação de um fluido, neste caso, água a circular no interior do molde através de canais em circuito fechado [13].

Nas Figuras 1.9 e 1.10, observa-se um circuito de refrigeração implementado para o arrefecimento de uma peça. Tem-se os canais que refrigeram a parte interna da peça, denominados por bucha e os canais que refrigeram a parte externa da peça designados por cavidade. É no interior desses canais que a água circula para realizar o arrefecimento da peça em diferentes pontos [13].

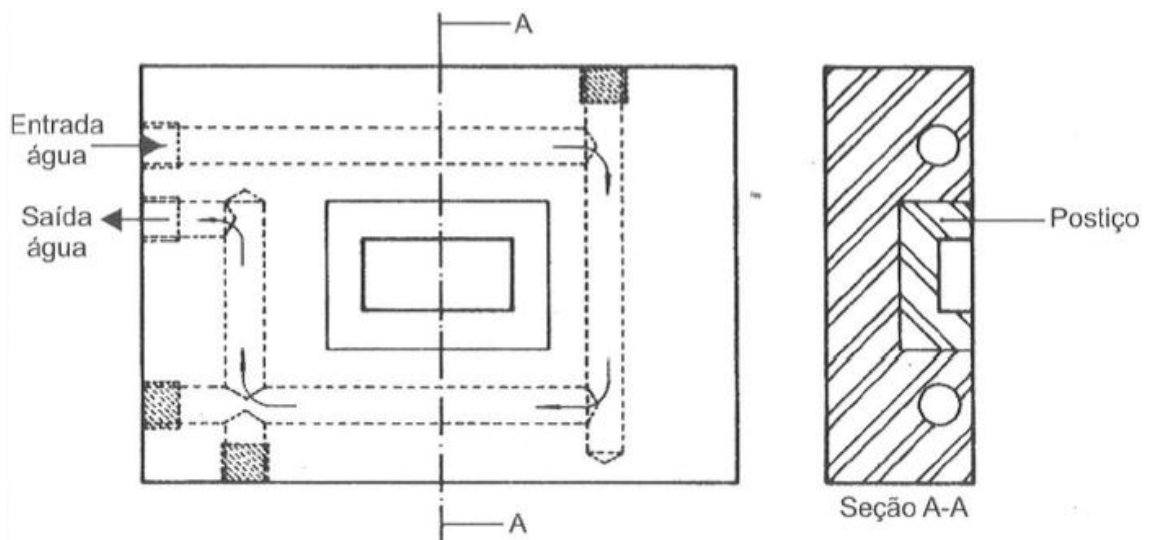


Figura 1.9: Circuito de refrigeração de um molde para uma determinada peça [13]

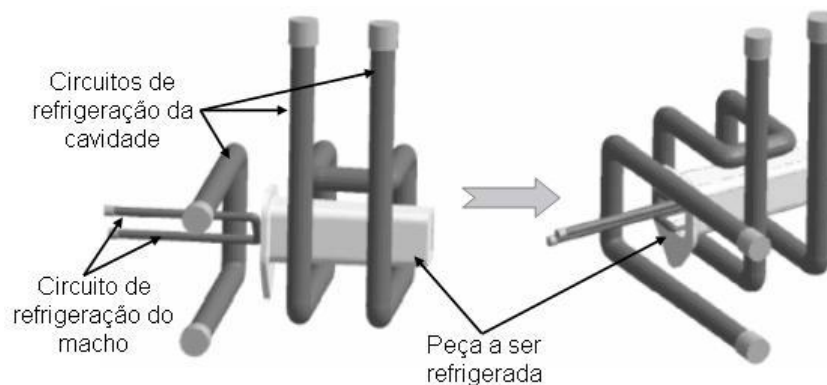


Figura 1.10: Circuito de refrigeração da cavidade e da bucha para uma determinada peça [13]

Quanto mais circuitos independentes (entra e saída) de refrigeração houver num molde, consegue-se ter um maior controlo da temperatura. Este arrefecimento é muito importante, porque em casos onde o molde é demasiado arrefecido, o fluxo de matéria-prima injectado é dificultado, podendo nem chegar a preencher o molde na sua totalidade, provocando moldações incompletas e as peças apresentam tensões internas evidentes. No entanto também temos os casos em que o molde não é arrefecido e fica demasiado quente. Neste último caso, o fluxo de matéria-prima injectado é facilitado, pois encontra-se num estado mais fluido e as peças apresentam-se com um melhor aspecto superficial e com menores tensões internas, no entanto, a peça vai contrair muito mais e o seu tempo de contracção vai ser muito superior provocando tempos de ciclos de produção mais longos, aumentado significativamente o custo da peça [14].

Para evitar estes acontecimentos anteriormente referidos, é muito importante o controlo da temperatura no sistema de arrefecimento do molde. Pois um mau controlo pode provocar danos de elevados prejuízos numa só produção. No entanto há situações em que a refrigeração do molde é feita através óleo ou água a temperaturas elevadas de modo a realçar algumas características da peça ou da matéria-prima injectada. Por exemplo: peças escuras com brilho [14].

1.4.2 Tipos de circuitos de refrigeração

Conforme a superfície externa da peça (cavidade) e a sua superfície interna (bucha), os sistemas de refrigeração aplicados aos moldes possuem circuitos diferentes [14].

Os mais comuns são:

- **Sistema de furação em “U”**: este tipo de circuito é utilizado quando se pretende arrefecer as cavidades da peça com uma estrutura longa e altura reduzida.
- **Sistema de furação em “Z”**: estes sistemas são aplicados na refrigeração de moldes com duas ou mesmo de uma só cavidade, quando a peça apresenta uma grande área.
- **Sistema de furação em circuito “rectangular”**: utiliza-se na refrigeração de cavidades que apresentam um perfil rectangular, podendo as cavidades se apresentarem com pouca ou muita profundidade.
- **Sistema de circuito em “espiral”**: este sistema é aplicado na presença de peças de grandes dimensões, como a injeção de baldes e bacias. É aplicado na configuração da cabeça das buchas e no fundo das cavidades que apresentam a forma cilíndrica.

Para uma boa eficiência de um sistema de refrigeração, a diferença entre as temperaturas de entrada e saída do fluido, neste caso água, deve ser a mínima possível. Estes sistemas anteriormente apresentados são apenas os mais comuns, dependendo da peça pretendida.

1.5 Máquina Injectora

Uma máquina injectora é constituída por duas unidades: a unidade de injeção e a unidade de fechamento. Na figura 1.11 está representada uma máquina injectora com as suas duas unidades.

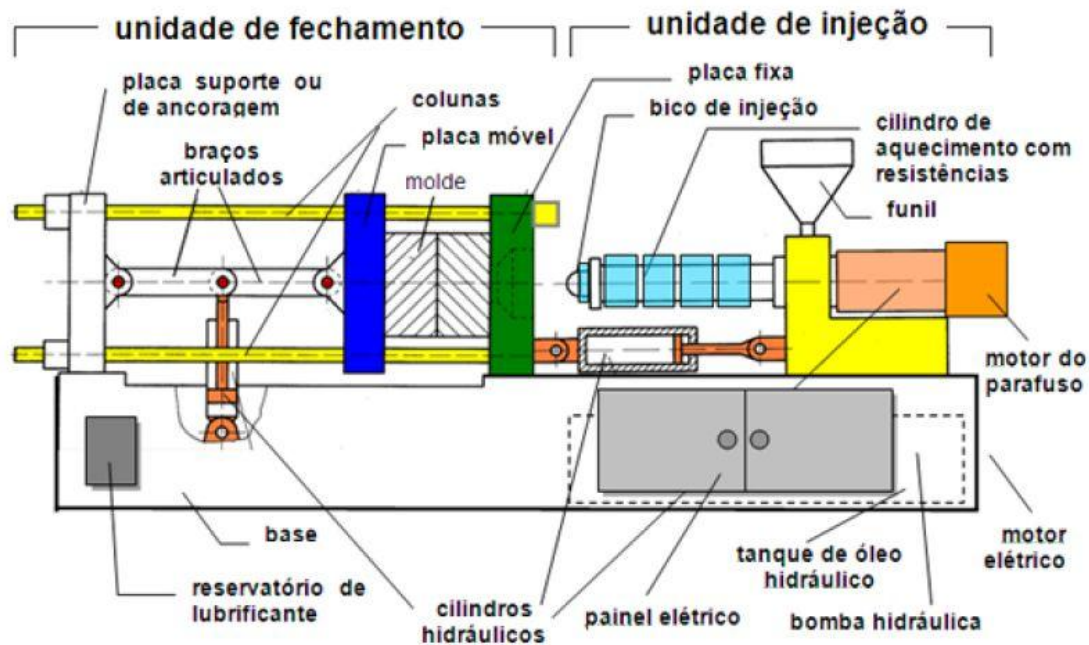


Figura 1.11: Máquina injectora com a descrição das suas unidades [15]

A unidade de injeção é onde ocorre toda a transformação da matéria-prima antes de ser moldada. A matéria-prima é colocada num funil de alimentação, de seguida, é transferida para um cilindro que se encontra aquecido para permitir fundir o polímero e homogeneiza-lo e transporta-lo até ao bico de injeção onde será transferido para o interior do molde que fica alojado entre as placas fixas e móveis da máquina na unidade de fecho. Na unidade de fecho é onde o polímero ganha a forma desejada. Após o polímero ser injectado para o interior do molde, ocorre a solidificação da peça, o molde abre e a peça é extraída [16].

Em termos de operação do processo, as variáveis envolvidas são controladas através da máquina por microprocessadores e sensores, sendo o operador a inserir os valores das variáveis no sistema da máquina.

Existem máquinas injectoras hidráulicas, híbridas e eléctricas. O estudo efectuado na empresa Promoplás focou-se nas máquinas hidráulicas e eléctricas, devido a este ser o principal foco da empresa.

As máquinas de injeção têm que efectuar vários tipos de movimentos: carregar, injectar, abrir e fechar o molde, extrair a peça, entre outros. A máquina hidráulica trabalha através de um motor hidráulico necessitando de óleo para o seu funcionamento, onde todos os

movimentos ocorrem devido a pressão do óleo. Há um motor que está em funcionamento permanente, independentemente do movimento, o que provoca grandes consumos de energia. Por sua vez, uma máquina eléctrica possui servomotores independentes para cada movimento realizado, utilizando assim apenas a energia necessária para cada operação, consequentemente, diminuindo o consumo energético. Quando se escolhe uma máquina de injeção tem-se de considerar vários factores, nomeadamente a qualidade, o consumo de energia e a eficiência [17].

1.6 Descrição da unidade de Injecção

A unidade de injeção é composta por um funil de alimentação, fuso de plastificação, cilindro de plastificação, bico de injeção, resistências eléctricas, motor de dosagem, actuadores hidráulicos de injeção e de avanço e recuo do fuso. Esta unidade é responsável pelas etapas de alimentação, compressão, fusão e injeção do material termoplástico.

1.6.1 Etapas do ciclo de injeção

O processo de moldação por injeção é um processo cíclico, de forma a entender melhor o processo procedeu-se a descrição das diversas etapas do ciclo. Na figura 1.12 e 1.13 tem-se a representação das diferentes fases do ciclo de injeção.

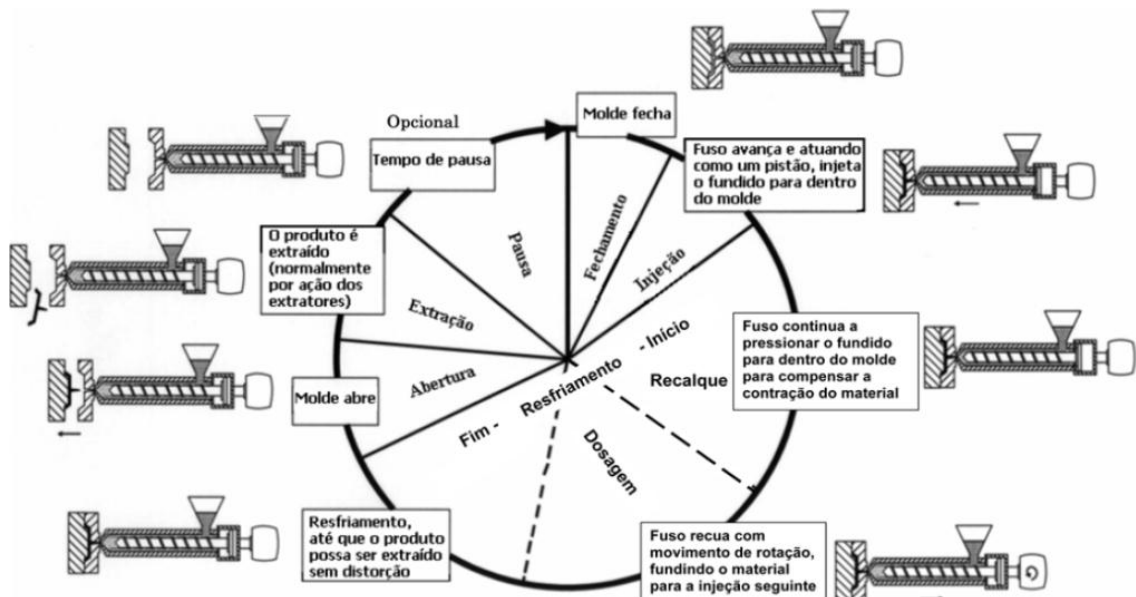


Figura 1.12: Etapas do ciclo de injeção [19]

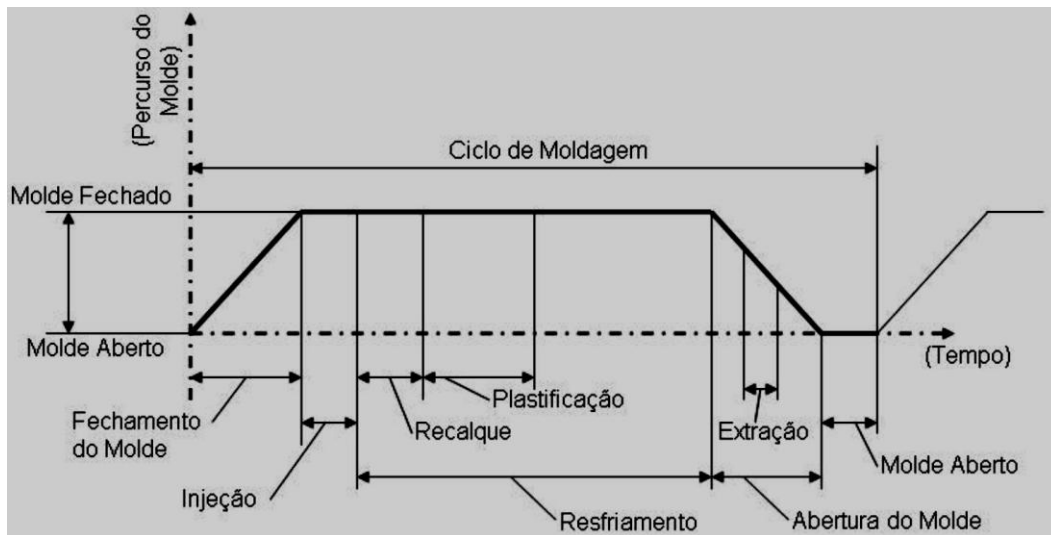


Figura 1.13: Etapas do ciclo de moldação [19]

1. **Fecho do molde:** o ciclo de injeção é iniciado quando o molde se fecha e é trancado. Este acontecimento no ciclo é necessário para suportar a alta pressão que se faz sentir no interior da cavidade quando se dá a injeção.
2. **Preenchimento:** o polímero fundido é injectado para o interior da cavidade do molde, através do movimento linear de avanço do fuso. Quando o polímero fundido entra em contacto com as paredes frias da cavidade do molde, ele arrefece rapidamente enquanto continua a entrar material até a conclusão do preenchimento da cavidade do molde. Nesta etapa os principais parâmetros a controlar são: pressão de injeção, velocidade de injeção e o dimensionamento dos pontos de injeção da cavidade do molde.
3. **Pressão de compactação (2ª pressão de injeção):** é a pressão exercida nas paredes das cavidades do molde, para compactar a matéria-prima.
4. **Dosagem:** tem como objectivo plastificar e homogeneizar a matéria-prima no interior do cilindro de injeção, por meio do movimento da rotação do fuso e do aquecimento do cilindro através de resistências eléctricas. A medida que a matéria-prima vai passando pelo fuso, a temperatura do cilindro vai aumentando até a temperatura de fusão do polímero. Os parâmetros importantes a considerar nesta etapa são: temperatura do cilindro, velocidade de rotação do fuso e a contrapressão do fuso.
5. **Arrefecimento:** concluída etapa de compactação, a peça é mantida no interior do molde fechado, para proceder ao seu arrefecimento e consequentemente para complementar a sua solidificação. Este tempo é necessário para que a peça seja extraída sem apresentar deformações, no entanto, se esse tempo for demasiado prolongado irá ocorrer uma diminuição da produtividade do processo.
6. **Abertura:** concluída a etapa de arrefecimento, o molde é aberto até atingir a posição para dar início a extracção da peça.

7. **Extracção:** quando a posição para a extracção da peça é atingida, dá-se a extracção da peça por acção de extractores mecânicos, hidráulicos, eléctricos, pneumáticos, dependendo a concepção do molde e da geometria da peça.

As variáveis mais importantes no controlo do processo de injeção são: temperatura do molde, velocidade do fuso, velocidade e pressão de injeção, tempo e pressão de recalque, tempo de refrigeração do molde e a temperatura do fuso (injeção). O controlo destas variáveis é essencial no sentido de evitar que as peças tenham defeitos na forma, densidade e dimensionalidade [19].

1.6.2 Principais defeitos do processo de injeção

Quando se fala em processo de moldação de injeção de plásticos há dois grandes objectivos a alcançar: obter um produto e saber para que finalidade é que o produto vai ser injectado. Pois é aqui que a qualidade do produto é avaliada e posta a prova relativamente à sua eficácia. Por vezes, ao longo deste processo são detectados problemas que se reflectem no produto final negativamente. Na maioria dos casos, esses problemas surgem quando se inicia uma produção com um novo molde, quando se muda um molde de uma máquina para a outra ou quando se processa com um tipo de matéria-prima diferente. Os defeitos que podem surgir no produto final são causados por condições/parâmetros por parte da máquina que não estão devidamente ajustados, um molde mal projectado ou ainda uma matéria-prima plástica inadequada. Estes 3 factores: máquina injectora, molde e matéria-prima são os factores relacionados com os defeitos causadores de produtos não conformes.

Os parâmetros do processo de injeção que influenciam directamente na qualidade do produto final são: temperatura de fusão do material, temperatura do molde, pressão de injeção, velocidade de injeção, tempo de injeção, pressão de compactação, tempo de compactação e tempo de arrefecimento [20].

Os defeitos detectados no produto final podem ser classificados como:

Estéticos: são visualizados a olho nu e normalmente causa a rejeição da peça, apesar de todas as outras propriedades e especificações sejam satisfeitas.

Estruturais: esta classificação de defeito pode ser detectada a olho nu ou através de testes. Estes tipos de defeitos estão relacionados com o peso da peça, a dimensionalidade da peça ou a sua configuração.

Funcionais: os defeitos não são detectáveis a olho nu, mas sim por falharem durante o desempenho de uma determinada função. Por exemplo: no caso de se produzir uma peça com um elevado factor de resistência a tensão, resulta em uma ruptura imprevista quando é exposta a um impacto.

De forma a entender melhor todos os parâmetros envolvidos nos defeitos que podem ocorrer durante um processo de moldação por injeção de plásticos, segue-se um Fluxograma

apresentado na figura 1.14 que relaciona os parâmetros de injeção com os possíveis defeitos que podem ocorrer.

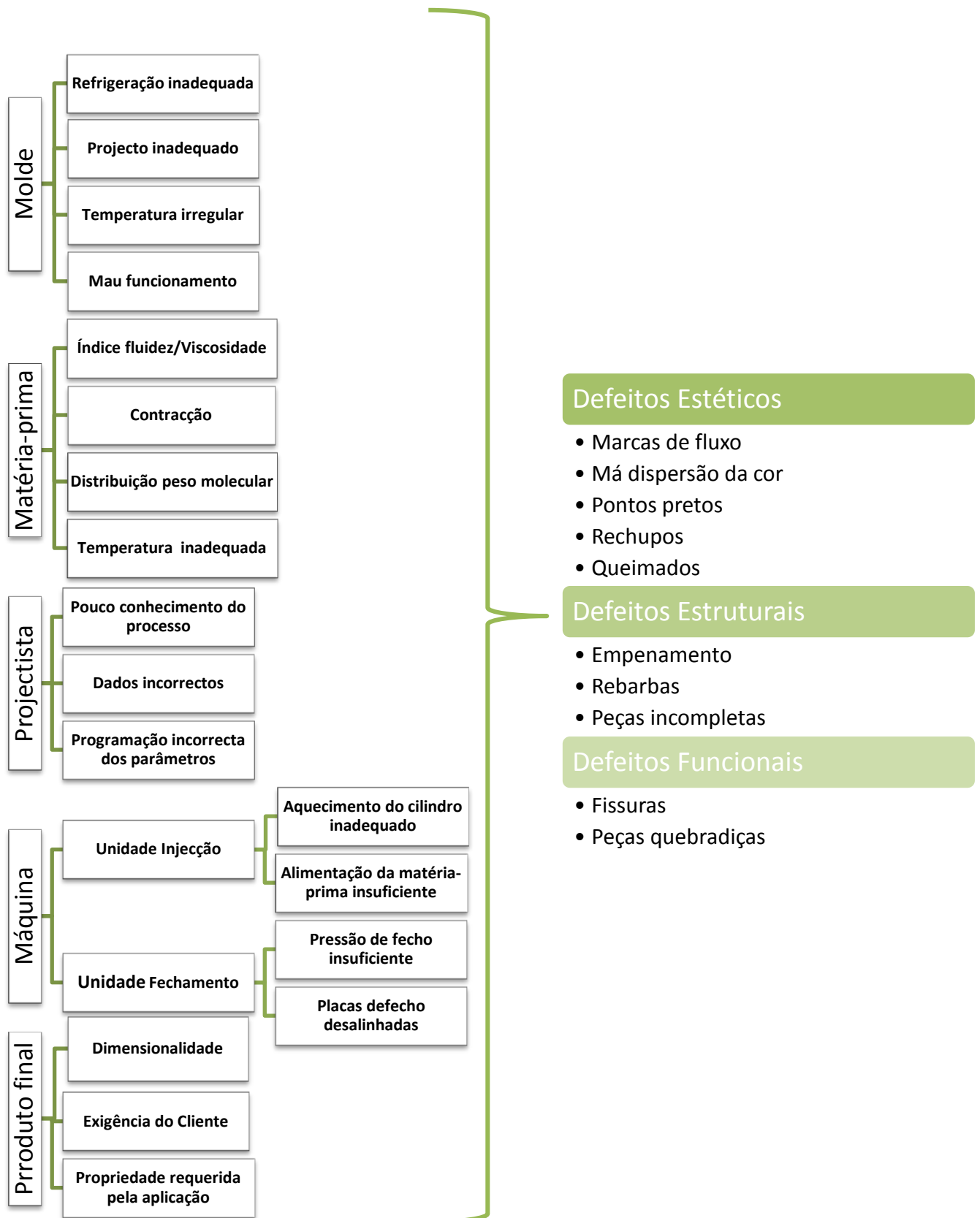


Figura 1.14: Fluxograma da relação entre os parâmetros de injeção e os defeitos de moldação. Fonte: elaboração própria

1.7 Refrigeração

A refrigeração é uma transferência de energia térmica, de um corpo frio para um corpo quente, pela aplicação de trabalho externo. Essa transferência de energia térmica faz-se através de um ciclo termodinâmico, onde o calor é extraído do corpo a ser arrefecido e é enviado para o corpo externo. No processo de refrigeração, o calor não é destruído simplesmente é transferido. Na indústria de plásticos, a refrigeração de um molde é uma das etapas mais importantes para a qualidade da peça injectada e para a determinação do tempo de ciclo. A água utilizada para proceder a esse arrefecimento tem um impacto directo na qualidade e na produtividade do processo, pois quanto mais rápido for o arrefecimento, menor será o tempo de ciclo e mais peças poderão ser produzidas. Portanto, o conhecimento profundo das técnicas e configurações de sistemas de refrigeração permite reduzir o custo da peça produzida e obtê-la com a qualidade desejada.

Desta forma, torna-se indispensável o uso de sistemas de refrigeração, nomeadamente *Schillers*, para ser possível manter a temperatura da água de arrefecimento dos moldes devidamente controlada para não ocorrerem danos e conseqüentemente prejuízos durante o processo de injeção [21].

1.7.1 Ciclo de Carnot

Suponha um sistema constituído por um fluido contido num recipiente, percorrendo um ciclo reversível composto por dois processos isotérmicos e dois processos adiabáticos. Estes processos estão representados na figura 1.15 que mostra o chamado ciclo de Carnot.

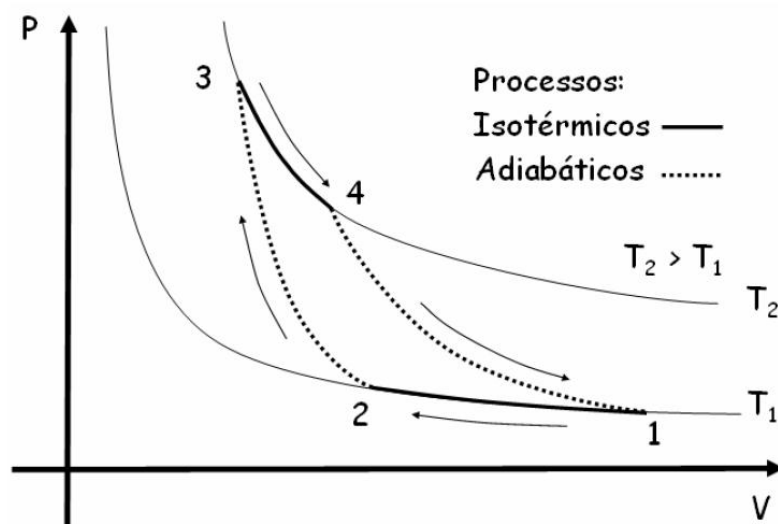


Figura 1.15: Diagrama do ciclo de Carnot [22]

No processo 3-4: O sistema sofre uma expansão isotérmica até ao estado 4.

No processo 4-1: O sistema sofre uma expansão adiabática até ao estado 1.

No processo 1-2: O sistema sofre uma compressão isotérmica até ao estado 2.

No processo 2-3: O sistema sofre finalmente uma compressão adiabática, voltando ao seu estado inicial 3.

Na expansão isotérmica, o sistema recebe uma determinada quantidade de calor designada por Q_1 que provém de um reservatório de calor à temperatura T_1 . Por sua vez, na compressão isotérmica, o sistema fornece uma quantidade de calor Q_2 a um reservatório de calor à temperatura T_2 . O princípio de Carnot afirma que a razão entre o trabalho realizado e o calor recebido por um sistema que opera segundo um ciclo de Carnot depende exclusivamente das temperaturas dos reservatórios e é independente da substância de que é composto o sistema que percorre o ciclo. Sendo W o trabalho realizado no ciclo de Carnot vem, $\frac{W}{Q_1}$ só depende de T_1 e T_2 .

O rendimento do sistema é descrito por:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} < 1 \quad (\text{Equação 4})$$

1.7.2 Sistemas de refrigeração

Se invertermos o sentido dos processos do ciclo de Carnot representados na figura 1.15 obtém-se um refrigerador, também denominada por máquina frigorífica. Um refrigerador é basicamente um dispositivo ao qual entrega-se uma quantidade de trabalho e se recebe em troca uma determinada quantidade de calor. O refrigerador presente na empresa Promoplás designa-se por *Schiller*. Os *Schilleres* são basicamente resfriadores de água, também conhecidos como máquinas frigoríficas, que são constituídos por um sistema térmico que tem como finalidade arrefecer a água ou outro líquido. Estes equipamentos tem o mesmo princípio de funcionamento que os sistemas de refrigeração de compressão mecânica de vapor. O fluido que circula nestes *Schilleres* denomina-se fluido frigorígeno ou refrigerante que será explicado posteriormente.

A determinação das temperaturas e pressões ideais de operação do ciclo é determinada pelo conhecimento das características do produto e do processo. O que condiciona os custos de implementação e de funcionamento da instalação são os componentes das instalações frigoríficas, que serão explicadas mais a frente no trabalho [23].

1.7.3 Fluido refrigerante

O fluido refrigerante é uma substância que circula dentro de um circuito fechado. É utilizado como fluido de trabalho para as transferências de energia sob a forma de calor.

Para este estudo, o fluido refrigerante utilizado trata-se de um hidrofluorcarboneto (HFC), mais precisamente de um R-407c. Estes HFCs são gases de refrigeração que têm na sua composição hidrogénio, flúor e carbono. O facto de estes HFCs não conterem cloro, não são

destrutivos à camada de ozônio da atmosfera. A ficha de segurança deste gás encontra-se em anexo [24].

Os diagramas de Mollier apresentam as propriedades dos fluidos frigoríficos, de modo a perceber o comportamento do fluido que ocorre em cada componente (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) do ciclo de refrigeração por compressão de vapor. A figura 1.16 apresenta o diagrama de Mollier para um fluido refrigerante, onde se pode observar os três estados do refrigerante, líquido subarrefecido, mistura de líquido saturado com vapor saturado e vapor superaquecido, que estão separados pela linha de saturação.

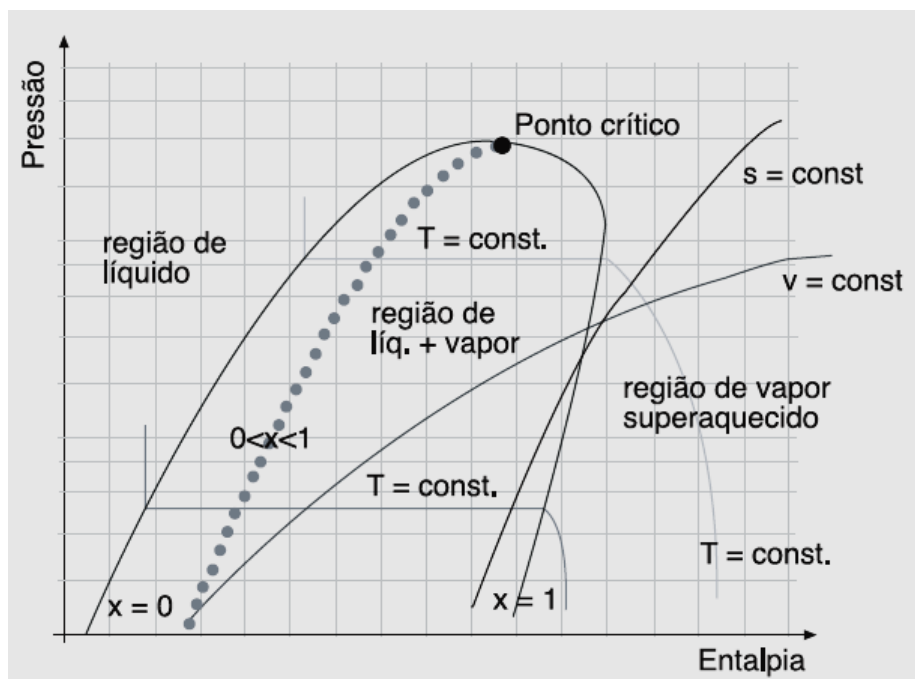


Figura 1.16: Diagrama de Mollier [25]

O fluido refrigerante entra no evaporador a baixa pressão, no estado líquido-vapor e retira energia do meio interno enquanto passa para o estado vapor. O vapor entra no compressor onde é comprimido, ficando no estado de vapor superaquecido deslocando-se para o condensador. O fluido ao libertar energia passa do estado vapor superaquecido para o estado líquido, ou seja, sofre uma condensação e por fim entra no dispositivo de expansão, onde se encontra a pressão reduzida, para novamente ingressar no evaporador e desta forma reiniciar-se o ciclo [25].

1.7.4 Ciclos de Refrigeração

Um ciclo de refrigeração é composto pela combinação de componentes e equipamentos ligados de forma sequencial para produzir o efeito refrigerante. Existem diversos ciclos de

refrigeração, destacando-se os principais como sendo: compressão mecânica de vapor, absorção de vapor, efeito termoelétrico, expansão de ar e a ejeção de vapor. Dentro dos ciclos, anteriormente citados, os sistemas de compressão de vapor e o de absorção são os mais utilizados a nível industrial. No âmbito deste trabalho, e ao estudo efectuado, considerou-se o ciclo de compressão de vapor.

1.7.5 Ciclo de compressão de vapor e os seus componentes

No ciclo de compressão de vapor, o trabalho fornecido ao compressor é utilizado para aumentar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante que chega ao compressor.

Esse vapor a alta pressão e temperatura vai para o condensador onde rejeita calor para outro meio, condensando o fluido. O fluido no estado de líquido saturado segue em direcção a uma válvula de expansão onde o fluido passa do estado de líquido saturado a alta pressão para uma mistura líquido + vapor a baixa pressão e temperatura [25].

Este ciclo consiste em quatro processos que estão apresentados na figura 1.17.

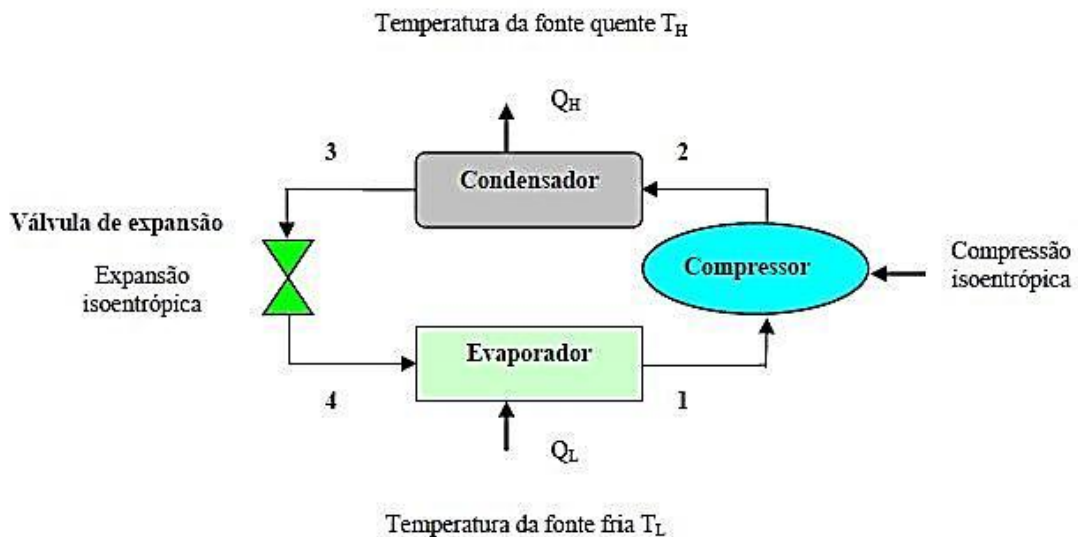


Figura 1.17: Ciclo de compressão de vapor [26]

Processo 1→2 Compressão isentrópica num compressor;

Processo 2→3 Libertação de calor num condensador a pressão constante;

Processo 3→4 Expansão num dispositivo de expansão;

Processo 4→1 Adição de calor num evaporador a pressão constante;

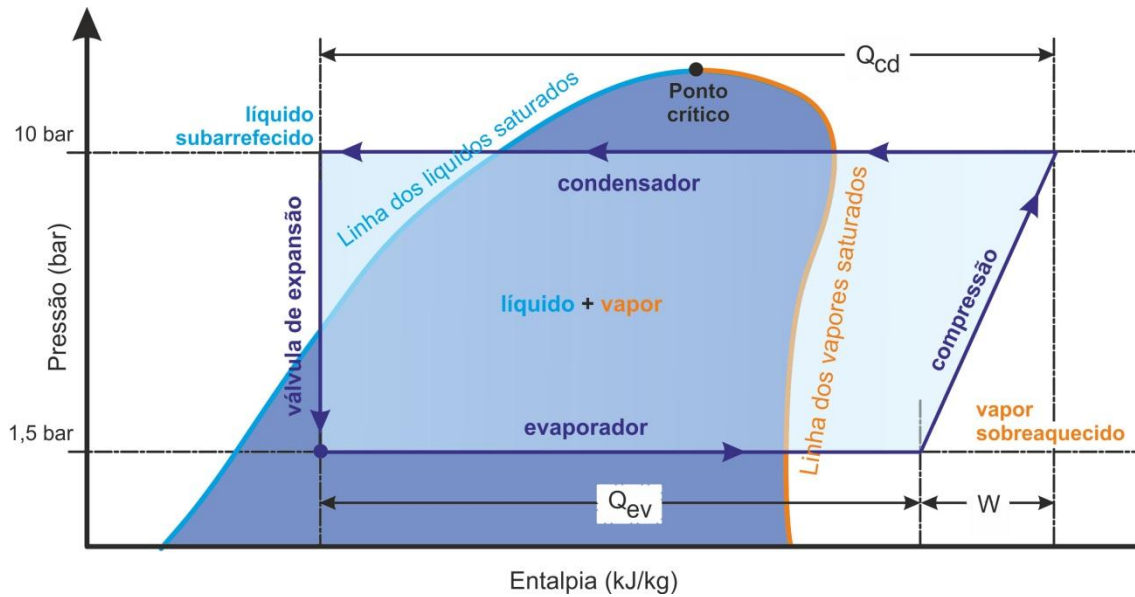


Figura 1.18: Diagrama p-h do Ciclo de Carnot [26]

Conclui-se que a função do gás refrigerante é retirar calor do ambiente ou sistema, a ser refrigerado, utilizando esse calor para vaporizar, seguindo em direção ao compressor, onde é fechado o ciclo. Para se determinar as condições de trabalho deste ciclo, aplica-se a primeira lei da termodinâmica em cada componente de controlo.

Aplicando a primeira lei da termodinâmica temos:

$$W_c = Q_H - Q_L \quad (\text{Equação 5})$$

O parâmetro de eficiência utilizado para os sistemas de refrigeração é designado por Coeficiente de eficiência (COP- *Coefficient of Performance*) definindo-se como:

$$COP = \frac{\text{calor removido do ambiente a baixa temperatura}}{\text{trabalho líquido fornecido}}$$

No caso do ciclo de refrigeração de Carnot, como representado na figura 1.18, o coeficiente de eficiência pode ser escrito na seguinte forma:

$$COP_{Carnot} = \frac{T_1(S_2 - S_3)}{T_2(S_2 - S_3) - T_1(S_2 - S_3)} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (\text{Equação 6})$$

onde os índices referem-se aos estados representados na figura 1.18, T-temperatura (K) e s – entropia (kJ/kgK).

Este sistema de refrigeração por compressão de vapor é composto por vários componentes básicos, tais como compressores, condensadores, dispositivos de expansão e evaporadores. Para haver uma boa eficiência do sistema é necessário que haja uma correspondência adequada entre os vários componentes. Antes de proceder a análise do desempenho do sistema completo é essencial fazer o estudo do *design* e do desempenho de cada componente individualmente. Fazendo o balanço energético a cada componente.

Compressor: a sua função é aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação desse fluido no sistema. Para aumentar essa pressão é aplicada uma potência designada por potência de compressão, pois é a quantidade de energia por unidade de tempo que deve ser fornecida ao fluido refrigerante. Num ciclo ideal, a compressão é considerada adiabática reversível, as perdas são desprezadas. No entanto na prática, o compressor perde calor para o meio ambiente, mas quando essa perda de calor é comparada a energia necessária para realizar a compressão, não é significativa, podendo então ser desprezada. Na figura 1.19 está representado o balanço ao compressor.

Balanço energético:

A potência de compressão, W , é expressa pela seguinte equação:

$$W_c = m \times (h_2 - h_1) \quad \text{(Equação 7)}$$

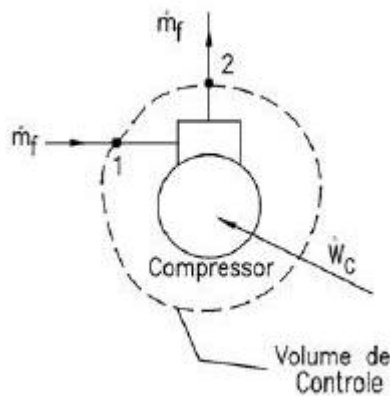


Figura 1.19: Balanço ao compressor [27]

Existem vários tipos de compressores. Um dos tipos mais comuns são os compressores alternativos, semi-herméticos, de deslocamento positivo que funcionam com pistão. Neste tipo de compressores aumenta a pressão do fluido frigorígeno através da redução do volume interno de uma câmara de compressão e de uma força mecânica aplicada. A figura 1.20 ilustra o compressor anteriormente descrito.

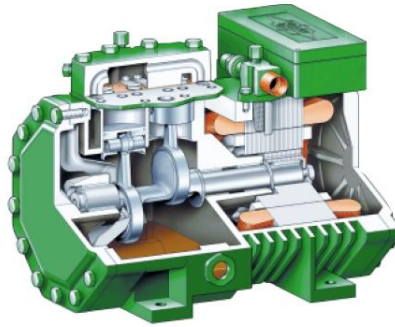


Figura 1.20: Compressor semi-hermético a piston [24]

Este tipo de compressores opera exclusivamente com fluidos halogenados, o vapor do fluido frigorígeno entra em contacto com o enrolamento do motor, arrefecendo-o. Esse compressor tem essa denominação porque permite a remoção do cabeçote, tornando acessíveis as válvulas e os pistões.

Condensador: a sua função é transferir calor do fluido refrigerante para o meio de resfriamento do condensador. Nesta etapa do ciclo rejeita-se calor. No condensador, o fluido refrigerante encontra-se no estado de gás saturado. Quando atinge o início da condensação, a fracção de líquido e vapor no escoamento varia ao longo do condensador até sair completamente líquido. Na figura 1.21 está representado o balanço ao compressor.

Balanço energético:

O calor rejeitado através do condensador determina-se através de um balanço de energia ao volume de controle, tem-se:

$$Q_c = \dot{m}_f \times (h_2 - h_3)$$

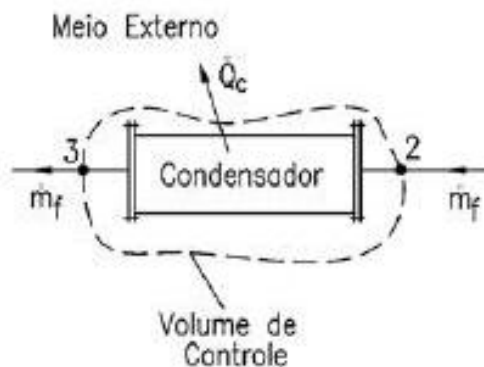


Figura 1.21: Balanço ao condensador [27]

Desta forma, o condensador escolhido para o sistema de refrigeração deve ter a capacidade de rejeitar a taxa de calor, Q_c , calculada pela equação 8 que depende da carga térmica do sistema e da potência do accionamento do compressor.

Geralmente este condensador é arrefecido a ar com uma bateria de tubos de cobre e alhetas em alumínio. Neste tipo de condensador, a quantidade de calor que se consegue retirar depende do coeficiente global de transferência de calor, da área de permuta e da diferença média logarítmica de temperatura e é dada pela seguinte equação:

$$Q_c = U \times S \times \Delta T_{in} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

Q_c = carga térmica rejeitada [W];

U = Coeficiente global de transferência de calor do condensador [W/(m².°C)];

S = Superfície do condensador [m²];

ΔT_{in} = Diferença média logarítmica da temperatura [°C];

A diferença média logarítmica de temperatura é dada por:

$$\Delta T_{in} = \frac{T_{as} - T_{ae}}{\ln\left(\frac{T_c - T_{ae}}{T_c - T_{as}}\right)} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

T_{as} = Temperatura do ar à saída do condensador [°C];

T_{ae} = Temperatura do ar à entrada do condensador [°C];

T_c = Temperatura de condensação [°C];

Evaporador: tem a finalidade de extrair calor do meio a ser arrefecido, neste caso da água que se pretende arrefecer. É nesta etapa do sistema, que o fluido refrigerante absorve o calor a temperatura constante, por absorção do seu calor latente de evaporação sofre uma mudança de fase, passando da fase líquida para a fase de vapor. Quando o fluido refrigerante se encontra na fase de vapor, ao absorver mais energia sob a forma de calor, verifica-se um aumento da sua temperatura, este fenómeno trata-se do sobreaquecimento.

Balço energético:

Denomina-se de capacidade frigorífica (Q_o), à quantidade de calor removida do meio a ser arrefecido.

Fazendo o balanço energético ao evaporador representado na figura 1.22, tem-se:

$$Q_o = m_f(h_1 - h_4) \quad (\text{Equação 10})$$

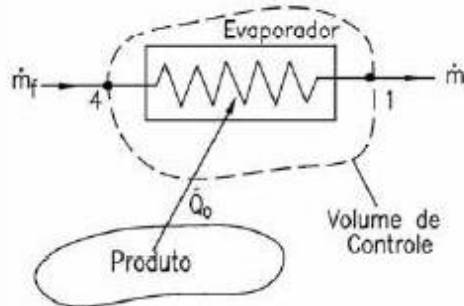


Figura 1.22: Balanço energético ao evaporador [27]

Válvula de expansão: tem como objectivo reduzir a pressão do fluido refrigerante no estado líquido e controlar o caudal de fluido refrigerante que entra no evaporador. O compressor e a válvula de expansão têm de funcionar em equilíbrio. A figura 1.23 representada a válvula de expansão.

Balanço energético:

$$h_3 = h_4 \quad (\text{Equação 11})$$

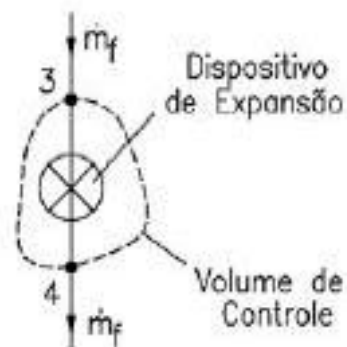


Figura 1.23: Balanço a válvula de expansão [27]

2.

Metodologia

Neste capítulo será descrita a metodologia usada para obter os resultados apresentados nesta dissertação de mestrado.

2.1 Balanço energético à unidade de refrigeração

Usou-se um termómetro digital, representado na figura 1.24 constituído por um sensor de Pt100 a microprocessador para se medir as temperaturas nos diversos pontos do circuito de refrigeração da água, Mediu-se as temperaturas: no final do Verão, no Outono e no Inverno [28].

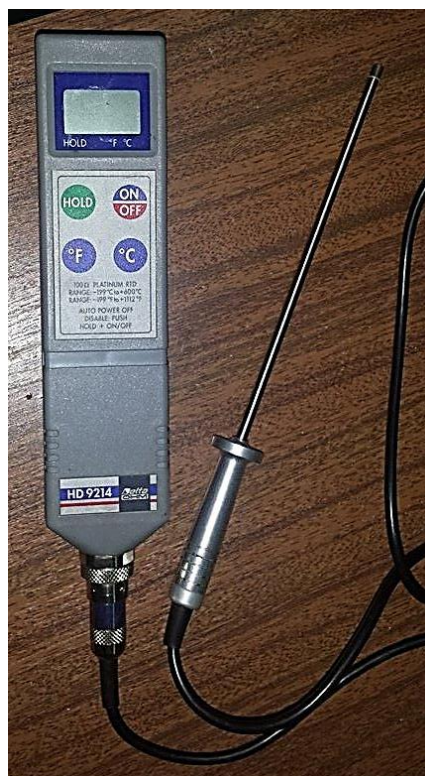


Figura 1.24: Termómetro digital

2.2 Classificação dos defeitos mais frequentes de injeção

Fez-se um levantamento aos defeitos observados na unidade fabril da empresa Promoplás. Posteriormente, fez-se uma pesquisa para perceber as causas e as soluções possíveis para as peças com defeitos.

2.3 Aquisição de novas máquinas de injeção para fazer o revamping das máquinas antigas.

Numa primeira parte efectuou-se uma consulta ao mercado. De seguida, fez-se uma avaliação económica considerando os seguintes pressupostos:

Cash Flow Líquido - Designa os fluxos líquidos gerados pelo projecto durante um determinado período de tempo.

Valor Actual Líquido (VAL) – Apresenta-se o valor do cash flows actualizado à uma taxa de mercado de 3%. Esta taxa aplica-se a este tipo de mercado ao qual incidiu o estudo efectuado. O VAL representa o somatório das vendas actualizadas menos os custos actualizados.

O VAL é calculado através [25]:

$$VAL = \sum_{P=1}^n \frac{CF_P}{(1+j)^P} - \sum_{P=0}^n \frac{I_P}{(1+j)^P} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

CF_p = *Cash flow* de exploração do período p

I_p = Despesas de investimento no período p

j = Taxa de actualização

Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) - É a taxa de actualização (juro) que anula o VAL do investimento e é apresentada como uma percentagem. Determinou-se a TIR através da ferramenta TIR no Excel. Graficamente vem:

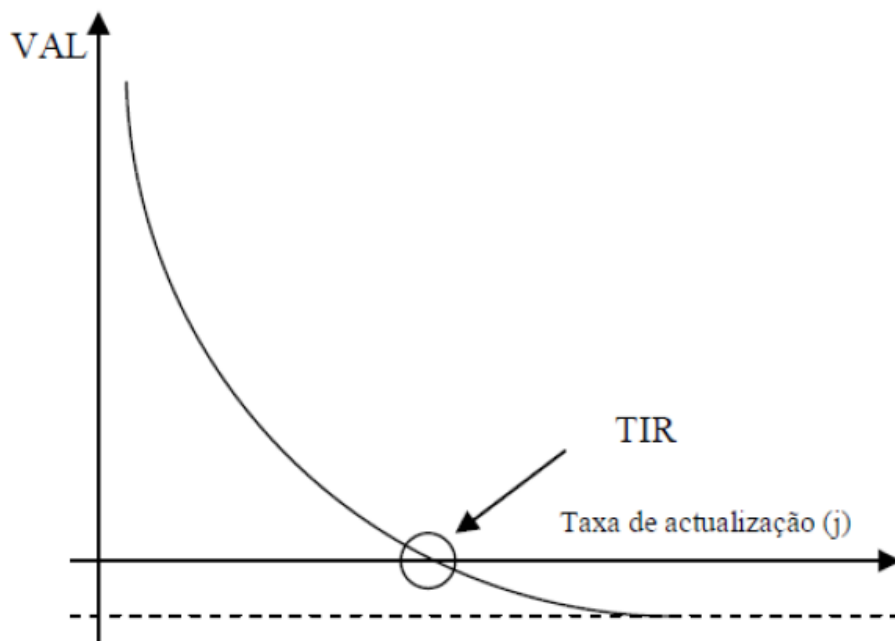


Figura 1.25: Conceito de taxa de rentabilidade [25]

2.4 Principais pressupostos

A análise custo/benefício para a elaboração de os quadros previsionais, foi baseada num conjunto de pressupostos que se descrevem de seguida:

- Assumiu-se uma taxa de crescimento anual de 2% para os custos de electricidade, óleo ou massa lubrificante e água.
- Para a manutenção das máquinas, uma vez que elas apresentam 2 anos de garantia, assumiu-se uma taxa de crescimento de 2% até ao fim do segundo ano de garantia. Após o fim do ano da garantia considerou-se 5% e seguidamente manteve-se uma taxa de crescimento constante de 1% sobre esse valor.
- Para as vendas considerou-se uma taxa de 2,5% ao ano.
- Para este mercado a taxa considerada foi de 3%.

2.5 Propostas de melhoria do sistema de controlo de qualidade

Foi feito um levantamento ao sistema de controlo da qualidade com base no manual de qualidade.

3.

Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para minimizar os custos energéticos do processo bem como serão apresentadas as propostas de implementações no processo de fabricação para melhorar o controlo da qualidade e a rastreabilidade do produto.

3.1 Optimização do Processo de Refrigeração

No processo de injeção de plásticos um dos parâmetros importantes é a temperatura de arrefecimento do molde. Isto porque se a temperatura não for controlada, causa danos significativos na peça. De forma a minimizar os custos energéticos do processo de arrefecimento da água, permitindo arrefecer os moldes das máquinas em funcionamento, foram efectuadas diversas medidas de temperatura ao longo do circuito da água, representado na figura 1.26, de modo a fazer o balanço energético do sistema, para identificar as perdas de energia do mesmo.

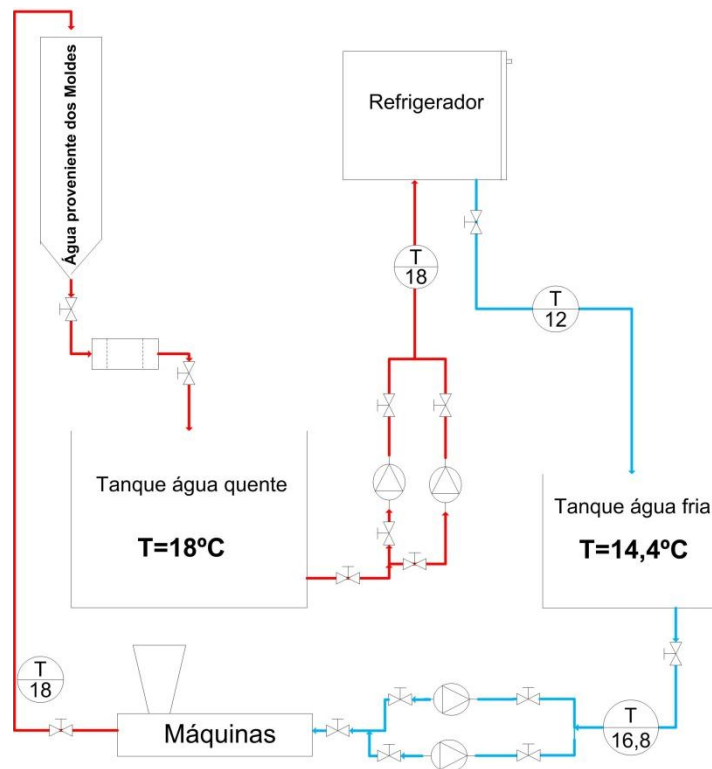


Figura 1.26: Circuito água da Promoplás

O circuito de arrefecimento de água da Promoplás é composto por um tanque de água denominado de água quente com a funcionalidade de receber a água proveniente das máquinas. (efectuado debaixo de terra). A tabela 2.1 mostra os resultados obtidos para as temperaturas ao longo do circuito de água de refrigeração.

Como já foi referido anteriormente, e se mostra mais à frente no capítulo em que foram analisados os principais defeitos que levam a não conformidade das peças, a temperatura a que a água de arrefecimento chega as máquinas é muito importante. Se essa temperatura sair da gama dos 14-16 °C leva a que haja heterogeneidade no arrefecimento da peça, o que provoca o aparecimento raiados onde ganha temperatura no inverno.

No final do verão, quando foi iniciado este estudo, a água desse tanque encontra-se a 18°C e é bombeada a uma força de pressão de 3Kgf/cm² para um refrigerador, dando-se o início do ciclo de refrigeração. Após o arrefecimento da água efectuado no interior do refrigerador, por um gás refrigerante, R407c, a água sai a uma temperatura de 12°C e vai para um tanque, designado por tanque de água fria. Posteriormente a água desse tanque é bombeada, novamente a uma força de pressão constante de 3 Kgf/cm², através de uma tubagem ao ar livre para a unidade de fabrico.

Observou-se que a água, no tanque de água fria, aquece de 12°C para 14,4°C devido a falta de isolamento. Observou-se ainda que, durante o percurso do tanque de água fria até a entrada das máquinas, a T da água aumenta de 14,4 °C até aos 16,8°C.

Este aumento de temperatura deve-se sobretudo a temperatura da zona fabril que, mesmo no inverno, ronda os 23-25°C. Aliás esta temperatura é controlada para evitar defeitos nas peças, devido a contracção.

Como o tubo já está isolado, só há duas variáveis que podem levar a este aumento de temperatura: Isolamento deficiente do tubo ou a distância percorrida ser muito longa.

Para quantificar as perdas energéticas efectuou-se um balanço energético a todo o sistema.

Na tabela 2.1, estão as temperaturas medidas no início de Setembro 2014, sem a colocação do isolamento dos tanques, bem como as temperaturas medidas em Dezembro com a implementação do isolamento dos respectivos tanques. Mediu-se novamente as temperaturas do circuito de água em Fevereiro com o isolamento a fim de comprovar-se a eficácia da implementação do isolamento dos tanques. Este facto comprovou-se, uma vez que não foram registadas oscilações de temperatura significativas após a medição em Dezembro já com o isolamento aplicado.

O balanço foi feito tendo: o tempo de residência da água no interior do tanque sendo de aproximadamente 83 segundos, o Cp da água utilizado foi de 1 KJ/Kg °C.

Tabela 2.1: temperaturas medidas no circuito de arrefecimento de água

	Sem isolamento		Com isolamento
	T (°C) Setembro 2014	T (°C) Dezembro 2015	T (°C) Fevereiro 2015
Entrada no Refrigerador	18	16	16
Saída do refrigerador	12	12	12
Tanque Água fria	14,4	12,2	12,4
Entrada na máquina	16,8	15,5	15,3
Saída da máquina	18	18	18
Perdas	-4,8	-3,5	-3,3

Para efectuar este balanço ao circuito de água de arrefecimento, retirou-se o valor do caudal de água através da curva característica da bomba, como está ilustrado na figura 1.27 a bomba usada para bombear a água neste circuito de arrefecimento é uma bomba centrífuga com um variador de velocidade que permite manter a força de pressão sempre constante, no valor de 3 Kgf/cm². Essa pressão de força corresponde a uma altura de 30 metros, sendo considerado mais 10 metros para as perdas de pressão. Com os dados da bomba apresentados na figura 1.27 e na figura 1.28, observa-se que a curva que corresponde a bomba utilizada é a curva correspondente a letra A, sendo assim retirou-se o caudal (Q) de água igual a 40 m³/h.

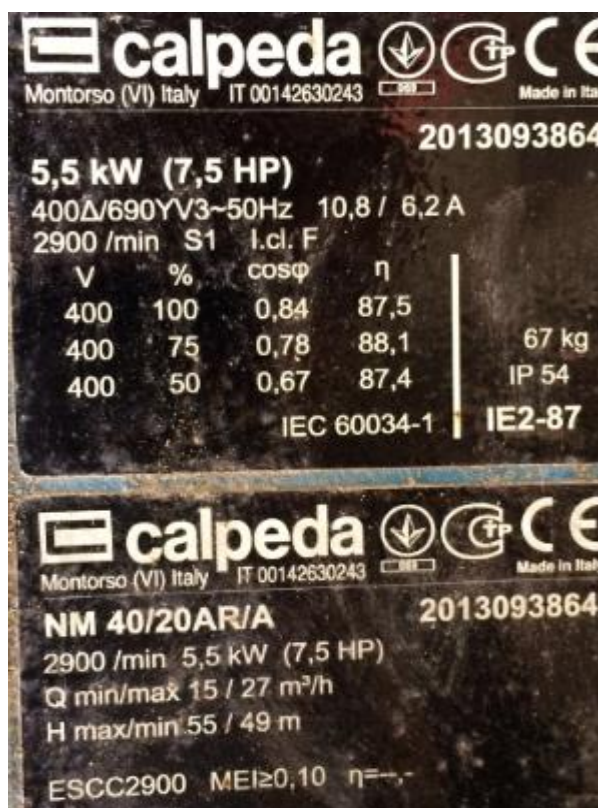


Figura 1.27: Informações relativas a bomba

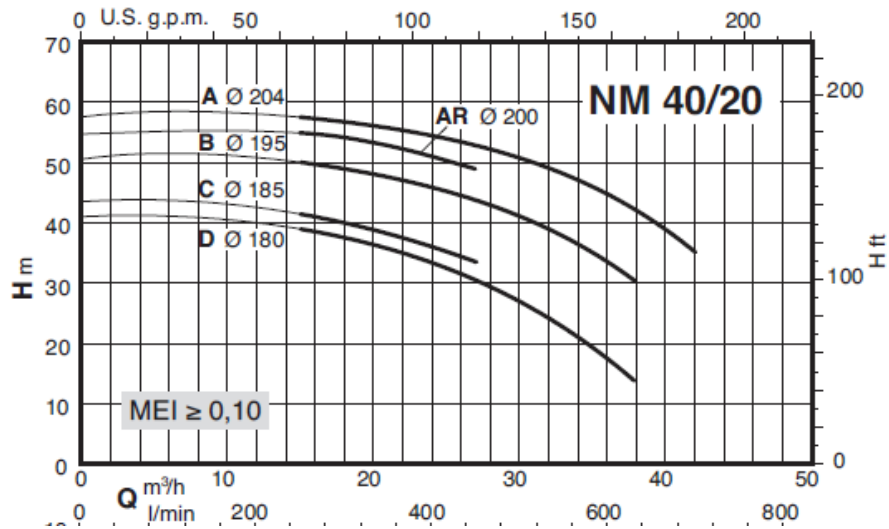


Figura 1.28: Curva característica da bomba

Efectuando-se o balanço, verificou-se que o circuito de arrefecimento de água gasta 22,4 KW. Propõem-se várias soluções que pudessem ser viáveis para a empresa as implementar. Uma das soluções seria o isolamento dos tanques de água quente e água fria. Uma vez que a entrada de água dentro da fábrica é feita a superfície (ao ar livre) e o retorno da água é feita subterrânea, outra alternativa seria Inverter o circuito da passagem da água. Estas Hipóteses foram estudadas e são apresentadas mais a frente neste trabalho. Seguidamente, efectuou-se o balanço energético ao refrigerador, com o objectivo de determinar a eficiência do mesmo. Essa eficiência é designada por COP, como foi explicado no “capítulo da refrigeração”. A figura 1.29 mostra o diagrama de Mollier para o fluido refrigerante R407c, em anexo encontra-se a ficha de características do mesmo.

O diagrama de Mollier permite retirar os valores das entalpias dos diferentes estados em que o fluido gás se encontra em cada componente do ciclo de compressão de vapor do refrigerado.

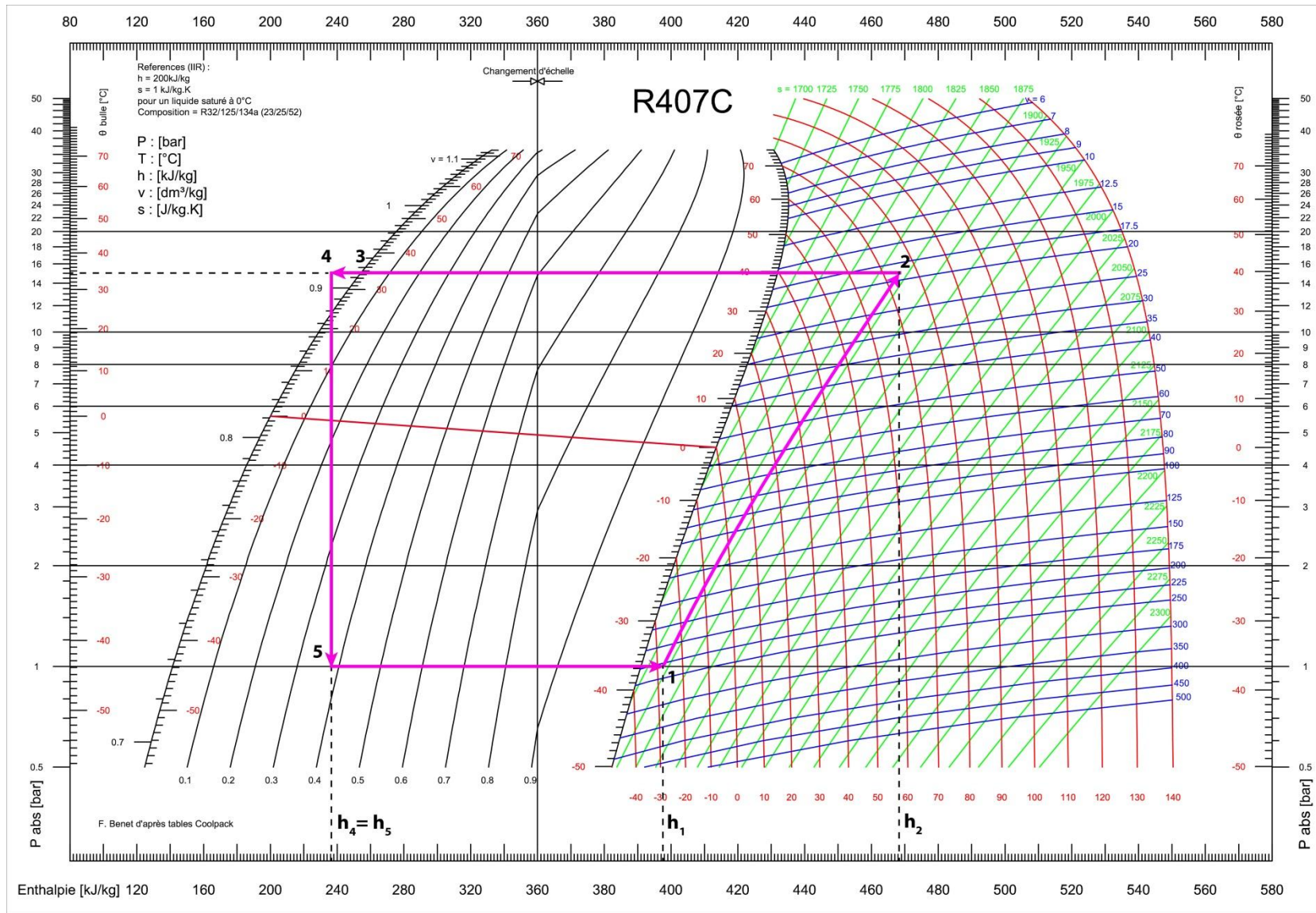


Figura 1.29: Representação do ciclo do gás R407c no diagrama de Mollier

Na tabela 3.1 encontram-se os dados do estado em que se encontra o gás, bem como, a temperatura, pressão, densidade, entalpia e entropia, retirados do diagrama de Mollier. Foi através de estes valores apresentados na tabela 3 que foi possível efectuar o balanço energético a cada componente do ciclo de refrigeração.

Tabela 3.1: Dados retirados do diagrama de Mollier

Fases R407c	Estado	T (°C)	P (bar)	V (m ³ /Kg)	h (Kj/Kg)	s [Kj/(Kg.K)]
V.sobreaquecido	1	-30	1,013	0,31	395	1,9
V.sobreaquecido	2	80	15	0,02	470	1,9
L.saturado	3	35	15		255	
L.subarrefecido	4	25	15		240	
Mistura bifásica	5	-44	1,013		240	

Obteve-se o seguinte valor de eficiência do refrigerador (COP):

$$COP = 2,07$$

Posteriormente, considerou-se 22 dias úteis de trabalho por mês e 11 meses de trabalho anual, tendo uma poupança energética (ΔT) de 2 graus. Deste modo, conseguiu-se concluir que a empresa, com a implementação do isolamento, poupa, **343 euros** por mês de energia eléctrica, sendo de **3777 euros** de poupança por ano.

3.1.1 Hipótese 1: Isolamento dos Tanques

O isolamento dos tanques foi uma proposta implementada na fábrica, devido ao facto de se ter observado uma condensação acentuada pelos tanques água. De forma a solucionar o problema, isolou-se os tanques com uma espuma elastomérica e procedeu-se a verificação da sua eficiência. Essa espuma elastomérica é um óptimo isolante e de fácil aplicação. Apresenta um coeficiente de condutividade de 0,030 kcal/h.m.°C. Este tipo de material isolante, é muito utilizado em processos de refrigeração porque consegue estabilizar e reter a humidade que é gerada pela condensação de água nos tanques bem como na tubagem. A figura 1.30 mostra a espuma que foi usada no isolamento dos dois tanques de água.



Figura 1.30: Representação da aplicação do isolamento

Passando para a aplicação do isolamento dos dois tanques de água, eles apresentam um largura de 92 cm e um volume de 2m³. Desta forma, apresentam-se as medidas dos 2 tanques a isolar na figura 1.31, bem como o custo da aplicação do isolamento, apresentado na tabela 3.2.

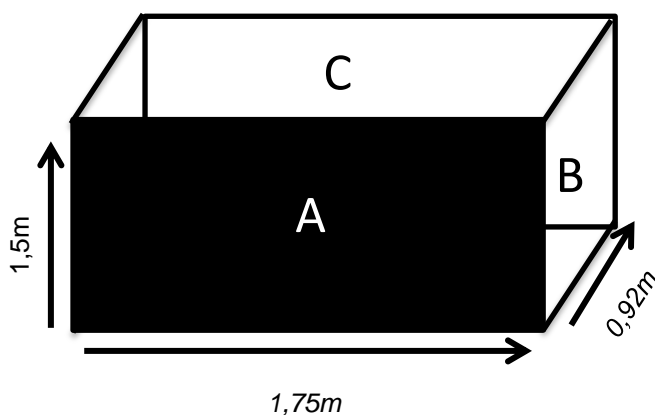


Figura 1.31: Tanque de água

Tabela 3.2: Custos da aplicação do isolamento dos tanques

Preço do isolamento [€/m ²]	9,5
Cola [€/m ²]	1,9
Custo total [€/m ²]	11,4
Área por tanque (m ²)	11,23
Preço para 2 tanques	256,04 €

O isolamento permite manter a Temperatura pretendida, mas por outro lado também é muito benéfica para evitar/minimizar que ocorra condensação. Ou seja a perda de água é mínima. Com as diferentes medidas de temperatura do circuito da água, antes e após a colocação do isolamento dos tanques de água fria é possível verificar a eficiência do isolamento dos tanques. Esse isolamento permite manter a temperatura do circuito estável, sem grandes oscilações de temperatura.

Conclui-se que a implementação deste tipo de isolamento dos tanques ficou num custo de **256,04 euros** (este preço já inclui a mão obra da sua aplicação) para a empresa. Esta solução foi implementada em Dezembro 2014, tendo sido recuperado o capital investido em apenas **30 dias**.

3.1.2 Hipótese 2: troca dos circuitos de água à temperatura

Como foi mencionado anteriormente, o circuito de água que entra na unidade fabril é feita pelo exterior e o retorno dessa água é feita de forma subterrânea. Para explicar a ideia de diminuir a aumento de temperatura verificado desde da saída do tanque para a entrada das máquinas. Toda esta mudança teria um custo de 2500 euros para a inversão dos circuitos fora o custo reflectido pela paragem de produção durante essa intervenção.

Após uma prévia avaliação, esta hipótese não foi aplicada uma vez que o facto de a água se apresentar a entrada da máquina um grau abaixo do pretendido não reflecte no produto final uma valorização que justifique esse investimento. Relativamente ao trabalho do

refrigerador verificou-se que ia ser idêntico visto que a temperatura da água a entrada do refrigerador ia ser a mesma, não obtendo ganhos com esse investimento.

3.2 Causas de produto não conforme e tipos de defeitos possíveis

Existe um grande número de problemas que ocorrem no dia-a-dia do processo de moldação por injeção, uns mais fáceis de serem resolvidos, outros mais difíceis encontrar soluções para problemas, onde poucas variáveis estão envolvidos é mais simples, porém na injeção, um grande número de variáveis interfere na moldação, tornando difícil de relacionar a causa específica que está a provocar um determinado problema no produto final.

Durante o meu estágio, foi possível observar diversas situações de produtos não conformes. De modo, a perceber melhor as causas relacionadas com essas anomalias, na peça final, fez se um levantamento do tipo de anomalias mais frequentes e relacionou-se com os diversas etapas do ciclo de injeção.

As tabelas 3.3; 3.4 e 3.5 foram elaboradas, com o objectivo de descrever os defeitos mais comuns que ocorrem durante o processo de moldação por injeção, relacionou-se com as suas prováveis causas e indicando às possíveis soluções para ser possível corrigi-las.

Defeitos relacionados com as propriedades da matéria-prima; refrigeração do molde e parâmetros de injeção relacionados com as máquinas. Os defeitos mais verificados no processo de injeção, na unidade fabril da empresa Promoplás foram: a rebarba, o empeno e as peças de enchimento incompletas. Os factores que dão origem a estes defeitos estão principalmente relacionados com a refrigeração do molde e com as propriedades das matérias-primas.

Tabela 3.3: Apresentação das causas e das soluções do empeno das peças
Empeno

	Causas	Soluções
Material	Temperatura do material alta	Diminuir a temperatura do material
	Viscosidade da matéria prima elevada	Utilizar uma matéria-prima com maior índice de fluidez
Durante o processo	Pressão de injeção alta	Diminuir a pressão de injeção
	Pressão de recalque alta	Diminuir a pressão de recalque
	Velocidade de injeção baixa	Aumentar a velocidade de injeção
	Velocidade de extracção alta	Diminuir a velocidade de extracção
	Tempo de arrefecimento baixo	Aumentar o tempo de arrefecimento
	Tensão residual na peça	Aumentar a temperatura do material
Molde	Temperatura do molde alta	Diminuir temperatura do molde
	Refrigeração do molde não adequada	Inverter as posições dos circuitos de água
	Extracção mal projectada	Obter por mudar o sistema extracção
	Peças com diferentes espessuras	Verificar se o sistema de refrigeração é o mais adequado

Rebarba num material, represente as ocorrências de excesso de matéria-prima sobe a forma de película fina na linha de fecho do molde.

Tabela 3.4: Apresentação das causas e das soluções da rebarba das peças

		Rebarba	
		Causas	Soluções
Material		Matéria-prima demasiada fluida	Diminuir a temperatura da matéria-prima
Durante o processo		Pressão de injeção muito alta	Diminuir a pressão de injeção
		Velocidade de injeção elevada	Diminuir a velocidade de injeção
Molde		Pressão de recalque elevada	Diminuir a pressão de compactação
		Linha de fecho do molde danificada	Substituir a linha de fecho por uma nova
		Temperatura de superfície do molde muito alta	Diminuir temperatura do molde
		Área projectada da moldação muito elevada	Projectar uma nova área

Tabela 3.5: Apresentação das causas e das soluções das falhas de material das peças

Peças Incompletas/falhas de material

		Causas	Soluções
Material		Temperatura baixa	Aumentar temperatura do material
		Índice de fluidez baixo	Utilizar uma matéria-prima com maior índice de fluidez
Máquina		Obstrução do bico de injeção	Parar a produção e limpar o bico de injeção
		Capacidade de injeção insuficiente	Mudar para uma máquina de maior capacidade
Durante o processo		Pressão de injeção insuficiente	Aumentar a pressão de injeção
		Velocidade de injeção insuficiente	Aumentar a velocidade de injeção
		Pressão de recalque muito baixa	Aumentar a pressão de compactação
Molde		Contrapressão insuficiente	Aumentar a contrapressão
		Comprimento do fluxo do material muito longo	Aumentar o fuso
		Molde foi projectado para materiais mais fluidos	Mudança de molde
		Ponto de entrada do material restrito	Alterar a entrada do material
		Temperatura da superfície do molde muito baixa	Aumentar a temperatura do molde, fazendo passar água de arrefecimento mais elevada

3.3 Ensaio de substituição da matéria-prima

No processo de injeção é importante conseguir formas que permitem reduzir os custos de produção de um determinado produto melhorando as suas propriedades físicas. Durante o meu estágio, foi realizado um ensaio que consistiu em substituir o ABS Gp22 terluran por um polipropileno copolímero EP240H (Moplen). A peça em questão trata-se de um suporte para botijas. A principal vantagem desta substituição verifica-se no preço da matéria-prima, como se pode ver na tabela 3.6.

Tabela 3.6: Apresentação dos preços médios do ABS e do PP

Ensaio	Amostra (peças)	Preço (€)	Preço final (€)
ABS	200	2	400
PP copolímero	200	1,4	280

Através da tabela 3.6 consegue-se observar a notória diferença de preço, tendo-se uma percentagem de ganho de 35%. Para além do PP copolímero ser mais barato outra das vantagens é a sua elevada resistência mecânica comparativamente à do ABS.

Vantagens deste ensaio:

- 35 % de ganho para a empresa
- Maior resistência mecânica
- Menos desgaste da máquina
- Facilidade de injeção

Analisando detalhadamente esses 35% de ganho para a empresa, foi com base na poupança de electricidade e de matéria-prima. Sendo que, a maior contribuição é na poupança da matéria-prima. Neste cálculo não foram considerados os custos adicionais de manutenção devido ao desgaste da máquina. No entanto, para além desses 35% de ganho, tem-se mais 5% que não foram considerados nesses 35%. Os 5% de ganho com o PP relativamente ao ABS, deve-se ao facto do ABS ser um polímero que requer um pré-tratamento antes de ser utilizado. O pré tratamento consiste em ser aquecido a 80°C numa estufa durante 2 horas para se obter as propriedades desejadas durante a sua injeção. Isto leva, a que haja um gasto extra de energia eléctrica e consequentemente o preço do produto final torna-se superior ao do PP.

Deu-se início ao ensaio, em que a temperatura de injeção do ABS foi de 230°C apresentando um índice de fluidez de 19g/10min. Para o caso do PP, a temperatura de ensaio foi de 210°C, mas com um índice de fluidez de 2 g/10 min. Devido a situação do PP apresentar um índice de fluidez relativamente baixo, as pressões de injeção utilizadas num caso e no outro foram semelhantes, devido ao facto de o PP apresentar um índice de fluidez tão

pequeno, porque geralmente a pressão de injeção do PP é menor que a pressão de injeção do ABS.

Durante o ensaio as peças foram submetidas a testes de resistência ao impacto. Tendo por base uma amostragem de 1 em cada 5 peças testadas. Estes testes foram efectuados internamente. Posteriormente, as restantes peças, seguiram para um laboratório acreditado para efectuar todo o processo de certificação. A empresa aguarda pelo relatório final.

Os testes internos incidiram em testes de impacto, nos quais são largados pesos de diferentes cargas, nomeadamente numa gama de 20, 40 e 60 kg, guiados na direcção da peça e largados a uma altura de 1 metro.

Nas peças em ABS das 40 submetidas ao ensaio 25 partiram e nas de PP apenas se verificou uma peça partida das 40 peças submetidas ao ensaio.

Como resultado do ensaio espera-se que seja celebrado um acordo de início de produção de PP por ABS, após se receber o relatório de certificação.

3.4 Melhoramento Plano de controlo da qualidade

A empresa está certificada pelas normas ISO 9001, ISSO 14001 e FCCS 22000 e dispõe de um manual da qualidade. Nesta secção serão abordadas diversas propostas de melhoria do plano de controlo da qualidade.

O cliente quando pretende uma determinada peça exige que a peça cumpra um conjunto determinado de especificações que incluem medidas dimensionais, pesos específicos, aspecto e cor, bem como especificações relacionadas com o embalamento do produto final. O cliente apresenta uma ficha de especificação de embalagem e uma pauta de inspecção com os devidos requisitos a seguir e a cumprir ao longo do fabrico da peça. Os requisitos críticos mais importantes são o peso da peça e as suas respectivas dimensões.

A empresa faz o controlo visual das peças produzidas. O controlo dimensional é feito usando um parquímetro para proceder a verificação das diversas dimensões da peça. Este tipo de controlo precisa de ser melhorado porque alguns produtos apresentam taxas de rejeição significativas durante o processo de produção e existem alguns lotes de produto não conforme rejeitado pelo cliente.

Para uma melhor compreensão do estudo realizado ao longo deste capítulo é importante salientar que a empresa Promoplás não produz apenas produtos próprios. Produz produtos em regime de subcontratação. Essa subcontratação significa que a empresa Promoplás não tem custos com a matéria-prima nem com o molde, apenas é responsável por fazer a injeção da peça nas condições pré-definidas pelo cliente. Relativamente aos produtos da Promoplás, todos os custos são do encargo da própria empresa.

Na tabela 3.7 observa-se, a percentagem de produtos produzidos para os 3 principais clientes.

Tabela 3.7: Apresentação das percentagens de produção e de rejeição

Produtos	% Produção	% Rejeição
Subcontratação A	15	3
Subcontratação B	8	1,5
Próprios	52	1

A tabela 3.7 ilustra a taxa de rejeição da empresa. Como se pode verificar esta taxa chega aos 3% no caso de produtos de subcontratação que necessitam de ajustes às especificações de fabrico fornecidas pelo cliente, o que faz aumentar a taxa de rejeição, que no caso de produtos próprios é de apenas 1%. O objectivo destas propostas de melhoria é aproximar as taxas de rejeição dos produtos subcontratados à taxa de rejeição dos produtos próprios.

3.4.1 Proposta 1- Classificação qualitativa das matérias-primas, do molde e da complexidade da peça.

Como foi referido anteriormente os produtos próprios apresentam uma taxa de rejeição menor. Este facto fica a dever-se sobretudo ao maior grau de conhecimento por antecipação das matérias-primas usadas, bem como da complexidade das peças e ainda das características específicas dos moldes usados.

Interessa adoptar estratégias que permitam antecipar eventuais problemas que venham a ocorrer no fabrico de peças novas. Muitas vezes a subcontratação já inclui especificações de fabrico, que se verifica que não são completamente adequadas às máquinas de injeção da Promoplás. Muitas vezes são pequenas diferenças mas que levam a que parte da produção seja rejeitada. Interessa ainda adoptar estratégias de controlo da qualidade de modo a diminuir o número de devoluções.

Dentro dos factores associados à produção e que contribuem significativamente para o custo final do produto está o tempo útil de produção que inclui o tempo necessário para preparar a máquina para fazer uma peça nova, o tempo de ciclo necessário à produção e o modo como se faz o embalamento, armazenamento e expedição do produto final. Pretende-se minimizar o tempo de ciclo e maximizar o número de peças conformes.

Existem 3 factores fundamentais no processo de injeção: complexidade da peça a produzir, tipo de molde, características da matéria-prima. Propõe-se que a Promoplás, antes de

produzir qualquer peça nova, passe a fazer a classificação da complexidade global da sua produção usando 3 tipos de tabelas para classificar o grau de potenciais problemas do processo de injeção, antecipando desta maneira os problemas que podem ocorrer no processo de fabrico e de controlo da qualidade, obrigando a que o grau de controlo seja proporcional à dificuldade do processo de fabrico, evitando gastos desnecessários para peças mais simples.

As tabelas 3.8 e 3.9 mostram a classificação usada para o tipo de molde. Nesta classificação foi usado como critério principal o número de movimentos móveis e o número de circuitos de água. Verificou-se no capítulo 2 “defeitos das peças” que a maioria das rejeições resultam da complexidade do sistema de refrigeração/aquecimento do molde, relacionados sobretudo com a contracção/expansão da peça, que leva a que esta apresente defeitos dimensionais, muito importantes, por exemplo, no caso em que os produtos finais tem que encaixar uns nos outros de maneira a construir mecanismos móveis. Note-se que os pontos atribuídos na classificação dos movimentos móveis reflectem a importância relativa que foi observada experimentalmente nas taxas de rejeição. Por exemplo se um molde tem mais do que 2 elementos móveis a probabilidade média de haver rejeição de produto é 6 vezes maior do que no caso de não ter elementos móveis. Neste caso concreto este grau de complexidade é ainda motivado pela dificuldade na montagem do molde, que leva a que o tempo de ciclo aumente, e aumente a probabilidade de má montagem do molde.

No caso do arrefecimento do molde, o número de circuitos de água é muito importante mas não é tão crítico como o número de elementos móveis. Note-se que o número de elementos móveis e de circuitos de água de arrefecimento nem sempre é directamente proporcional à complexidade dimensional da peça. Por exemplo uma placa que é dimensionalmente simples, requer algum grau de complexidade no molde se tiver um furo lateral, que requer que haja pelo menos um elemento móvel no molde, o que pode levar a que haja paragens na produção porque, por exemplo, é difícil a extracção da peça ou observação de defeitos visuais na peça. Já outras peças são mais complexas porque é mais difícil o polímero fluir dentro do molde para preencher completamente certas zonas do molde.

Tabelas 3.8 e 3.9: Classificações usadas para o molde

Classificação em pontos	Movimentos móveis	Classificação em pontos	Circuitos água
1	Não têm	1	Até 2
3	1-2	2	3-6
6	Mais 2	3	Mais 6

Posteriormente fez se a classificação relativamente ao tipo de matéria-prima envolvida. As tabelas 3.10 e 3.11 representam a classificação atribuída a matéria-prima tendo como

principais parâmetros o tratamento e o intervalo de contracção, a classificação foi atribuída da seguinte forma:

Classificação 1- para as matérias-primas que não necessitam de tratamento antes do processo de injeção e com um intervalo de contracção até 0,4%.

Classificação 2- para as matérias-primas que necessitam de tratamento antes do processo de injeção e com um intervalo de contracção superior a 0,4%. No caso do ABS, antes de ser injectado requer um aquecimento numa estufa a 80°C durante 2h.

Referir que as medidas a quente são diferentes das medidas a frio, pelo que é necessário esperar algum tempo, que é muito crítico no caso de a contracção ser superior a 0.4%.

Tabelas 3.10 e 3.11: Classificações usadas para a matéria-prima

Classificação	Tratamento	Classificação	Intervalo de contracção
1	Não tem (PP, PE ou PS)	1	Até 0,4 (ABS, PS, PC)
2	Tem (ABS, PA ou PC)	2	+ 0,4 (PP, PE)

Por fim, atribui-se uma classificação as peças a serem produzidas. No processo de injeção tudo é projectado tendo em conta a peça que se vai produzir. Para as peças considerou-se a espessura, a dimensionalidade e a geometria como principais parâmetros a ter em conta. Pois como foi possível verificar no capítulo dos “defeitos” estes 3 parâmetros anteriormente citados, são aqueles, que mais influencia têm para serem modificados provocando a formação de produto não conforme.

Relativamente a espessura da peça efectuou-se a classificação consoante as medidas de espessura apresentadas pela peça. Atribuindo-se a seguinte classificação:

Classificação 1- 0,5 até 1,5 mm considerou-se uma peça de espessura fina.

Classificação 2- até 0,5 mm considerou-se uma peça de espessura muito fina, pode apresentar-se problemas de falhas, nomeadamente, o enchimento da peça não estar completo.

Classificação 3- mais de 1,5 mm considerou-se uma peça de espessura muito grossa, onde pode ocorrer uma contracção acentuada por parte da peça e possibilidade de haver problemas relacionados com a compactação da peça.

Para a dimensionalidade da peça, a classificação foi pensada da seguinte forma:

Classificação 1- considerou-se uma peça que não têm rigor em termos de medidas.

Classificação 2- considerou-se uma peça na qual tem de se ter rigor em verificar se a peça apresenta as medidas pretendidas.

Quando se fala em geometria da peça refere-se se há obstruções à passagem da matéria-prima, quando esta, está na fase de preenchimento. Procedeu-se a classificação da seguinte forma:

Classificação 1- uma peça com 0-3 obstruções á passagem da matéria-prima considerou-se de geometria simples, uma vez que não apresenta complicações no procedimento da fabricação da peça.

Classificação 2- uma peça com 4-6 obstruções á passagem da matéria-prima, considerou-se de geometria intermédia, pois requer alguns cuidados por parte do operador durante o procedimento de fabricação da peça.

Classificação 3- uma peça com mais de 6 obstruções á passagem da matéria-prima, considerou-se de geometria complexa, requer muitos cuidados por parte do operador, nomeadamente na velocidade de injeção.

Tabelas 3.12 , 3.13 e 3.14: Classificações usadas para as peças

Classificação	Espessura	Classificação	Dimensionalidade
1	0,5 até 1,5mm (fina)	1	Não têm rigor
2	Até 0,5mm (muito fina)	2	Têm rigor
3	+ 1,5mm (muito grossa)		

Classificação	Geometria
1	0-3 (Simples)
2	4-6 (Intermédia)
3	+6 (Complexa)

A classificação individual é muito importante mas interessa ter uma classificação agregada que reflecta a complexidade global do processo de injeção que se pretende fazer. Considerou-se que o factor agregado resulta da soma dos factores individuais. De acordo com critérios empíricos, após a análise efectuada no capítulo “defeitos das peças”, chegamos à conclusão que quando o número total de pontos é inferior a 10 se trata de uma peça pouco problemática à qual é associada a classificação por código de cor VERDE. Foi atribuído o código de cor AMARELO par peças de complexidade intermédia, até 14 pontos. Acima de 14 pontos atribui-se a classificação de código de cor VERMELHO. As tabelas 3.15, 3.16 e 3.17 apresentam essas diversas situações.

Após a atribuição do código de cor, foi discriminado a nível do controlo na produção, da montagem do molde e do controlo da qualidade da peça, no final da sua extracção, a quem pertencia a responsabilidade de efectuar essa tarefa.

Tabelas 3.15, 3.16 e 3.17: Atribuição do código de cor

Controlo na produção		
Vermelho	Amarelo	Verde

Na parte do controlo da produção, se tiver a classificação vermelha a responsabilidade de fazer o controlo é do director de produção, se for amarela é do chefe de turno, por sua vez se for verde, qualquer operador pode efectuar esse controlo.

Montagem do molde		
Vermelho	Amarelo	Verde

Relativamente a montagem do molde, esta classificação é muito importante, pois trata-se de uma montagem minuciosa, de elevada complexidade e de alta responsabilidade. Requer experiência na parte da montagem de moldes e de conhecimentos avançados relativamente ao molde. Partindo deste princípio, classificação a vermelho, a montagem do molde é feita pelo director de produção, a amarelo é feita pelo chefe de turno com a supervisão do director de produção e por fim uma classificação a verde é do chefe de turno.

Controlo de qualidade da peça		
Vermelho	Amarelo	Verde

Para o controlo de qualidade da peça, após esta ser extraída do anterior do molde, é muito importante seguir o seu comportamento e registá-lo. Em casos em que a classificação atribuída pelo código de cor for vermelho, implica que seja efectuado um registo por parte do operador de 30 em 30 min e caso seja registado uma anomalia, que seja o quanto antes transmitida ao chefe de turno que irá passar a informação ao director de produção. Nas situações em que atribuição da classificação é de cor amarela, o registo também deve ser feito pelo operador de serviço de hora a hora, com uma vigia apertada. Por fim, na classificação à verde o registo é efectuado pelo operador responsável por essa produção de 3 em 3 horas.

O ganho da empresa com esta implementação está na diminuição das percentagens de rejeição e no aumento do rigor no controlo da qualidade de acompanhamento da produção das peças.

As propostas que se seguem requerem um operador (funcionário) responsável e dedicado a execução destas tarefas, de forma a garantir que o controlo seja efectuado com sucesso para a empresa recolher os frutos destas aquisições.

3.4.2 Proposta 2- Amostragem

Alguns dos produtos subcontratados são produzidos em grande número, chegando às 60 milhões de peças por ano. Outros produtos são produzidos em menor número, na ordem das centenas de milhar por ano, mas são produtos mais complexos com várias medidas

dimensionais críticas, que incluem algumas medidas angulares, e sobretudo é necessário garantir que não há acumulação de produto residual (“rebarba”) nestas zonas angulares críticas. Dividiu-se a amostragem em duas partes, A e B.

A amostragem A refere-se a amostragem durante a produção da peça, na fabricação, e a amostragem B refere-se a amostragem do produto acabado, no armazém.

A tabela 3.18 indica de quanto em quanto tempo deve-se fazer a amostragem, consoante o tipo de produto.

Tabela 3.18: Tempo da amostragem consoante o produto

	Produtos A	Produtos B	Produtos P
Amostragem da peça	Hora em hora	30 min em 30 min	Hora em hora

Posteriormente, já no produto final e embalado, pondera-se implementar uma escolha por amostragem segundo a norma MIL STD 105D. Trata-se de uma norma de inspecção de amostras por atributos, baseada em teorias e formulas matemáticas. Apresentando-se em anexo.

A vantagem da implementação desta norma permite não mandar produto não conforme para o cliente. Contribuindo-se desta forma, também para a diminuição da percentagem de rejeição de produto não conforme.

3.4.3 Proposta 3- Controlo da matéria-prima recepcionada

A matéria-prima quando chega a fábrica promoplás vem com a seguinte informação:

- Nota de encomenda feita pela secretária da empresa Promoplás
- Ficha técnica da respectiva matéria-prima
- Certificado de conformidade que vem a acompanhar o lote da matéria-prima

O operador tem a função de proceder a verificação dos dados, verificar se coincidem com os da nota de encomenda e se o índice de fluidez é o pretendido. Se estiver tudo conforme então a matéria-prima é descarregada e armazenada, caso haja alguma inconformidade é feita uma reclamação ao respectivo fornecedor, e a matéria-prima é classificada como não conforme, não sendo aceite.

Observou-se que o operador se baseia nos índices de fluidez que constam da ficha de especificação da matéria-prima, e que estes nem sempre são exactos. Como foi referido anteriormente no capítulo “defeitos do produto”, alguns defeitos críticos estão relacionados com a utilização de matérias-primas com uma distribuição larga de pesos moleculares. É possível usar um plastômetro para retirar valores de índices de fluidez com pesos diferentes, o que muitas vezes está relacionado com a largura de distribuição de pesos moleculares. Por

exemplo no caso de baldes grandes, estes apresentam deformações que impedem que a colagem correcta do rótulo e a inserção da tampa.

Deste modo, propôs-se adquirirem um plástômetro. Trata-se de um aparelho que permite medir o índice de fluidez de forma simples, rápida e eficaz, como foi descrito no capítulo “ dos polímeros termoplásticos”.

O custo de esta aquisição é confidencial, no entanto seria bastante benéfica para a empresa, pois permitiria que houvesse um maior rigor sobre as características da matéria-prima recebida, conseguindo obter valores exactos do índice de fluidez minimizando desta forma, a probabilidade de ocorrerem produtos não conformes durante o processo de injeção, reduzindo, consequentemente, os prejuízos relacionados com esses produtos não conformes

3.4.4 Proposta 4- Controlo do peso do produto através de uma balança por cada posto de controlo

Na fábrica Promoplás verificou-se que grandes partes das peças rejeitadas apresentam-se com danos que podem ser detectados quando a peça é pesada. Danos tais como, rebarba, fissuras, entre outros.

Analizou-se que no ano 2014, a empresa facturou 3 milhões de euros com uma taxa de rejeição de 1,5% isto dá 45 mil euros desperdiçados. Mas metade desse valor é, que tem um custo associado a rejeição das peças, a outra metade é recuperada por parte de matérias-primas que podem ser reaproveitadas.

Deste modo tem-se um custo de 22 500€ em peças rejeitadas por parte do cliente onde 30% são danos detectáveis pesando a peça. Pesando devidamente as peças, é possível reduzir 22 500€ em 15 750€ seria um ganho de 6 750€ para a empresa.

Perante este facto, propôs-se à compra de 3 balanças ligadas por um sistema de rede. A figura 1.32 mostra o tipo de balança e sistema mais adequado para a empresa e a tabela 3.19 mostra o custo de essa aquisição.

Tabela 3.19: Custos da implementação das balanças na unidade fabril

	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Balança	3	1150€	3450€
Sistema+ Montagem	-	-	1000€
Total aquisição	-	-	4450€



Figura 1.32: Sistema e balanças propostas

Com esta proposta, verificou-se que é possível diminuir a taxa de 30% de produto não conforme, detectável pela simples pesagem das peças, para metade, ou seja, 15%. Desta forma, a empresa Promoplás, recupera o investimento da aquisição das balanças após 5 anos.

Para além do benéfico do retorno financeiro para a empresa, baixando a taxa de rejeição, estas balanças trazem outras vantagens agregadas, tais como:

- ➔ Permite fazer a contagem das peças pesadas
- ➔ Cálculo automático do peso médio unitário
- ➔ Acumulação de pesagens
- ➔ Tara automática
- ➔ Memorização da última pesagem
- ➔ Índice sensibilidade 0,01

3.4.5 Proposta 5- Controlo do tipo de defeito

Para aumentar a eficiência do controlo das peças em produção, efectuado pelos operadores propôs-se colocar duas caixas junto das máquinas, como esta representado na figura 1.33, de modo em que cada vês que o operador fosse fazer a amostragem das peças, a peça que tivesse defeito ficaria na caixa D que pertence as peças que apresentam um tipo de defeito, nos casos em que não apresenta qualquer defeito, ficaria na caixa A que faz referência as peças aptas.

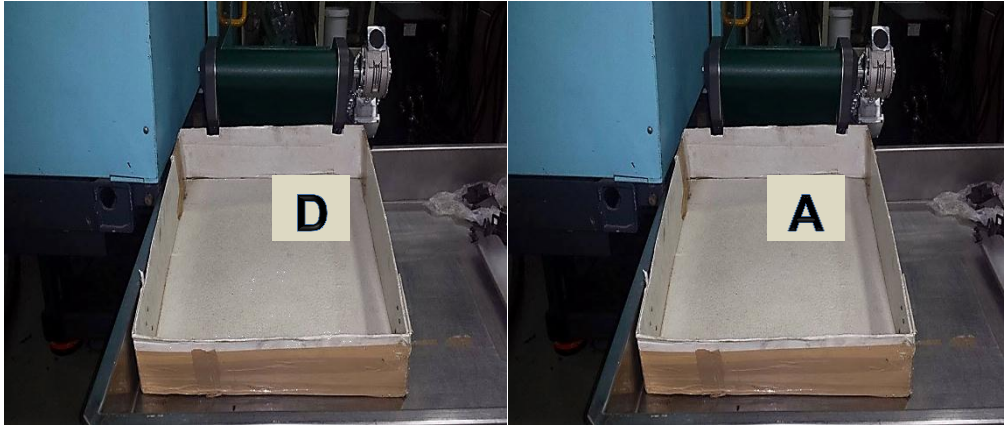


Figura 1.33: Caixas para a proposta

Com a implementação deste método, relativamente simples e com um custo insignificante para a empresa, obriga os operadores a fazerem a amostragem das peças finais com rigor e atenção. Permite também, em casos em que é verificado um defeito ou anomalia na peça, intervir de forma imediata, sendo possível interromper a produção sem que haja um grande desperdício de produto final não conforme.

Para a situação das cápsulas da Danone, um dos problemas mais acentuados, trata-se do empeno das cápsulas. Este dano da peça não é de fácil visualização, dificultando essa identificação. Uma solução para as cápsulas seria fazer um calibre em inox com as medidas correctas das cápsulas, em que quando o operador fosse efectuar a amostragem das cápsulas, proceder a passagem de diversas peças pelo calibre obtendo estes dois procedimentos:

Procedimento 1: Caso a cápsula não passa-se no calibre, o operador terá de identificar e registar o dano e colocar a peça numa caixa a parte.

Procedimento 2: No caso de a cápsula passar no calibre, significa que esta apta para o cliente.

Dimensões das cápsulas:

- Diâmetro: 37,5 mm
- Espessura: 0,1 mm

O calibre a ser fabricado para as cápsulas deve apresentar um diâmetro 1 décimo acima do diâmetro das cápsulas, ou seja, de 37,6 mm, bem como um diâmetro abaixo, do diâmetro das cápsulas, ou seja, de 37,4 mm. O calibre em inox apresenta um custo de 250€, sendo necessário a aquisição de dois calibres, o custo desta proposta fica de 500€ para a empresa.

Desta forma, seria possível diminuir a taxa de rejeição por parte de empenos das cápsulas, por um custo que se apresenta mínimo para a empresa.

3.4.6 Proposta 6- Melhoria da Rastreabilidade do produto

Dada a importância que atribuída ao controlo efectivo de todo o processo produtivo, como meio de garantir a qualidade do produto e satisfação do Cliente, dispomos de um *software* específico aplicado na produção que nos permite gerir todos os dados e parâmetros dos processos.

Propõe-se que a rastreabilidade seja informatizada com os pesos, com a programação das máquinas, todos os parâmetros que achar relevantes.

Garante a empresa em tempo real, dados concretos sobre todos os produtos produzidos. Além disso garante um sistema de rastreabilidade de peças onde se torna simples a identificação lotes de matéria-prima lotes De corantes, todos os dados de produção e do produto final, caso este já esteja no cliente.

Garante que quando o cliente faz uma reclamação ou devolve um produto que é possível verificar quais foram as condições de fabrico, de modo a detectar a causa da não conformidade do produto final. Desta maneira é possível fazer uma base de dados heurística que permitira evitar que esse problema se volte a verificar.

4.Substituição das máquinas de injeção

4.1 Análise comparativa das máquinas a substituir

A empresa Promoplás tem como grande objectivo reduzir os custos relacionados com o custo energético da unidade fabril. Desta forma, efectuou-se uma análise comparativa, á nível dos custos energéticos, que uma máquina injectora hidráulica consome, relativamente a uma máquina injectora eléctrica. Para efectuar esse estudo, criou-se dois cenários idênticos, a produzir o mesmo produto e estudou-se todos os custos para produzir esse produto final, com uma máquina injectora hidráulica e, posteriormente com uma máquina injectora eléctrica para esse mesmo cenário, ambas com a mesma tonelada. A tabela 4.1 e 4.2 representam os dois cenários, cenário A e cenário B em estudo.

Cenário A: apresenta-se uma máquina hidráulica e uma eléctrica, ambas produzem o mesmo produto X e ambas de 650 toneladas, com uma taxa de ocupação de 90%.

Tabela 4.1: Caracterização do Cenário A

Cenário A	Taxa ocupação (%)	Produto Final
Hidráulica (H)	90	Produto X
Eléctrica (E)	90	Produto X

Cenário B: apresenta-se uma máquina hidráulica e eléctrica, ambas produzem o mesmo produto Y e ambas de 140 toneladas, com uma taxa de ocupação de 80%.

Tabela 4.2: Caracterização do Cenário B

Cenário B	Taxa ocupação (%)	Produto Final
Hidráulica (H)	80	Produto Y
Eléctrica (E)	80	Produto Y

4.2 Análise Custo/Benefício

Esta análise custo/benefício permite analisar os custos e os benefícios esperados para a empresa, resultando da decisão de adquirir máquinas eléctricas, substituindo as máquinas hidráulicas existentes por eléctricas.

Realizou-se uma avaliação do investimento comparando os dois cenários A e B definidos anteriormente. Essa avaliação baseou-se no cálculo do VAL, da TIR, do break even e do payback. O break even define a taxa mínima a que a empresa tem de trabalhar para que não ocorra prejuízo. Por sua vez, através do payback consegue-se ter a informação sobre o tempo, que a empresa, irá recuperar seu investimento, ou seja, permite saber, após quanto tempo se obtém o retorno do investimento realizado. A análise a estes dois conceitos, anteriormente definidos, permite obter uma boa comparabilidade sobre o estudo efectuado destes dois cenários A e B.

É de salientar, que todos os resultados que se seguem, foram baseados em dados de custos fixos e variáveis importantes para este estudo, sendo que esses valores, no ceio da empresa Promoplás são confidenciais. Os custos fixos foram constituídos por: investimento inicial, que inclui o valor do preço do molde e dos respectivos acessórios agregados às máquinas, leasing e mão dobra. Para os custos variáveis considerou-se os custos relacionados com: electricidade, óleo ou massa lubrificante, para o caso das máquinas eléctricas, água, preço da matéria-prima e manutenção com as máquinas injectoras. Este estudo foi de igual modo, baseado numa série de pressupostos definidos, anteriormente explicados, no capítulo da metodologia.

Foi possível, com a ajuda de um técnico especialista em máquinas injectoras, medir os Kw, que uma máquina hidráulica e eléctrica consomem. A tabela 4.3 mostra essas medições. Observa-se uma diferença significativa dos Kw consumidos. Estes valores de energia foram a base para realizar os cálculos deste estudo.

Tabela 4.3: Valores da energia em Kw

		Máquina 650 toneladas	
		Hidráulica	Eléctrica
Energia consumida (Kw)		40	6,66
		Máquina 140 toneladas	
Energia consumida (Kw)		17,83	2,99

Numa primeira parte procedeu-se ao estudo do cenário A e posteriormente ao do cenário B. Relativamente ao cenário A, os seguintes gráficos representam o break even de uma máquina hidráulica e eléctrica de 650 toneladas. A taxa mínima de ocupação, ou seja, a taxa mínima à qual a empresa deve trabalhar para que não haja prejuízos, é determinada pela intersecção das rectas dos custos totais com as Vendas. Como se pode ver na figura 1.34, o break even para o Cenário A, de uma máquina hidráulica é de 35% e na figura 1.35 verifica-se, para uma máquina eléctrica, um break even de 40%.

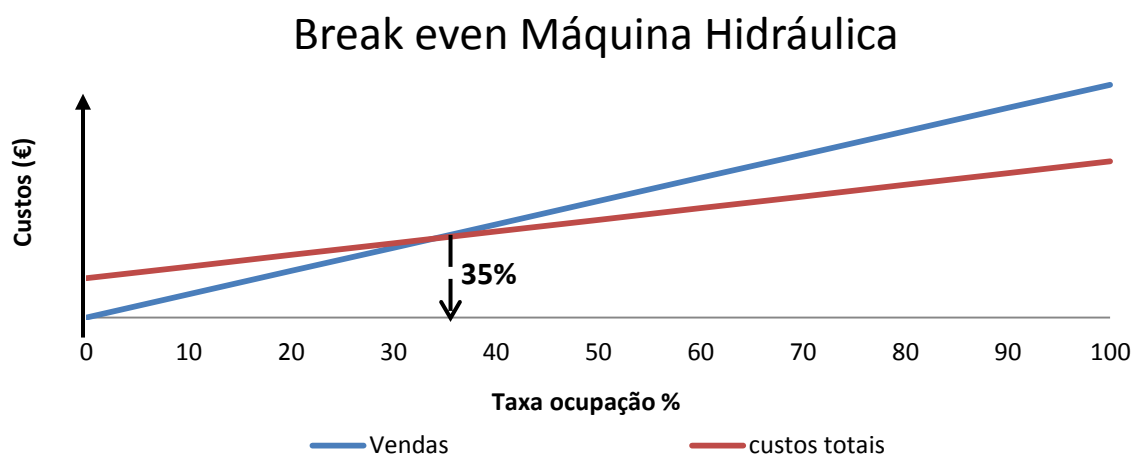


Figura1.34: Break even máquina hidráulica para o cenário A

Break even Máquina Eléctrica

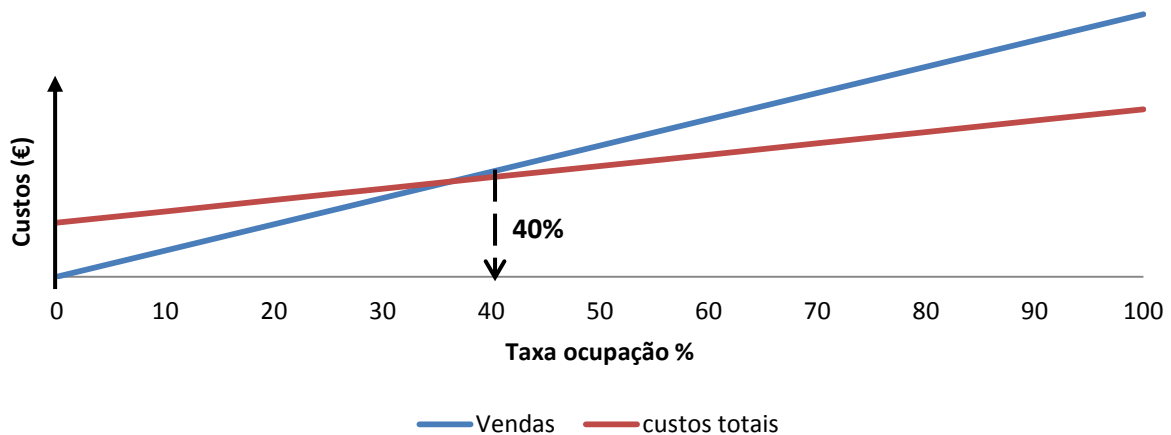


Figura1.35: Break even máquina eléctrica para o cenário A

Como no cálculo do break even se considerou que os custos variáveis eram proporcionais à taxa de produção, os resultados obtidos indicam que o break even da máquina eléctrica é menor que o da hidráulica.

O que se verifica é que o investimento de uma máquina eléctrica de 650 toneladas é 28% superior ao investimento de uma máquina hidráulica de 650 toneladas. Apesar disso verifica-se que os custos totais para a máquina hidráulica são 5% superiores aos custos totais da máquina eléctrica devido ao facto de os custos variáveis serem menores no caso da máquina eléctrica.

Seguidamente procedeu-se a análise financeira, para o cenário A, uma vez que o principal interesse da fábrica e objectivo deste estudo se remete à poupança energética de uma máquina eléctrica relativamente a uma máquina hidráulica. A tabela 4.4 indica os custos, em percentagem, da electricidade e da matéria-prima para ambas as máquinas. Observa-se uma diferença bastante significativa no custo da electricidade, sendo esta 6 vezes superior numa máquina hidráulica. A electricidade representa 2.64% dos custos totais no caso da máquina hidráulica e apenas 0.40% no caso da eléctrica. Como era de esperar, na estrutura de costas, o maior peso corresponde à matéria-prima.

Tabela 4.4: Custos do cenário A

Custos	Hidráulica	Eléctrica
Electricidade	2,64%	0,40%
Matéria-Prima	87,52%	

O seguinte gráfico representa o payback para o cenário A. Para a obtenção deste gráfico foi elaborado um quadro previsionial com a previsão dos custos e vendas actualizados numa

amostragem de 10 anos. Desta forma, foi possível verificar a duração do retorno do investimento. Tanto para o cenário A como para o cenário B, manteve-se uma taxa de crescimento de vendas sempre constante durante a previsão dos 10 anos.

Analisando a figura 1.36, verifica-se que o período de recuperação do capital investido é conseguido após 4 anos para ambas as máquinas.

O período de tempo é o mesmo, devido a diferença que há entre os elevados custos totais de uma máquina hidráulica, que compensam o investimento inicial superior da máquina eléctrica.

Apesar do período de tempo ser o mesmo, após os 4 anos, de investimento recuperado, observa-se valores de cash flows superiores para a máquina eléctrica. O VAL de uma máquina eléctrica é 14% superior ao VAL de uma máquina hidráulica.

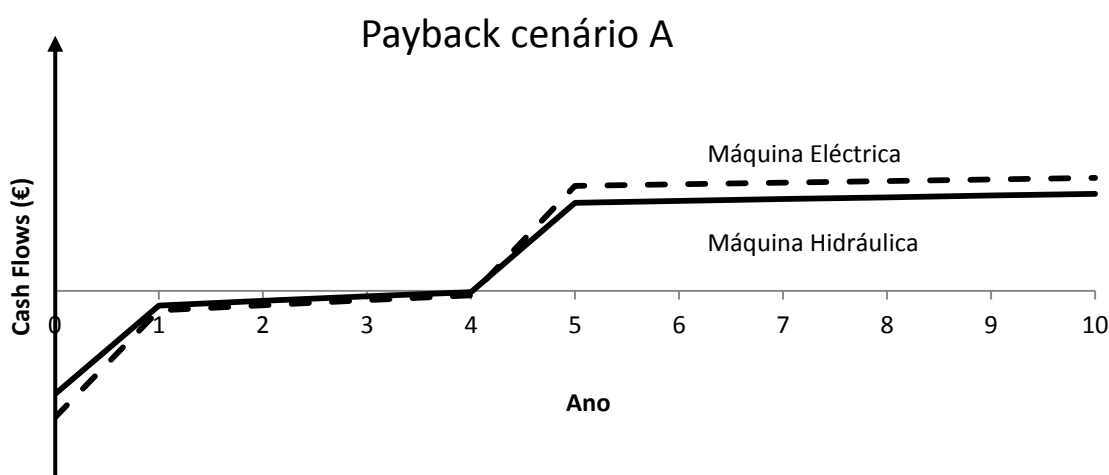


Figura 1.36: Representação do payback para o cenário A

Passando, para o estudo do cenário B em que temos uma máquina hidráulica e eléctrica de 140 toneladas. O estudo para este cenário procedeu-se da mesma maneira, que para o cenário A.

Relativamente ao cenário B, as figuras 1.37 e 1.38 representam o break even de uma máquina hidráulica e eléctrica de 140 toneladas. A taxa mínima de ocupação, ou seja, a taxa mínima à qual a empresa deve trabalhar para que não haja prejuízos, é determinada pela intersecção das rectas dos custos totais com as Vendas. Como se pode ver nas figuras 1.37 e

Tabela 4.5: Custos do cenário B

Custos	Hidráulica	Eléctrica
Electricidade	10,0%	1,60%
Matéria-Prima	49,2%	

Analisando a figura 1.39, verifica-se que o período de recuperação do capital investido é conseguido após o 4º ano e meio, para a máquina hidráulica e de um ano para uma máquina eléctrica.

O período de tempo é superior numa máquina hidráulica porque neste cenário B, o investimento inicial de uma máquina eléctrica é de apenas 3,2 % superior.

O VAL de uma máquina eléctrica é 4 vezes superior ao VAL de uma máquina hidráulica.

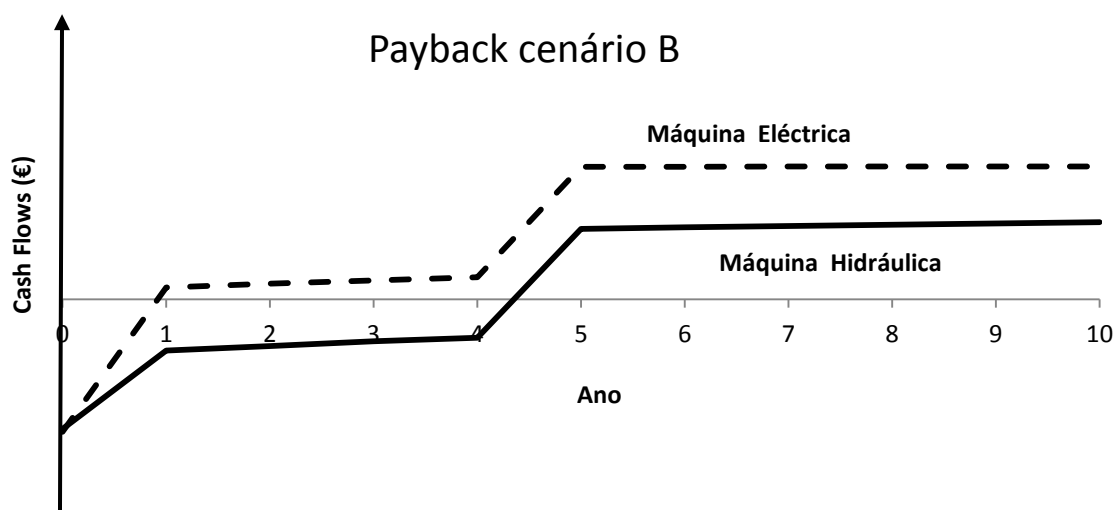


Figura1.39: Representação do payback para o cenário B

Após a cuidada análise dos cenários A e B, individualmente, a tabela 4.6 apresenta os principais resultados obtidos.

Tabela 4.6: Principais resultados do cenário A e B

	Cenário A		Cenário B	
	Máquinas 650T		Máquinas 140T	
	Hidráulica	Eléctrica	Hidráulica	Eléctrica
Break even	35%	40%	48%	45%
Custo energético	2,64%	0,4%	10%	1,6%
Custo matéria-prima	87,52%		49,2%	
Payback	4 anos	4 anos	4 anos e meio	1 ano
VAL	14 vezes superior ao da hidráulica		4 vezes superior ao da hidráulica	
TIR	21%	23%	17%	21%

Conclui-se ainda, que devido a estrutura dos custos, A TIR da máquina eléctrica tem de ser superior a TIR da máquina hidráulica e o break even da máquina eléctrica menor que o break even da máquina hidráulica.

Uma das grandes vantagens em termos de poupança energética é a possibilidade de se produzir o mesmo produto, operando nas mesmas condições, consegue-se minimizar os custos de produção, em 6 vezes mais barato, apenas energeticamente, mantendo o mesmo preço no produto final.

Para além do estudo que foi elaborado, ainda há critérios qualitativos que podem ser e devem ser tomados em consideração, muito favoráveis para a aquisição de uma máquina eléctrica como: Precisão, fiabilidade, limpeza e rentabilidade.

4.

Conclusões

Actualmente as empresas procuram cada vez mais formas de incrementar a sua vantagem competitiva para fazer face à competitividade do mercado. Essa vantagem competitiva começa por vezes pela própria organização da empresa assim como pela optimização dos seus processos.

Este trabalho tem os seguintes objectivos: optimização do processo de arrefecimento de água utilizada na unidade fabril para proceder ao arrefecimento dos moldes, possibilitando uma poupança energética e diminuindo a percentagem de rejeição devido a oscilações na temperatura de arrefecimento; estudar a possibilidade de substituir 2 máquinas hidráulicas por máquinas eléctricas; revisão do plano de controlo da qualidade de modo a diminuir a percentagem de rejeição de produto final não conforme.

Para realizar o estudo de optimização energética do circuito de água de arrefecimento foram monitorizadas as temperaturas ao longo do circuito no final do verão e no início do inverno. Optou-se por isolar os tanques de água fria e de água quente, tendo-se obtido uma poupança mensal na ordem dos 300 euros. Além desta poupança verificou-se uma maior estabilidade da temperatura de água de refrigeração à entrada das máquinas o que levou a uma diminuição dos problemas relacionados com a refrigeração do molde. Como isolamento usou-se com uma espuma elastomérica com uma poupança de 20 Kw e obtendo-se um COP de 2,07.

O estudo de substituição das máquinas hidráulicas por máquinas novas revelou que é mais vantajoso adquirir máquinas eléctricas. Como os custos de energia eléctrica de uma máquina de injeção eléctrica são 6 vezes menores que os de uma máquina hidráulica, tanto o VAL como a TIR como o payback indicam que é vantajosa a opção eléctrica apesar de estas terem custos de investimento superiores.

Para o cenário A obteve-se um VAL 14% superior ao da máquina hidráulica, uma TIR de 21% para máquina hidráulica e de 23% para a máquina eléctrica e um payback de 4 anos para ambas as máquinas

Para o cenário B obteve-se um VAL 4 vezes superior ao da máquina hidráulica, uma TIR de 17% para máquina hidráulica e de 21 % para a máquina eléctrica e por fim um payback de 1 ano para a máquina eléctrica e um payback de 4 anos e meio para a hidráulica.

Estes valores comprovam que tanto no cenário A como no cenário B a máquina eléctrica é a melhor opção.

Para elaborar as propostas de revisão do plano de controlo da qualidade fez-se um estudo detalhado sobre os principais defeitos associados à matéria-prima, aos parâmetros de injeção, à refrigeração do molde, ao modo como é feito o controlo do processo de produção e ao processo de controlo da qualidade do produto acabado.

Destes problemas os principais são:

- O empeno que resulta de problemas de refrigeração do molde;
- Falha incompleta que resulta de problemas relacionados com a matéria-prima;
- Rebarba que resulta de problemas relacionados com os parâmetros de injeção;

Como conclusão deste estudo foi sugerida a classificação da matéria-prima, do molde e da peça de acordo com a probabilidade esperada de ocorrência de falha no processo de produção. Propõe-se que esta classificação condicione a maneira como é feito o controlo do processo de produção e do processo de controlo da qualidade do produto final, sendo sugerido o controlo da dimensionalidade da peça, o controlo do peso, o controlo visual de defeitos seja mais rigoroso no caso de situações conjuntas onde a probabilidade de falha seja maior. É sugerida uma classificação em 3 grupos de probabilidade conjunta, correspondentes a graus elevado, médio e baixo de ocorrência de falha. Foram sugeridas as seguintes propostas de alteração:

- Classificação qualitativa das matérias-primas, do molde e da complexidade da peça;
- A amostragem, durante o processo de produção;
- Controlo da matéria-prima recepcionada;
- Controlo do peso do produto através de uma balança por cada posto de controlo
- Controlo do tipo de defeito
- Melhoria da Rastreabilidade do produto

Destas propostas já foram implementadas as seguintes: as balanças (controlo do peso).

Foi estudada a substituição de ABS por polipropileno de baixo índice de fluidez. Após um ensaio de injeção de 200 peças conclui-se que a poliolefina é mais vantajosa porque as peças apresentam maior resistência ao impacto, há uma poupança energética de 5% porque o ABS necessita de pré-tratamento, e há um ganho de 35% na margem porque o a poliolefina é mais barata.



Trabalho Futuro

No intuito de aprofundar o estudo elaborado nesta dissertação, poder-se-ia estudar a viabilidade dos painéis fotovoltaicos.



Referências Bibliográficas

- [1] Promoplás, <http://www.promoplas.pt> (cited:15/09/2014)
- [2] Bruno Proença, “Revista Económico nº.5654”, Editorial, 16 Abril 2013.
- [3] ROSATO, Dominick V., ROSATO, Marlene G. “Injection Molding Handbook.” 3th Edition. USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] N.A. Dotson et all, “Polymerization –process –modeling”, Wiley-VCH, Canada, 1996
- [5] F. A. Mesquita, “Modificação das propriedades do polietileno de alta densidade por diferentes condições de extrusão”, Tese de Mestrado, Dep. Eng. Metalurgica e Materiais, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2010
- [6] HDPE grade Targets expanded medical applications”, *Plastics Today*, 2012, <http://www.plasticstoday.com/articles/hdpe-grade-targets-expanded-medical-applications1016201201>,
- [7] “Polyethylene Production Technologies”, Echem, Enppi, http://www.academia.edu/4066905/POLYETHYLENE_PRODUCTION_TECHNOLOGIES
- [8] Extrusão de Filme: Polietileno e Polipropileno. Catálogo técnico da Braskem, 2008.
- [9] S. Deffree, “Polyethylene synthesis is discovered by accident (again), March 27, 1933”, EDN Network, 2014, <http://www.edn.com/electronics-blogs/edn-moments/4410771/Polyethylene-synthesis-is-discovered--again--by-accident--March-27—1933>
- [10] Eisele, P. e Killpack, R.; *Propene*; Ullman’s Encyclopedia of Process Systems Engineering; 2011.
- [11] Klein, S. A., Manske, K. A., e Reindl, D. T.; *Evaporative Condenser Control in Industrial Refrigeration Systems*; International Journal of Refrigeration - Volume 24, Número 7; 2001.
- [12] Asmar, B. N.; *Control of a Two-stage Refrigeration System*; Tese (Mestrado) - Universidade de Nottingham, Abril; 1999.
- [13] McCarthy, A. J. e Hopkins, M. E.; *Simplify Refrigeration Estimating*; Hydrocarbon Processing, Julho; 1971.
- [14] Mehra, Y. R.; *Refrigeration Systems for Low-temperature Processes*; Chemical Engineering - Volume 12, Julho; 1982.
- [15] Goldfarb, S. e Oldham, J.; *Refrigeration Loop Dynamic Analysis Using PROTISS*; Computers and Chemical Engineering - Volume 16; 1996.

- [16] Hau, O. B.; Thermodynamic Analysis of Absorption Refrigeration Systems (ARS); Tese (Bacharelato) - Universidade Malaysia Pahang, Maio; 2010.
- [17] Sun, D.; *Solar Powered Combined Ejector-vapor Compression Cycle for Air-conditioning and Refrigeration*; Energy Conversion and Management - Volume 38, Março; 1997.
- [18] BRETAS, R.E.S.; D'Ávila, M.A. Reologia de polímeros fundidos. São Carlos:EDUFSCar,2000
- [19] El Fadar, A., Mimet, A., Azzabakh, A., Pérez-García, M. e Castaing, J.; *Study of a New Solar adsorption Refrigerator Powered by a Parabolic Trough Collector*; Applied Thermal Engineering - Volume 29, Abril; 2009.
- [20] Khaliq, A., Agrawal, B. K. e Kumar, R.; *First and Second Law Investigation of Waste Heat Based Combined Power and Ejector-absorption Refrigeration Cycle*; International Journal of Refrigeration - Volume 35, Janeiro; 2012.
- [21] Han, W., Sun, L., Zheng, D., Jin, H., Ma, S. e Jing, X.; *New Hybrid Absorption-compression Refrigeration System Based on Cascade Use of Mid-temperature Waste Heat*, Applied Energy - Volume 106, Junho; 2013.



Anexos

7.1 Anexo A- Norma MIL STD 105D

MIL STD 105D																							
TABLE I Sample size code letters				TABLE II-A Single sampling plans for normal inspection (Master table)																			
Lot or batch size	General inspection levels			Sample size code letter	Sample size	Acceptable Quality Levels (normal inspection)																	
	I	Level Normally Used II	III			0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25
						Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
2 to 8	A	A	B	A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
9 to 15	A	B	C	B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
16 to 25	B	C	D	C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
26 to 50	C	D	E	D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
51 to 90	C	E	F	E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
91 to 150	D	F	G	F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
151 to 280	E	G	H	G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
281 to 500	F	H	J	H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
501 to 1200	G	J	K	J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
1201 to 3200	H	K	L	K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
3201 to 10000	J	L	M	L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
10001 to 35000	K	M	N	M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
35001 to 150000	L	N	P	N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
150001 to 500000	M	P	Q	P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
500001 and over	N	Q	R	Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
				R	2000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		

Ac Acceptance number.
Re Rejection number.

↓ Use first sampling plan below arrow. If sample size equals, or exceeds, lot or batch size, do 100 percent inspection.
↑ Use first sampling plan above arrow.

Figura 1.40: Norma MIL STD 105D usada para efectuar a amostragem do produto embalado.%