

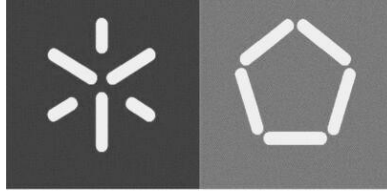


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carlos Daniel Ribeiro Marques

**Estudo e otimização de um sistema  
automático de enchimento de ampolas**

junho de 2022



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carlos Daniel Ribeiro Marques

**Estudo e otimização de um sistema  
automático de enchimento de ampolas**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Eurico Augusto Rodrigues Seabra**

junho de 2022

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição**

**CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/>

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado seria impossível sem o apoio não só académico mas também pessoal de diversas pessoas da minha vida. Começo por agradecer o enorme contributo prestado por todas essas pessoas.

Quero agradecer ao meu orientador, professor Eurico Seabra, por me ter dado a oportunidade de trabalhar com ele com um tema que se enquadra na área de especialização escolhida por mim e que sempre me agradou imenso. Um muito obrigado pela orientação prestada em momentos mais complicados da realização deste projeto.

À engenheira Cristina Coelho, que foi a pessoa que mais me acompanhou e me orientou durante o tempo que estive presente na *MesoSystems* a desenvolver este trabalho e que sempre me ajudou em tudo o que fosse necessário. À doutora Ana Casas, CEO da empresa, que me deu a oportunidade de realizar este projeto num contexto empresarial.

Um muito obrigado também à minha família, em especial aos meus pais porque sem eles seria impossível a conclusão da minha formação académica. Agradecer por serem as primeiras pessoas a apoiar-me nos momentos mais difíceis da minha vida e por me motivarem para ser sempre uma pessoa melhor.

Um especial obrigado ao meu grupo mais chegado da universidade pela partilha de apontamentos e conhecimento que tanto me ajudaram a concluir esta etapa da minha vida.

Por último mas não menos importante quero agradecer a todos os meus amigos, em especial aos que fazem parte do grupo Cubas, por estarem sempre comigo e me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos da minha vida.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

A presente dissertação de mestrado baseia-se no estudo e otimização de um dispositivo que faz a abertura e selagem de ampolas para comercialização. O equipamento numa primeira fase tem uma chama que abre um orifício na ampola por onde, numa segunda fase, é inserido o líquido com que se pretende encher a ampola. Por último há a atuação de duas chamas, controladas por certos níveis de gás e oxigénio, que efetuam a selagem da ampola.

A empresa *MesoSystems*, local onde foi desenvolvido este projeto, é a detentora desta máquina e pretende que a mesma funcione de modo totalmente automático, sem ocorrer nenhuma vigilância por parte de um operador, durante um turno de sete horas de funcionamento.

Em primeiro lugar, o equipamento foi analisado ao pormenor e foram identificados os seus principais componentes. Para além disso, foram também identificados os componentes da maior parte dos outros dispositivos presentes no mercado e comparou-se as características de modelos semelhantes da marca *ROTA e Harsiddh Engineering*.

O próximo passo da dissertação foi a descrição do tipo de ampolas usadas na máquina e a identificação do tipo de controlo de qualidade utilizado pela empresa na produção das ampolas. Foi também realizado um teste ao aparelho para identificar os problemas principais do mesmo.

De seguida, foi idealizado um sistema com sensores de temperatura através da utilização do *software Arduino* para se conseguir analisar e trabalhar os valores de temperatura retirados para cada uma das chamas.

Por fim, e após uma extensa análise dos resultados obtidos com o sistema projetado, foram retiradas as devidas conclusões e expôs-se os possíveis trabalhos futuros para este projeto.

## PALAVRAS-CHAVE

Ampola, Sensor de temperatura, Chama, Análise de dados, Gráficos de controlo.

## ABSTRACT

This master thesis is based on the study and optimization of a device that opens and seals ampoules for retail. The equipment, in the first place, has a flame that opens a hole for a liquid to be filled in the ampoule. Then, two flames of gas and oxygen are responsible to seal the ampoule.

The company Mesosystems, where this project was developed, is the owner of this machine and wants the equipment to work fully automatically, without operator surveillance, during a seven hour shift.

Firstly, the equipment was analyzed in detail and the main components were identified. In addition, the components of most of the other devices on the market were identified and the characteristics of similar models from the *Rota and Harsiddh Engineering brands were compared*.

The next step of the thesis was the description of the type of ampoules used in the machine and the identification of the type of quality control used by the company in the production process. A test was also carried out on the equipment to identify the main problems.

Then, a system with temperature sensors was designed using the Arduino software to be able to analyze and work with the temperature values obtained for each of the flames.

Finally, and after an extensive analysis of the results obtained with the designed system, the appropriate conclusions were taken and the possible future works for this project were exposed.

## KEYWORDS

Ampoule, Temperature sensor, Flame, Data analysis, Control charts.

## ÍNDICE

Agradecimentos .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xii
Simbologia.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos da dissertação .....	1
2. Descrição da máquina.....	2
2.1 Disco rotativo.....	2
2.2 Sistema automático de enchimento .....	3
2.2.1 Ficha Técnica da máquina .....	5
3. Estudo do mercado .....	6
3.1 Máquinas ROTA .....	6
3.2 Máquinas Harsiddh Engineering.....	11
3.3 Comparação entre as Máquinas ROTA e as Máquinas Harsiddh .....	15
4. Descrição de uma ampola e de uma máquina de enchimento generalizada .....	17
4.1 Descrição do tipo de ampolas estudadas.....	19
4.2 Definição de qualidade de produto e aplicação ao processo das ampolas .....	19
5. Teste ao equipamento .....	22
6. Estudo do prato rotativo.....	24
6.1 Defeitos das ampolas .....	24
6.2 Reguladores de gás e oxigénio .....	25
6.3 Implementação de sensores de temperatura .....	27
6.4 Análise da primeira chama do processo.....	32
6.5 Análise da segunda e terceira chama do processo .....	38
6.6 Análise e Interpretação de Resultados.....	43



7. Reflexões finais e trabalhos futuros .....	51
7.1 Reflexões finais .....	51
7.2 Trabalhos futuros .....	52
Referências Bibliográficas .....	53
Anexo I – Desenho técnico da peça implementada na primeira chama .....	55
Anexo II – Desenho técnico da peça implementada na segunda e terceira chama .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Quatro fases do processo de enchimento e selagem das ampolas.....	2
Figura 2 - Fotografia do equipamento que torna o processo de selagem de ampolas automático .....	4
Figura 3 - ROTA 911MA [2].....	7
Figura 4 - ROTA R915MA [3].....	8
Figura 5 - ROTA R941MA [4].....	9
Figura 6 - ROTA R921MA [5].....	10
Figura 7 - ROTA R960MA [6].....	10
Figura 8 - HFS-300V [7].....	11
Figura 9 - HFS-8 [7] .....	12
Figura 10 - HFS-6 [7] .....	12
Figura 11 - HFS-4 [7] .....	13
Figura 12 - HFS-55 [7] .....	14
Figura 13 - HFS 30 [7] .....	14
Figura 14 - Constituição de uma ampola [8] .....	17
Figura 15 - Comparação de uma ampola conforme com cinco ampolas não-conformes.....	20
Figura 16 - Sistema de medição dos reguladores de gás e oxigénio das três chamas .....	26
Figura 17 - Código de programação em Arduino de um sensor de temperatura.....	27
Figura 18 - Ligações efetuadas entre o Arduino UNO, os três sensores e a placa de ensaios	28
Figura 19 - Código de programação em Arduino dos três sensores de temperatura em simultâneo.....	29
Figura 20 - Calibração do sensor utilizando água a ferver .....	30
Figura 21 - Calibração do sensor utilizando água gelada .....	31
Figura 22 - Modelação 3D da peça que suporta o sensor de temperatura .....	31
Figura 23- Variação da temperatura da primeira chama ao longo de 45 minutos sem abertura de ampola.....	33
Figura 24 - Posição dos reguladores de gás e oxigénio para a primeira chama .....	34

Figura 25 - Variação da temperatura do sensor presente na primeira chama ao longo do tempo .....	35
Figura 26 - Momento em que a chama realiza o orifício no topo da ampola .....	36
Figura 27 - Variação do diâmetro do furo da ampola na primeira chama.....	37
Figura 28 - Ampola que segue os padrões de qualidade pretendidos.....	38
Figura 29 - Variação da temperatura do sensor presente na segunda chama sem produção de ampola.....	39
Figura 30 - Variação da temperatura do sensor presente na terceira chama sem produção de ampola.....	40
Figura 31 - Posição dos reguladores de gás e oxigénio para a segunda chama .....	41
Figura 32 - Variação da temperatura do sensor a atuar na segunda chama com produção de ampola.....	42
Figura 33 - Posição dos reguladores de gás e oxigénio para a terceira chama do processo... ..	42
Figura 34 - Variação da temperatura do sensor a atuar na terceira chama com produção de ampola.....	43
Figura 35 - Gráfico de controlo numérico R .....	47
Figura 36 - Gráfico de controlo numérico $x$ .....	48
Figura 37 - Tipos de defeitos encontrados nas ampolas produzidas.....	49

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do sistema que automatiza o processo de enchimento e selagem de ampolas [1].....	4
Tabela 2 - Ficha técnica da máquina .....	5
Tabela 3 - Comparação entre as diferentes máquinas ROTA e as Máquinas Harsiddh.....	15
Tabela 4 - Componentes de um aparelho de enchimento de ampolas [8] .....	18
Tabela 5 - Defeitos das ampolas produzidas e respectivas causas.....	24
Tabela 6 - Valores médio, máximo e mínimo de temperatura lidos pelo primeiro sensor sem abertura de ampola.....	33
Tabela 7 - Valores obtidos através da leitura de temperaturas do primeiro sensor com abertura de ampola.....	36
Tabela 8 - Valores obtidos através da leitura de temperaturas do segundo sensor sem produção de ampola .....	39
Tabela 9 - Valores máximo mínimo e médio para a temperatura do terceiro sensor sem produção de ampola .....	40
Tabela 10 - Valores obtidos para a temperatura do segundo sensor com produção de ampola .....	41
Table 11 - Valores obtidos para a temperatura do terceiro sensor com produção de ampola .....	43
Tabela 12 - Apresentação dos seis valores de coeficiente de variação obtidos.....	44
Tabea 13 - Identificação da situação de um equipamento industrial em função do seu coeficiente de variação [12] .....	45
Tabela 14 - Leitura de 45 dados de temperatura para a terceira chama .....	46

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

LSC – Limite superior de controlo

LIC – Limite inferior de controlo

FDS – Ficha de dados de segurança

CE – Indicativo de conformidade obrigatória para diversos produtos comercializados no Espaço Económico Europeu

ISO – Norma que certifica produtos e serviços de acordo com as especificações da Organização Internacional de Padronização

PLC – Controlador Lógico Programável

## SIMBOLOGIA

<b>Símbolo</b>	<b>Designação</b>	<b>Unidade SI</b>
$d_{m\acute{a}x}$	Diâmetro máximo da ampola	mm
$\sigma$	Desvio padrão	
$n$	Tamanho da amostra	
$\bar{x}$	Média da amostra	
$\bar{\bar{x}}$	Valor médio das medidas da amostra	
$CV$	Coefficiente de variação	
$R$	Diferença entre o valor máximo e mínimo	
$\bar{R}$	Média da diferença entre os valores máximos e mínimos da amostra	
$D_3$	Valor tabelado usado nos gráficos de controlo	
$D_4$	Valor tabelado usado nos gráficos de controlo	
$A_2$	Valor tabelado usado nos gráficos de controlo	

## **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de equipamentos completamente automatizados que consigam funcionar 24 horas por dia sem qualquer intervenção do ser humano é a melhor forma de otimizar ao máximo a produção de uma empresa. O uso de máquinas o mais autónomas possível contribui também para uma minimização dos erros associados à intervenção humana, o que gera uma redução dos prejuízos nas contas da empresa.

A empresa *MesoSystems*, localizada em São Félix da Marinha, Gaia, dedica-se à produção de vários produtos cosméticos. Um dos departamentos da empresa é responsável pelo enchimento de ampolas de vidro. De momento, a empresa possui dois dispositivos que permitem o enchimento de ampolas, mas apenas um deles está a funcionar corretamente.

O equipamento que não está a operar pode encher ampolas de 2 mL e 5 mL e trabalha tanto com ampolas fechadas como com ampolas abertas. A operação deste aparelho é quase toda automática mas ainda necessita de algum controlo e monitorização humana.

### **1.1 Objetivos da dissertação**

Os principais objetivos desta dissertação são:

- Estudo do processo atual de enchimento de ampolas de vidro;
- Identificação dos problemas encontrados na máquina;
- Determinação das temperaturas ideais de chama para ocorrer o menor desperdício possível;
- Implementações de soluções para resolver os problemas presentes no equipamento.

## 2. DESCRIÇÃO DA MÁQUINA

A máquina que irá ser estudada nesta dissertação é composta por dois equipamentos distintos.

Um dos equipamentos é um disco rotativo que realiza o enchimento de ampolas de 2 mL e 5 mL e este processo é totalmente manual. Ou seja, o operador tem de colocar e retirar as ampolas uma a uma do prato rotativo.

Numa segunda fase foi desenvolvido outro equipamento (braço robótico) que trabalha em cooperação com o prato rotativo de modo a tornar o processo totalmente automático.

### 2.1 Disco rotativo

Esta máquina engloba a componente manual e trabalha com ampolas abertas ou fechadas de 2 e 5 mL. O enchimento de ampolas de vidro é realizado num equipamento contínuo e rotativo e este processo (com utilização de ampolas fechadas) é realizado em quatro fases e estas estão apresentadas na figura 1.

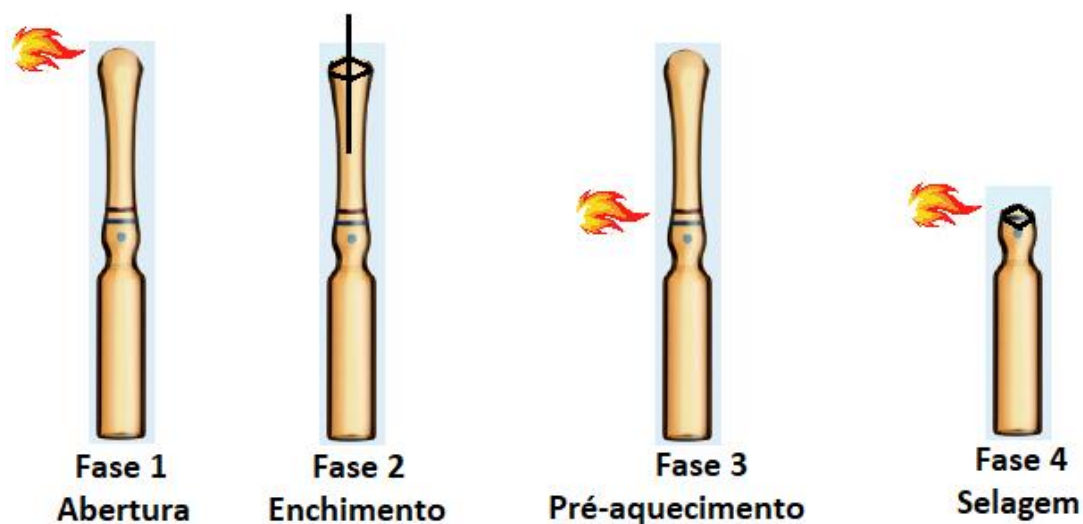


Figura 1 - Quatro fases do processo de enchimento e selagem das ampolas

Na primeira fase, a chama é aplicada no topo da ampola e o vidro funde, abrindo um pequeno orifício. O conteúdo (normalmente líquido) é inserido na ampola através desse orifício, com a utilização de uma agulha, o que completa a segunda fase do processo.



De seguida, terceira fase, outra chama obtida com diferentes valores de gás e oxigénio é aplicada no meio da ampola para ocorrer um préaquecimento da mesma.

Por fim, é empregue uma terceira chama à ampola, ocorrendo assim a última fase do processo (selagem), fechando a ampola e retirando o lixo resultante do processo (com a ajuda de uma pinça). Como o prato indexado tem um funcionamento contínuo e rotativo existe sempre uma ampola em cada uma das fases do procedimento.

Nas fases em que a ampola entra em contacto com uma chama (fases 1, 3 e 4) a ampola roda a velocidade constante para que a abertura/selagem da ampola ocorra de forma uniforme e a ampola não saia defeituosa.

Neste prato rotativo existe também uma escavadora de fumos que canaliza os fumos durante os processos de abertura e selagem da ampola.

## **2.2 Sistema automático de enchimento**

Esta segunda componente do equipamento tem a principal função de transformar o enchimento de ampolas num processo completamente automático que consiga produzir 16 tabuleiros de ampolas (durante aproximadamente 7 horas seguidas) sem necessitar de manuseamento ou monitorização de um operador.

Este sistema automático de enchimento de ampolas de 5 mL e 2 mL foca-se em preencher requisitos de primordial importância na indústria atual tais como, inovação, rapidez, desempenho, fiabilidade e simples manipulação.

Como o nome indica, este aparelho trata do transporte e manuseamento de ampolas para enchimento e selagem. A máquina foi toda construída em Aço Inox AISI 304L.

A estrutura da máquina é apoiada em suporte ergonómico, sendo fácil ao operador a manipulação para troca de tipos de ampolas. Possui tecnologia digital com *display touch-screen* para uma melhor interface homem-máquina, movimentos servo-motorizados e controlo para autómato programável de modo a facilitar a alteração do tipo de funcionamento do equipamento.

Os principais componentes deste aparelho estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Componentes do sistema que automatiza o processo de enchimento e selagem de ampolas [1]

Nº	Designação	Descrição detalhada
1	Quadro elétrico	Quadro de proteção
2	Caixa HMI & Botoneiras	Caixa e ecrã onde se situam os comandos do equipamento
3	Mesa Linear	Eixo de movimento linear horizontal responsável pelo transporte do tabuleiro para o braço robótico
4	Elevador Direita	Eixo de movimento linear vertical responsável pelo transporte dos tabuleiros à direita
5	Elevador Esquerda	Eixo de movimento linear vertical responsável pelo transporte dos tabuleiros à esquerda
6	Robô	Componente responsável pelo transporte das ampolas do tabuleiro para o prato rotativo e vice-versa
7	Câmaras de Inspeção	Componentes responsáveis pelo controlo das chammas

A figura a seguir é uma fotografia do equipamento e permite identificar os elementos apresentados na tabela 1.



Figura 2 - Fotografia do equipamento que torna o processo de selagem de ampolas automático

O componente número 7 que representa as câmaras de inspeção não se consegue visualizar na figura acima mas está apresentado na figura 16 desta dissertação.

Esta máquina possui dois elevadores, responsáveis pelo movimento vertical dos tabuleiros de ampolas, no início e fim do processo. Existe um tapete rolante tem a função de levar os tabuleiros ao centro do aparelho.

De seguida, um robô da marca *KUKA Industrial Robots*, pega numa ampola de cada vez (no tabuleiro presente no centro do aparelho) e faz o transporte dessa ampola do tabuleiro até ao disco rotativo que tem a função de abrir, encher e fechar a ampola. O robô primeiramente pega numa ampola, uma a uma e coloca-as no prato rotativo até o prato ter todos os doze espaços preenchidos com uma ampola em cada um. Depois, o robô, sincronizado com a velocidade de rotação do disco, retira uma ampola do prato colocando-a já cheia no tabuleiro e pega numa vazia do tabuleiro colocando-a no lugar vazio do prato rotativo. Isto ocorre até o tabuleiro estar completo de ampolas cheias prontas a ser esterilizadas.

#### 2.2.1 Ficha Técnica da máquina

O equipamento foi fabricado no mês de Jul do ano 2019 e as principais características da mesma estão apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 2 - Ficha técnica da máquina [1]

<b>Dimensões</b>	Comprimento máximo: 2700 mm Largura máxima: 1200 mm Altura máxima: 2005 mm
<b>Peso</b>	+/- 400 kg
<b>Caraterísticas elétricas</b>	Tensão de alimentação: 400 Vac, 50 Hz, +/- 32 A máx Tensão de comando: 24 Vdc $\pm$ 5%, 10 A máx Frequência de trabalho: Variável
<b>Tipo de movimento</b>	Linear
<b>Motores</b>	SERVO Serie LEY - SMC

### 3. ESTUDO DO MERCADO

No mercado de hoje em dia, existe uma grande variedade de máquinas industriais de abertura e selagem de ampolas. O preço de cada um destes equipamentos é diretamente proporcional com a sua cadência de produção. Ou seja, à partida, um equipamento que consegue fechar 5000 ampolas numa hora será bem mais caro que um equipamento que apenas consegue selar 1000 ampolas/hora.

A diferença na cadência de produção deste tipo de máquinas varia imenso e pode ir desde 600 até 18000 ampolas por hora. O tamanho das ampolas que são seladas nestes equipamentos também varia desde 0,2 mL até aos 30mL de líquido e a maior parte dos equipamentos consegue encher ampolas de diversas capacidades.

As duas principais marcas de produção destes dispositivos são a *ROTA* e a *Harsiddh Engineering* e nos dois capítulos seguintes serão apresentados alguns exemplos de aparelhos destas duas marcas e as suas principais características.

#### 3.1 Máquinas ROTA

A ROTA 911MA é um equipamento baseado num processo automático de enchimento e selagem de ampolas (figura 3). É adequado para armazenar qualquer tipo de líquido sob condições estéreis ou não e é ideal para produção a uma escala pequena porque a máquina apenas opera uma ampola de cada vez.

Como tem um *design* compacto, a máquina é muito fácil de operar e limpar. A lista enorme de opções de configuração encontrada neste dispositivo permite responder de forma apropriada aos requisitos de cada cliente.

Enche produtos desde 0,2 mL até 30 mL de líquido, o diâmetro máximo da ampola é 52 mm e a sua produção pode conseguir chegar às 3000 ampolas numa hora.



Figura 3 - ROTA 911MA [2]

A ROTA R915MA trabalha de uma forma semi-automática e é adequado para encher ampolas ou frascos sob condições estéreis ou não (figura 4). Pode e deve ser usado para testes clínicos mas também pode ser usado em produção de pequena escala.

As ampolas são alimentadas à mão no disco rotativo do aparelho e são levadas até à estação de abertura (se as ampolas estiverem fechadas). Depois, as ampolas são transportadas para a estação de pré gaseificação onde o pescoço da ampola é centrado no centro da agulha de enchimento. De seguida, a ampola é levada para a estação de pós-gaseificação onde a ampola é cheia e posteriormente selada na fase seguinte.

Na fase de selagem, as ampolas ou os frascos são cuidadosamente empurrados da zona do prato rotativo para a zona exterior da máquina à mão ou com a ajuda de tapetes rolantes adequados a essa função.

O dispositivo pode encher ampolas e frascos desde 0,2 mL até 30 mL, com um diâmetro máximo de 52 mm e a sua produção pode atingir as 1000 unidades por hora. Por este último valor ser um pouco reduzido é que se usa este tipo de aparelhos para ensaios clínicos.



Figura 4 - ROTA R915MA [3]

A ROTA R941MA é uma máquina linear e automática de enchimento e selagem de ampolas e é ideal para ambientes de produção em grande escala (figura 5).

A extensiva lista de ferramentas e opções de configuração disponíveis nesta máquina permite responder de forma conveniente aos requisitos de cada cliente.

Tem uma sistema de alimentação ajustável, tal como as outras máquinas referidas anteriormente, opera com ampolas de 0,2 mL até 30 mL, com um diâmetro máximo de 24 mm e é usada para produção em massa porque produz enche e sela oito ampolas de cada vez conseguindo assim atingir as 12 mil ampolas por hora.



Figura 5 - ROTA R941MA [4]

O equipamento ROTA R921MA (figura 6) é um sistema automático de enchimento e selagem de ampolas e trabalha também com a utilização de um prato rotativo. É adequado para o enchimento de qualquer líquido e pode trabalhar sob condições estéreis ou não.

Como tem um *design* compacto, este dispositivo vai encaixar perfeitamente num lugar com pouco espaço e é muito fácil de operar e limpar.

A principal diferença para a ROTA R915MA é que são produzidas duas ampolas de cada vez e a máquina pode assim atingir as 6000 ampolas por hora.



Figura 6 - ROTA R921MA [5]

A ROTA R960MA é uma máquina com um funcionamento linear tal como a ROTA R941MA e é indicada para produção de ampolas em massa (figura 7). É adequada para encher ampolas com qualquer tipo de líquido e pode funcionar sob condições estéreis ou não.

Este dispositivo enche ampolas de 0,2 mL até 30 mL. O diâmetro máximo das ampolas com que trabalha é 23,5 mm e a sua taxa de produção é a maior em todas as máquinas ROTA previamente analisadas (18 000 ampolas por hora).



Figura 7 - ROTA R960MA [6]



### 3.2 Máquinas Harsiddh Engineering

A *Harsiddh Engineering Co.* também fabrica máquinas de enchimento de ampolas (neste caso ampolas unicamente abertas). Tem seis tipos de máquinas, com diferentes aplicações e diferentes taxas de produção.

A máquina HFS-300V (figura 8) funciona a alta velocidade e é o equipamento da *Harsiddh Engineering Co.* com maior taxa de produção (desde 4800 até 16800 ampolas por hora) porque enche oito unidades de cada vez, trabalhando com ampolas de 1 mL até 10 mL de capacidade. Quanto maior for a quantidade de líquido colocada na ampola menor é a capacidade de produção do dispositivo.

O dispositivo é maioritariamente feito de aço inoxidável SAE 316L e tem um peso total de aproximadamente 1900 kg.

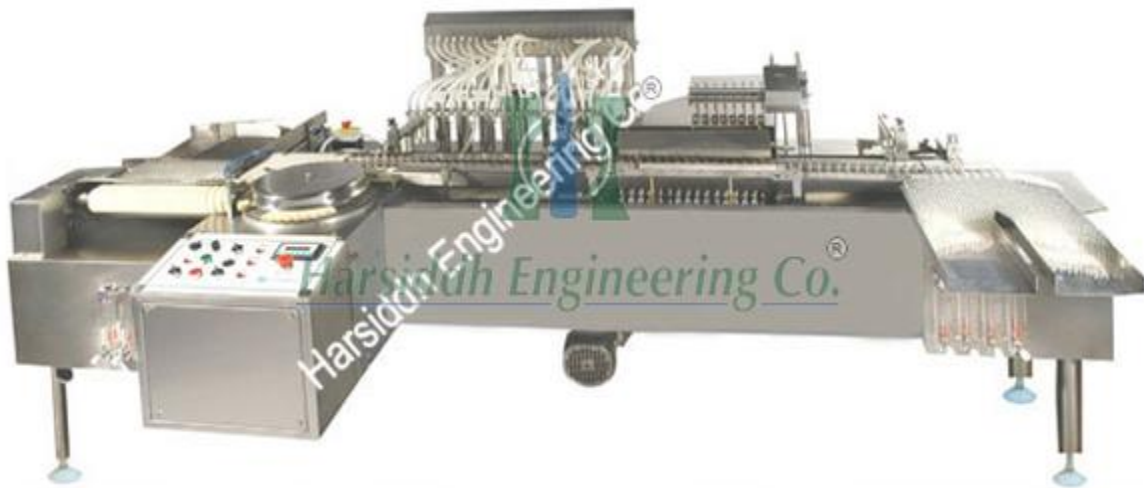


Figura 8 - HFS-300V [7]

O equipamento HFS-8 opera com oito ampolas de cada vez e enche ampolas de 1 mL até 10 mL de capacidade (figura 9). Neste caso, o dispositivo é feito de aço inoxidável AISI 304 para operações longas e reduzida manutenção.

A sua taxa de produção vai desde 4800 até 13500 ampolas por hora, dependendo do tamanho das mesmas e usa uma mistura de gás e oxigénio para a fase de selagem da ampola (o que também ocorre nos restantes equipamentos).



Figura 9 - HFS-8 [7]

A HFS-6 (figura 10) é um equipamento que já tem menos capacidade de produção que as outras duas analisadas anteriormente da *Harsiddh Engineering*. Este dispositivo tem uma produção de 4800 a 9000 ampolas por hora porque apenas enche seis ampolas de cada vez. Tem, tal como os outros equipamentos, capacidade de 1 mL até 10 mL de líquido.

O dispositivo é compacto, pesa cerca de 1050 kg e a chama para selagem das ampolas é desenvolvida com a utilização de uma mistura de gás e oxigénio, tal como acontece nos aparelhos anteriores.



Figura 10 - HFS-6 [7]

A HFS-4 (figura 11) é um equipamento feito em aço inoxidável AISI 316L e AISI 304. Neste tipo de dispositivos a taxa de produção já diminuiu consideravelmente para 3600 a 5400 ampolas por hora, dependendo do tamanho das mesmas. Isto acontece porque é realizado o enchimento em apenas quatro ampolas de cada vez.

Em termos da capacidade de ampolas para enchimento também ocorre uma pequena alteração, porque esta máquina apenas enche ampolas abertas de 1 mL até 5 mL de capacidade, o que não acontecia no outro tipo de máquinas que chegavam aos 10 mL de capacidade. Por haver um maior constrangimento na taxa de produção e no tipo de ampolas a operar com este dispositivo, consegue-se obter um peso total muito mais reduzido (cerca de 460 kg).



Figura 11 - HFS-4 [7]

O aparelho HFS-55 apresentado na figura 12 enche e sela 2 ampolas de cada vez, por isso a sua taxa de produção é de apenas 1800 a 2400 ampolas por hora, dependendo do tamanho dessas ampolas.

Comparando com as outras máquinas do mesmo fabricante esta é a que suporta uma maior gama de ampolas em termos de capacidade visto que consegue encher ampolas de 1 mL até 25 mL de capacidade de líquido.

A selagem das ampolas é feita através de uma chama produzida com uma mistura de gás e oxigénio, tal como nos dispositivos analisados anteriormente, é feita com aço inoxidável AISI 316L e já tem um peso reduzido, de apenas 390 kg.



Figura 12 - HFS-55 [7]

Tal como a HFS-55, a HFS-30 (figura 13) consegue encher e selar ampolas desde 1mL até 25 mL de capacidade mas apenas produz uma unidade de cada vez o que faz com que este aparelho tenha a menor taxa de produção de todos (600 a 900 ampolas por hora).

O dispositivo é feito em aço inoxidável AISI 316L e é o mais leve de todos com um peso de apenas 180 kg.



Figura 13 - HFS 30 [7]

### 3.3 Comparação entre as Máquinas ROTA e as Máquinas Harsiddh

Depois de uma análise pormenorizada de vários tipos de máquinas de enchimento de ampolas foi realizada uma tabela comparativa entre os vários equipamentos estudados. Essa tabela está apresentada abaixo.

Tabela 3 - Comparação entre as diferentes máquinas ROTA e as Máquinas Harsiddh

	Máquinas ROTA					Máquinas Harsiddh					
	911MA	915MA	941MA	921MA	960MA	HFS-300V	HFS-8	HFS-6	HFS-4	HFS-55	HFS-30
Movimento	Linear e automático	Linear e semi-automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático	Linear e automático
Capacidade [mL]	0,2 - 30	0,2 - 30	0,2 - 30	0,2 - 30	0,2 - 30	1 - 10	1 - 10	1 - 10	1 - 5	1 - 25	1 - 25
Diâmetro máx [mm]	52	52	24	24	23,5	-	-	-	-	-	-
Cadência máx[amp/hr]	3000	1000	12.000	6000	18.000	16.800	13.500	9000	5400	2400	900
Peso [kg]	-	-	-	-	-	1900	-	1050	460	390	180
Preço [€]	-	-	-	-	-	49.700	43.000	29.800	22.300	14.900	9900

Quanto ao movimento das máquinas observa-se que todas são do tipo linear e nota-se logo aí uma diferença com o equipamento estudado nesta dissertação porque este é de movimento rotativo. Apenas dois dos equipamentos analisados na tabela são semi-automáticos, ou seja, precisam de intervenção humana de alguma forma no decorrer do processo de enchimento de ampolas. Os equipamentos automáticos são diferentes nesse aspeto porque apenas precisam da intervenção de um operador para colocar as ampolas no início do processo e para as retirar no fim do mesmo.

Sobre o tamanho das ampolas utilizadas em cada uma das máquinas nota-se que nas máquinas *ROTA* é sempre o mesmo indo os valores de 0,2 mL até 30 mL o que é um intervalo de valores bem elevado. Quanto às máquinas *Harsiddh*, a capacidade é mais diminuta podendo todos modelos suportar ampolas a partir de 1 mL e indo até aos 25 mL de capacidade (dependendo do modelo escolhido). O  $d_{máx}$  das ampolas suportadas pelas máquinas *ROTA* vai desde os 23,5 mm até aos 52 mm. Quanto à marca *Harsiddh* não há informação do diâmetro máximo utilizados com as ampolas nestes equipamentos.

A cadência máxima dos dispositivos *ROTA* vai desde as 1000 até às 18.000 ampolas por hora. Se fizermos a comparação com os aparelhos da *Harsiddh Engineering* estes valores não diferem muito e vão desde as 900 até às 16.800 ampolas por hora.

Quanto ao preço e ao peso das máquinas Harsiddh aferiu-se que vão desde os 9.900 euros até aos 49.700 euros e desde os 180 kg até aos 190kg, respetivamente. Para as máquinas *ROTA* não se conseguiu arranjar informação para estas duas variáveis.

Pela análise da cadência máxima, preço e peso dos equipamentos pode-se concluir que o preço é diretamente proporcional com o peso e a cadência máxima dos aparelhos.

#### 4. DESCRIÇÃO DE UMA AMPOLA E DE UMA MÁQUINA DE ENCHIMENTO GENERALIZADA

Uma máquina automática de enchimento e selagem de ampolas aumenta a produtividade, eficácia e precisão do processo, se for comparada com uma máquina manual.

Para escolher a máquina que melhor se enquadra ao objetivo de um produtor de ampolas e que preencha todos os padrões de segurança é fundamental dominar uma variedade de assuntos que irão ser abordados abaixo.

As máquinas mais comuns de enchimento e selagem de ampolas são encontradas na indústria farmacêutica e são usadas para depositar, produto no estado líquido, sólido ou em pó, em ampolas de vidro (ou plástico, em casos mais raros).

Uma ampola é uma pequena garrafa normalmente feita de vidro porque os materiais de vidro não reagem com o seu conteúdo, o que garante uma elevada pureza ao conteúdo dessa mesma garrafa. Elas são normalmente fechadas derretendo o vidro com uma pequena chama, no topo da garrafa e são abertas para uso ao estalar o pescoço (zona mais abaixo do topo da ampola). As diferentes zonas de uma ampola estão apresentadas na figura 14.

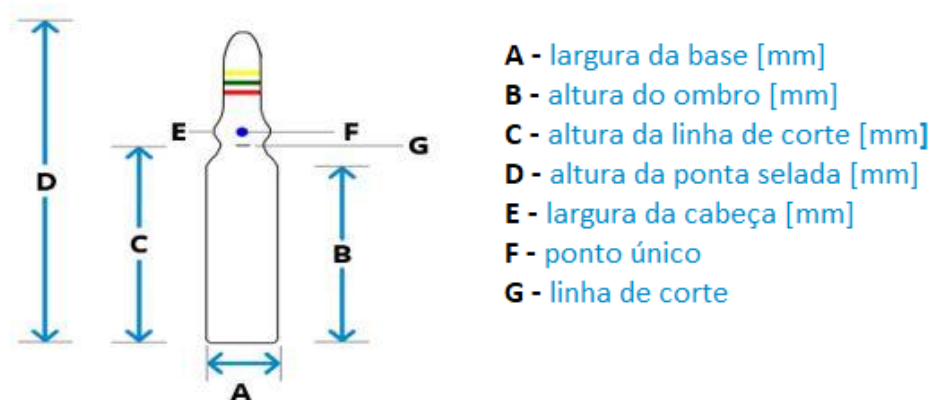


Figura 14 - Constituição de uma ampola [8]

As típicas máquinas de enchimento de ampolas automáticas são muito vantajosas porque protegem os medicamentos (no caso da indústria farmacêutica) de poeira ambiental e microorganismos e facilita o armazenamento e manipulação dos medicamentos nas quantidades corretas de utilização. Para além disso, o enchimento de ampolas é um processo relativamente complexo e a produtividade pode chegar às 18000 unidades por hora.

Apesar destas vantagens, o uso de ampolas pode não ser o mais conveniente porque pode causar ferimentos ao utilizador se estas não forem devidamente abertas e pequenos pedaços de vidro podem cair no conteúdo contaminando-o.

As normas FDS, CE e ISO obrigam a que estas máquinas cumpram normas de segurança e higiene previamente estabelecidas. Este tipo de equipamentos são controlados por autómatos programáveis (PLC's) e são normalmente integrados com uma interface homem-máquina que permite ao operador mudar os parâmetros da produção e monitorizar erros em tempo real de uma forma muito intuitiva.

Nas indústrias em que se usam ampolas (cosmética e farmacêutica) a precisão é fundamental porque não pode haver sub ou sobredosagem do produto. Em qualquer situação, um equipamento automático é sempre mais preciso que um equipamento de uso manual.

Um aparelho de enchimento de ampolas é uma montagem de várias peças e componentes e a tabela seguinte apresenta esses componentes e a sua principal função.

Tabela 4 - Componentes de um aparelho de enchimento de ampolas [8]

<b>Componente</b>	<b>Função</b>
Fonte de enchimento	É aqui que o produto é alimentado. Reservatório para todo o processo de enchimento e é reabastecido quando o produto estiver esgotado
Correia transportadora	Transporta as ampolas da estação de enchimento para a estação de recolha das mesmas
Bombas rotativas	Garante a pressão correta dentro do frasco da ampola
Cinto de aço inoxidável	Zona onde ocorre o carregamento das ampolas seladas
Roda ajustável em volume	Usada para ajustar o volume do líquido colocado nos frascos da ampola
Sensor de volume	Responde às mudanças aplicadas à roda ajustável
Interruptor de pedal	Ajustável para operação em modo automático



Êmbolo	Serve para empurrar ou apertar o líquido no frasco da ampola
Chanfro da agulha	Executa a passagem do líquido para a ampola
Escavadora de fumos	Canaliza os fumos produzidos durante o processo de selagem da ampola

#### 4.1 Descrição do tipo de ampolas estudadas

As ampolas realizadas no equipamento analisado são de uso cutâneo (aplicadas diretamente na pele). A utilização deste método para aplicação de medicamentos cosméticos é vantajosa comparativamente com a via intravenosa (injeção direta nas veias do indivíduo) e com a via oral.

A administração de medicamentos para a pele por via oral e intranervosa pode originar efeitos secundários como irritação da pele, depressão nervosa, aumento dos ácidos graxos livres no sangue e complicações pulmonares. Através da administração via cutânea, todos estes problemas são minimizados. [9]

Este tipo de ampolas são sujeitos a métodos de esterilização adequados para se conseguir obter um produto asséptico (que previne a contaminação das ampolas com microorganismos). As ampolas são feitas de vidro para permitir uma inspeção visual do produto por parte do operador. [10]

#### 4.2 Definição de qualidade de produto e aplicação ao processo das ampolas

A qualidade de produto refere-se às características que o constituem e diz respeito à sua capacidade ou incapacidade de satisfazer as necessidades de um cliente. O mercado pode ser muito competitivo nesse aspeto porque o público alvo de uma empresa pode ser ou não abrangido por uma grande parte do mesmo. Isto quer dizer que dependendo do tipo de produto que uma empresa oferece e do tipo de público-alvo que essa empresa quer atingir, um produto de qualidade que satisfaça as necessidades do cliente pode ser fabricado com maior ou menor facilidade. Uma pesquisa ativa e rigorosa do que os consumidores estão à procura no momento é fundamental para que uma empresa atinja um produto de qualidade [11].

Há vários parâmetros que servem para medir a qualidade de um produto tais como:

- Desempenho;
- Características específicas ou *features*;
- Fiabilidade;
- Conformidade;
- Durabilidade;
- Assistência técnica, etc.

No caso deste equipamento e do produto que o mesmo pretende produzir, o principal parâmetro que deve ser analisado para medir a qualidade do produto é a conformidade. As ampolas fabricadas podem estar ou não em conformidade com as exigências do cliente. Para um cliente uma ampola pode ser considerada um produto conforme (sem defeito) e para um outro cliente essa mesma ampola pode ser considerada um produto não conforme (com defeito e que não pode ser comercializada). Em baixo fica uma imagem que faz a comparação de uma ampola pronta a ser comercializada e outras cinco ampolas (com defeitos diferentes) que podem ser consideradas não-conformes.



Figura 15 - Comparação de uma ampola conforme com cinco ampolas não-conformes

Pela figura anterior e pela observação visual do bico das seis ampolas (local onde as duas chamadas finais atuam) conclui-se que apenas a ampola da direita é que pode ser comercializada e é aceite por um cliente.

Este controlo de qualidade é feito apenas de forma visual, por um operador especializado da empresa, que dependendo da exigência do cliente pode fazer uma inspeção mais rigorosa e mais demorosa que aumenta assim o custo de produção e conseqüentemente o custo de venda do produto para comercialização.

## 5. TESTE AO EQUIPAMENTO

A máquina não se encontrava a funcionar num primeiro momento. No ecrã touchscreen da mesma era possível inserir os parâmetros todos de operação, tais como quantidade de líquido, tipo de ampola, quantidade de tabuleiros e quantidade de ampolas por tabuleiro, mas a máquina entrava em alarme por algum motivo.

O que acontecia era que o apito de alarme era ativado mas não aparecia o motivo do alarme no rodapé do ecrã, como seria suposto. Executar o reset da máquina ou colocá-la em modo de emergência não resolvia o problema porque mal se tentava efetuar a inicialização do equipamento, o som de alarme voltava a surgir.

Este alarme podia estar ativo devido a uma série de motivos:

- Portas mal fechadas,
- bomba de enchimento não pronta,
- ventilador desligado ou
- chama apagada.

Depois de se tentar resolver o problema, não se conseguiu descobrir o motivo do mesmo e o fabricante da máquina, *MachServ*, depois de uma atualização de *firmware* conseguiu colocar o dispositivo a funcionar.

O próximo passo foi a testagem do equipamento com quatro tabuleiros para ampolas de 5 mL. Como cada tabuleiro dá para 220 ampolas de 5 mL foi realizado o enchimento e selagem de 880 ampolas.

Depois de ter as chamas ajustadas da melhor forma possível, começou o processo de enchimento e selagem das ampolas e notou-se que a maior parte das ampolas saíram defeituosas, sendo aproveitadas para venda, em média, apenas uma ou duas em cada vinte unidades realizadas. Como é óbvio, este não é o cenário pretendido porque iria causar demasiado prejuízo à empresa. Outro problema encontrado no sistema foi a impossibilidade de fazer mais que um tabuleiro seguido porque quando se completa um tabuleiro, o equipamento não estava a passar para o próximo tabuleiro de forma automática. Ou seja, sempre que se completava um tabuleiro, um operador tinha de atuar para o equipamento começar a encher o tabuleiro seguinte.

Algumas ampolas partiram quando o robô as colocava de volta no tabuleiro, já cheias, porque a margem de erro do sistema é muito diminuta.

O principal problema é o facto de as ampolas saírem defeituosas e o defeito mais comum é a presença de uma ponta de vidro defeituosa no topo da ampola que as torna impossíveis de vender ao cliente.

Este defeito deverá estar diretamente relacionado com a última estação do equipamento (selagem das ampolas). Pode ocorrer devido a uma má afinação da chama (valores de gás e oxigénio usados na chama não são os corretos) ou devido ao facto da pinça retirar a parte de cima da ampola de uma forma muito rápida/bruta e, assim originar essa ponta de vidro fora dos parâmetros pretendidos.

Outro defeito observado em algumas ampolas é a formação do topo da ampola de uma forma não uniforme e isto ocorre porque o componente que faz rodar a ampola quando a mesma se encontra em contacto com a chama não está a funcionar em perfeitas condições.

## 6. ESTUDO DO PRATO ROTATIVO

A principal dificuldade no processo de enchimento de ampolas totalmente automático é o disco rotativo. Esta parte do equipamento é a mais complicada de alterar por ser um dispositivo um pouco mais antigo e por ter imensos defeitos que podem não ser facilmente identificadas a olho nu.

A fase em que a agulha entra na ampola para realizar o enchimento da mesma pode ser o problema principal na medida em que a parte de cima da ampola pode ficar molhada e, nesse caso, é muito provável que afete a selagem da mesma na última fase do processo.

Se este não for o problema maioritário, o defeito da mesma é muito provável que esteja numa das duas fases seguintes (pré-aquecimento e selagem da ampola) porque estas duas etapas são as mais críticas do processo e o seu ajuste tem de ser muito preciso para que a produção ocorra de forma uniforme.

### 6.1 Defeitos das ampolas

A tabela seguinte apresenta os principais defeitos nas ampolas produzidas e, em alguns, a possível causa desse defeito.

Tabela 5 - Defeitos das ampolas produzidas e respectivas causas

			<b>Possível causa</b>
<b>A</b>	Ampola aberta		Chama atuou durante pouco tempo ou a uma temperatura abaixo do normal
<b>B</b>	Topo demasiado plano (pode partir a ampola)		Chama atuou durante pouco tempo ou com uma temperatura reduzida

<b>C</b>	Bico no topo da ampola		Chama atou durante demasiado tempo ou a uma temperatura demasiado elevada
<b>D</b>	Selagem não uniforme		Ampola não rodou a velocidade constante
<b>E</b>	Topo demasiado redondo		Chama atou durante demasiado tempo ou a uma temperatura elevada

## 6.2 Reguladores de gás e oxigénio

Os reguladores de gás e oxigénio para as três chamas usadas durante o processo de abertura e selagem da ampola não tinham valores associados o que dificultava imenso a capacidade de repetir chamas com os mesmos caudais de gás e oxigénio, por isso foi desenhado um sistema de medição da rotação e este sistema foi implementado a cada um dos reguladores.

Em primeiro lugar as válvulas todas foram fechadas ao máximo e foi desenhado um traço vertical que representa o valor de 0 ° de rotação em cada um dos reguladores. De seguida foi impressa uma folha com uma escala de 0 ° até 360 ° de rotação para cada um dos reguladores com uma divisão de 12 valores.

A figura 16 mostra essa mudança realizada nos reguladores da chama. O segundo par de reguladores é para uma chama que não é utilizada neste processo. O regulador vermelho controla o gás enquanto que o regulador azul controla o oxigênio implementados a cada um dos bicos da máquina.

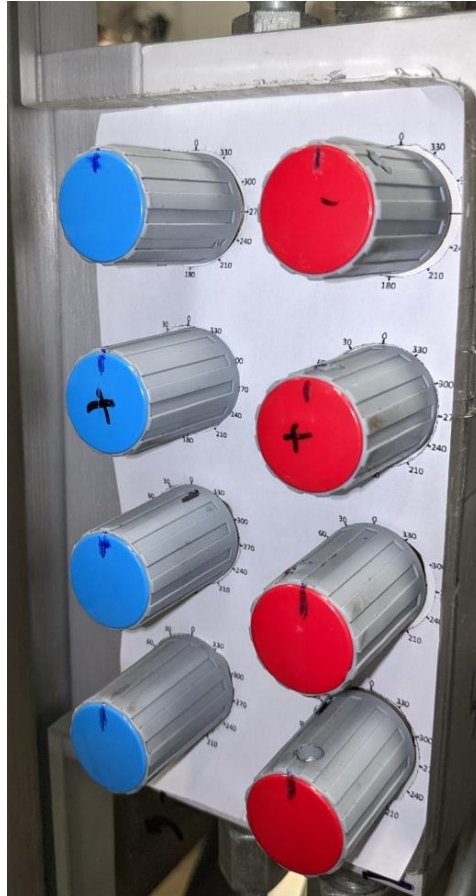


Figura 16 - Sistema de medição dos reguladores de gás e oxigênio das três chamas

A primeira chama é a mais simples de regular porque a abertura de um orifício por onde o líquido da ampola é injetado é a fase menos problemática do processo. A abertura de um orifício com um diâmetro um pouco distante do ideal não afetará as seguintes fases do processo de selagem da ampola.

Segundo a regulação apresentada em cima concluiu-se que a chama ideal para a abertura da ampola está perto dos 300 ° de rotação para o regulador vermelho (gás) e 360 + 200 ° para o regulador azul (oxigênio).



### 6.3 Implementação de sensores de temperatura

Para se saber a temperatura instantânea de cada uma das 3 chamas durante o processo de abertura e selagem das ampolas é necessário colocar um sensor em cada uma dessas chamas. Foram então comprados os seguintes itens para se monitorizar essas temperaturas:

- 3 Termopares MAX6675;
- 1 Arduino Uno;
- 1 Placa de ensaios breadboard de 400 pinos;
- 1 Pack de cabos jumper.

Em primeiro lugar foi efetuado um código simples em *Arduino* para colocar apenas um sensor a funcionar. Esse código está apresentado na figura abaixo.

```
#include "max6675.h"

int soPin = 10;
int csPin = 9;
int sckPin = 8;

MAX6675 function (sckPin, csPin, soPin);

void setup() {

    Serial.begin (9600);
    Serial.println ("MAX6675 termopar");

    delay(1000);
}

void loop() {

    //Serial.print ("C = ");
    Serial.print(function.readCelsius());
    Serial.println ();

    delay (10000);
}
```

Figura 17 - Código de programação em *Arduino* de um sensor de temperatura

Os pinos SO, CS e SCK do termopar foram ligados às entradas 10, 9 e 8 respetivamente, do arduino Uno. Foi implementada a função de leitura de temperatura instantânea com a utilização desses três pinos e a seguir foi criada um ciclo *loop* para apresentar essas leituras de temperatura de dez em dez segundos.

O passo seguinte foi a utilização da placa de ensaios para a realização de um circuito elétrico que possibilitasse a leitura da temperatura dos três termopares ao mesmo tempo.

A placa de ensaios faz o interface entre os três termopares e o arduino enquanto que os cabos são usados para unir todos os componentes. Todas as ligações realizadas estão representadas na figura 18.

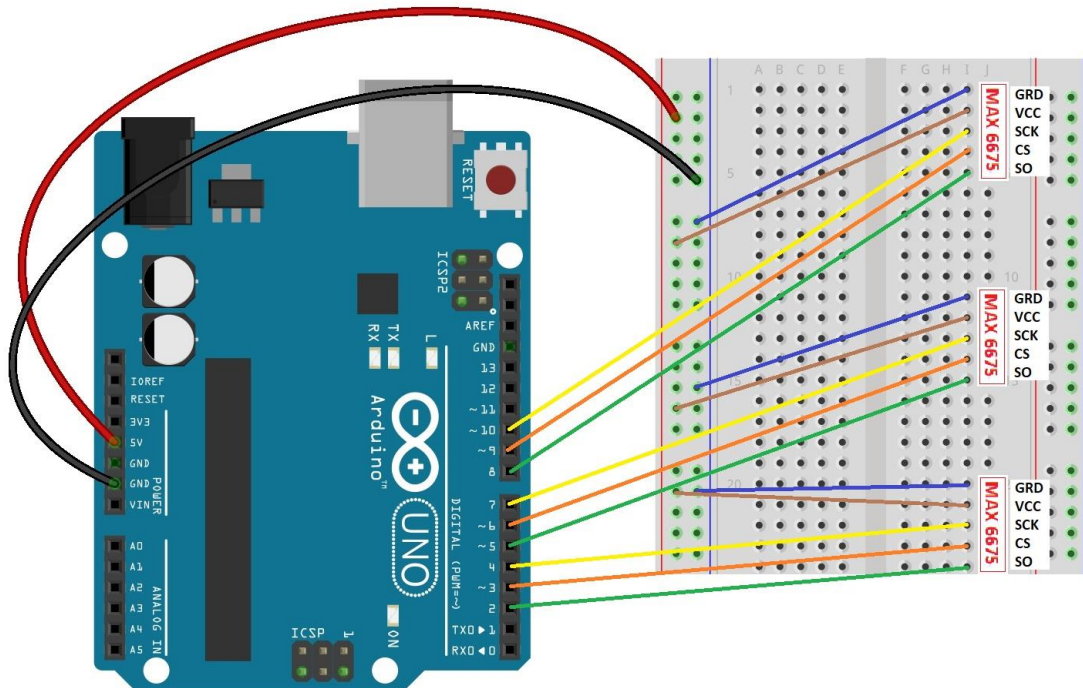


Figura 18 - Ligações efetuadas entre o *Arduino UNO*, os três sensores e a placa de ensaios

Cada um dos termopares tem cinco entradas, 1 ground, 1 VCC (para dar corrente ao termopar), 1 SCK, 1 CS e 1 SO. O ground do arduino é ligado à linha positiva da placa e posteriormente ligado aos três termopares na entrada GND de cada um deles. A entrada de 5 V do arduino é ligado á linha negativa da placa para se ligar aos três termopares na entrada VCC de cada um deles.

As três entradas (SCK, CS e SO) de cada um dos três sensores são ligadas ao arduino desde a entrada nº 2 até à entrada nº 10. A partir deste momento, pode-se ligar o arduino a um computador por USB e realizar a programação do mesmo. A figura seguinte apresenta o código realizado em linguagem *Arduino* para colocar os três termopares em funcionamento.

```

#include "max6675.h"

int soPin1 = 10;
int csPin1 = 9;
int sckPin1 = 8;
int soPin2 = 5;
int csPin2 = 6;
int sckPin2 = 7;
int soPin3 = 2;
int csPin3 = 3;
int sckPin3 = 4;

MAX6675 function1 (sckPin1, csPin1, soPin1);
MAX6675 function2 (sckPin2, csPin2, soPin2);
MAX6675 function3 (sckPin3, csPin3, soPin3);

void setup() {

  Serial.begin (9600);
  Serial.println ("MAX6675 termopar");

  delay(1000);

}

void loop() {

  Serial.print ("C1 = ");
  Serial.print(function1.readCelsius());

  Serial.print ("C2 = ");
  Serial.print(function2.readCelsius());

  Serial.print ("C3 = ");
  Serial.print(function3.readCelsius());
  Serial.print ('\n');

  delay (1000);
}

```

Figura 19 - Código de programação em *Arduino* dos três sensores de temperatura em simultâneo

Em primeiro lugar foi adicionada uma biblioteca ao código de programação para simplificar o processo. Depois foi definido a que pino do arduino estavam ligadas as três entradas SCK, CS e SO dos termopares.

O próximo passo foi a criação de uma função para cada um dos termopares. Foi dado o nome de “MAX6675 termopar” à janela que irá aparecer com os valores das temperaturas dos sensores. O ciclo *loop* faz com que apareça um valor de temperatura em celsius para cada um dos termopares a cada 1 segundo. Este último valor pode ser aumentado na função *delay*.

Estes sensores, por serem feitos de materiais relativamente baratos devem apresentar uma durabilidade reduzida. Desse modo, a calibração dos mesmos é um ponto fulcral neste processo de leitura de temperaturas para garantir a fiabilidade do procedimento.

Esta calibração é realizada com a colocação do sensor, primeiramente num copo com água a ferver e a temperatura apresentada tem de ser muito próxima de 100 °C como se comprova na figura 20.



```
COM3
96.97.00
MAX6675 termopar
97.25
97.00
96.50
96.75
96.50
96.25
96.50
96.25
95.75
95.50
95.50
```

Figura 20 - Calibração do sensor utilizando água a ferver

O valor lido pelo sensor vai descendo ao longo do tempo a partir dos 100 °C e isto acontece porque a água vai condensando quando está sujeita à temperatura ambiente. Dessa forma, estes valores são aceitáveis para a validação da calibração do equipamento.

A segunda fase deste processo é exatamente igual, mas para um copo com água quase gelada. Nesta situação o sensor deve transmitir ao utilizador um valor de temperatura muito próximo dos 0 °C o que se verifica na figura 21.

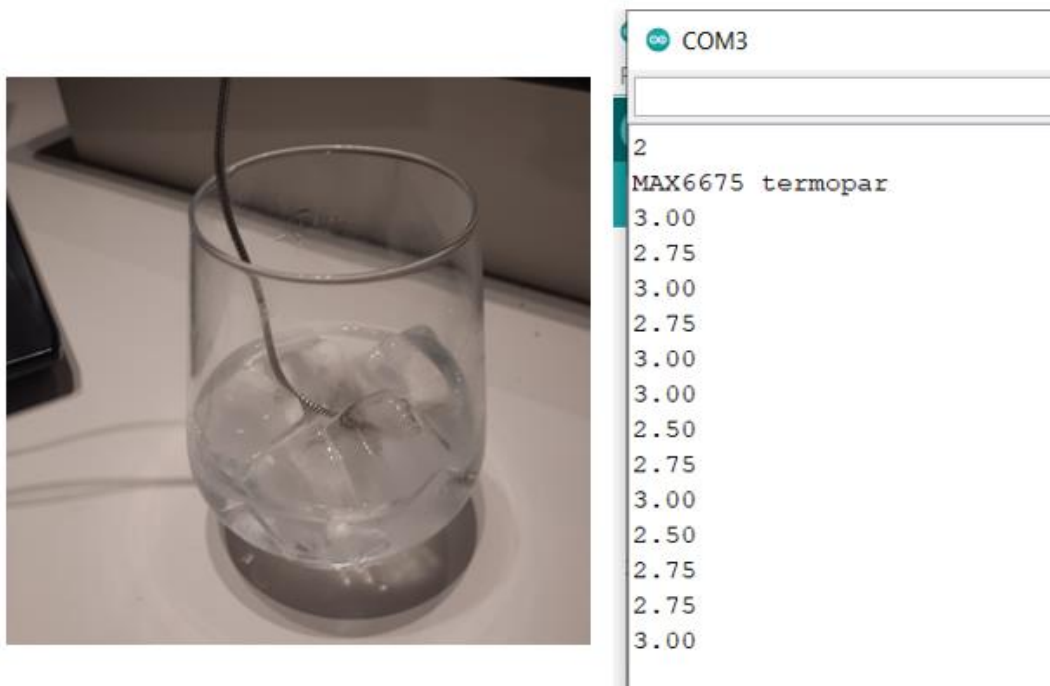


Figura 21 - Calibração do sensor utilizando água gelada

Para colocação dos sensores o mais perto possível de cada uma das chamas foi idealizada uma peça com um furo com rosca M6 para “prender” o sensor (figura 22).

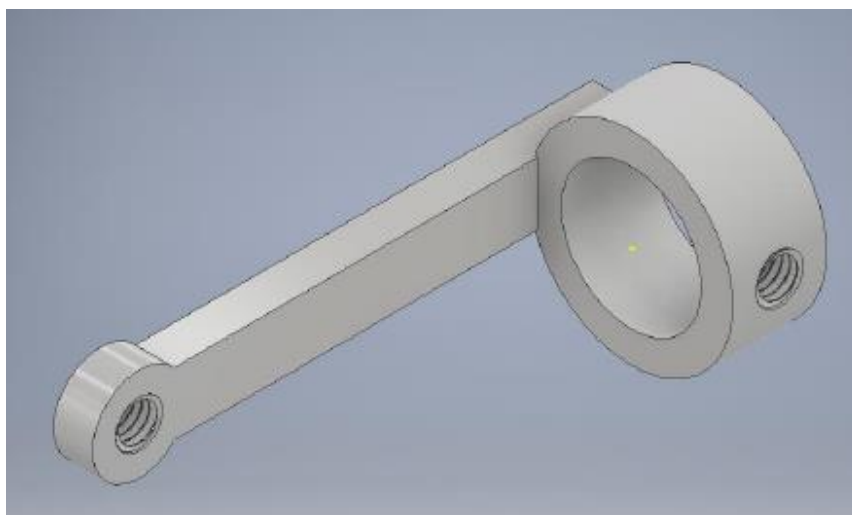


Figura 22 - Modelação 3D da peça que suporta o sensor de temperatura

O maior furo da peça (18 mm) insere-se no início do bico da chama e é apertado com a utilização de um parafuso M6. A barra tem um comprimento de 46 mm e no fim dessa barra

é colocada o furo com rosca M6 para apertar o sensor e este conseguir ler a temperatura da chama. Esta peça foi realizada em aço pela Serralharia do Ave – Costa e Araújo Pereira, Lda.

Para a segunda e terceira chama do processo o comprimento da barra da peça teve de ser diminuído para que a leitura da chama fosse feita o mais próximo possível do bico da chama para não afetar o processo de selagem da ampola. Estas três peças foram realizadas pela Serralharia do Ave – Costa e Araújo Pereira, Lda. O desenho técnico da peça realizada para a primeira chama do processo encontra-se no Anexo I e o desenho técnico da peça realizada para a segunda e terceira chama do processo encontra-se no Anexo II.

#### **6.4 Análise da primeira chama do processo**

O passo seguinte à realização do código de programação do arduino para colocar os três sensores a funcionar foi a análise do processo de produção das ampolas com esses mesmos sensores. Foi necessário analisar a primeira parte desse processo (abertura) das ampolas, utilizando apenas o sensor presente na primeira chama, para determinar se o defeito das ampolas depende desta primeira fase da produção.

Em primeiro lugar, foram retirados cerca de 280 valores ao longo de 45 minutos de leitura da temperatura do sensor apenas com a chama ligada (sem colocar ampola para o processo de abertura da mesma). A peça apresentada na figura 23 foi apertada no bico da chama com a utilização de um parafuso M6. Os valores de oxigénio e gás idealizados para a chama foram propositadamente elevados para conseguir avaliar melhor a variação de temperatura da mesma. A figura abaixo apresenta um gráfico com a variação da temperatura do sensor ao longo dos 45 minutos.



Figura 23- Variação da temperatura da primeira chama ao longo de 45 minutos sem abertura de ampola

Pela análise deste gráfico nota-se que a temperatura da chama foi diminuindo muito ao longo do tempo, o que revela uma certa instabilidade nos reguladores de gás e oxigênio que servem para controlar essa mesma chama.

A tabela seguinte apresenta os valores médios máximo e mínimo lidos pelo sensor neste experimento.

Tabela 6 - Valores médio, máximo e mínimo de temperatura lidos pelo primeiro sensor sem abertura de ampola

Média	390,43 °C
Máximo	411,75 °C
Mínimo	363,00 °C

Estes três valores não são suficientes para analisar a fiabilidade das chamas e dos seus reguladores. Em primeiro lugar é necessário determinar o desvio padrão das amostras que nos vai dar uma ideia da dispersão dos dados obtidos para com a sua média. Estatisticamente é o valor mais usado e mais confiável para estudar este tipo de situações. Como os sensores vão trabalhar com temperaturas muito diferentes, a média das amostras também irá ser muito distinta e é necessário calcular o coeficiente de variação para se poder comparar os dados obtidos em todos os estudos seguintes.

Com estes três valores da tabela 5 e as duas equações seguintes podemos chegar ao valor do desvio padrão destes valores e ao seu coeficiente de variação.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1)$$

Para a equação seguinte é necessário o valor da média da amostra, o tamanho da amostra e o seu desvio padrão.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

Utilizando os valores da tabela 6 e as equações 1 e 2, e com a ajuda do *Microsoft Excel* obtém-se os seguintes valores para o erro do sensor e para o desvio padrão:

$$\sigma = 11,22$$

$$CV = 2,87 \%$$

Pela análise destes valores nota-se que mesmo sem a ampola implementada no equipamento, o desvio padrão é demasiado elevado e o coeficiente de variação também. Para esta primeira chama pode não ser muito problemático porque como já foi dito anteriormente, o diâmetro da abertura da ampola não afeta diretamente a boa formação da ampola na utilização da segunda e terceira chama do processo.

Depois de analisar a temperatura da primeira chama sem abertura de ampola é necessário fazê-lo mas durante o processo de abertura do orifício na ampola. A primeira chama foi executada com uma abertura de 340° no regulador vermelho (gás) e com uma abertura de 360° + 200° no regulador azul (oxigénio) como está apresentado na figura abaixo.

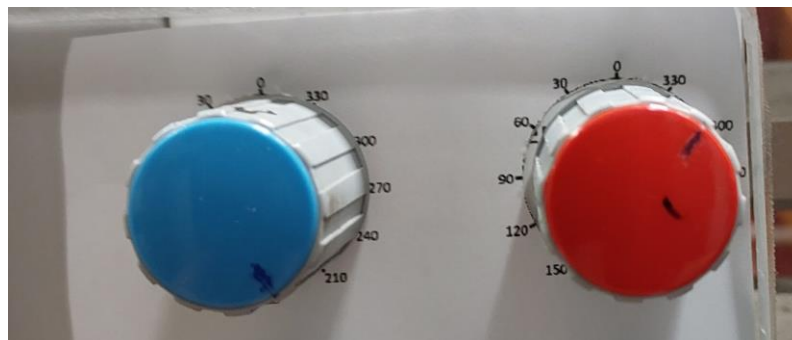


Figura 24 - Posição dos reguladores de gás e oxigénio para a primeira chama



Utilizou-se apenas um sensor nessa chama com o código da figura 15 para retirar valores de temperatura da chama durante 45 minutos, com intervalo de 10 segundos na leitura da temperatura. Ou seja, foram retirados 240 valores de temperatura durante os 40 minutos da experiência.

Os valores obtidos foram tratados num documento *Excel* e o gráfico abaixo apresenta a variação da temperatura da chama ao longo do tempo.

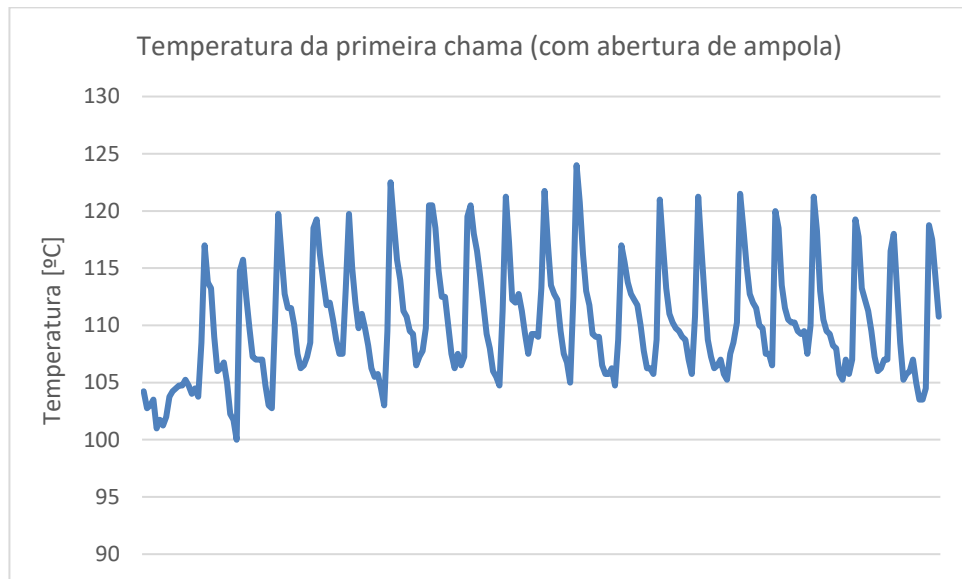


Figura 25 - Variação da temperatura do sensor presente na primeira chama ao longo do tempo

Pela análise do gráfico da figura 21 pode-se perceber que existem vários picos de temperatura lidos pelo sensor. Esses picos de temperatura ocorrem porque o sensor retira o valor de temperatura no exato momento em que a chama está a realizar o processo de abertura do orifício na ampola. A chama torna-se mais alaranjada e ocorre o gênero de um alargamento da mesma e a temperatura da chama aumenta nesse mesmo instante. O momento em que este fenômeno ocorre está apresentado na figura abaixo.

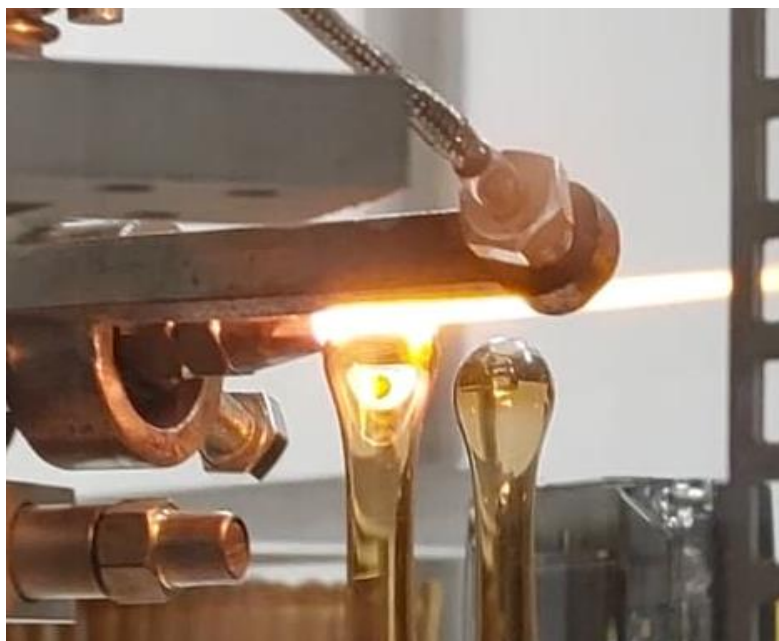


Figura 26 - Momento em que a chama realiza o orifício no topo da ampola

Através dos valores obtidos pelo sensor durante a abertura da ampola obtém-se o valor médio, máximo e mínimo durante os 45 minutos de experiência. Estes valores foram obtidos através do *Microsoft Excel* e encontram-se apresentados na tabela abaixo.

Tabela 7 - Valores obtidos através da leitura de temperaturas do primeiro sensor com abertura de ampola

Média	110,20 °C
Máximo	124,00 °C
Mínimo	100,00 °C

Com estes três valores e as equações 1 e 2 já devidamente apresentadas e explicadas acima obtém-se o valor do desvio padrão e o coeficiente de variação deste experimento.

$$\sigma = 10,52$$

$$CV = 9,54 \%$$

Este valor de 10,52 para o desvio padrão é considerado um valor elevado em termos industriais porque a variação da temperatura da chama é um pouco elevada o que origina o desenvolvimento de algumas ampolas com defeito. Neste caso, e para esta chama, isso não é tão relevante porque esta primeira fase do processo é a menos rigorosa e a abertura da

ampola é realizada sem grandes problemas para as fases seguintes. Quanto ao coeficiente de variação podemos afirmar o mesmo.

O último passo para análise da primeira chama do processo foi a medição do diâmetro do furo de todas as 40 ampolas usadas durante os 45 minutos da experiência. O gráfico seguinte demonstra a variação desse mesmo diâmetro ao longo do tempo durante este procedimento.



Figura 27 - Variação do diâmetro do furo da ampola na primeira chama

Pela análise do gráfico da figura 27 percebe-se que há uma certa variação no diâmetro do furo encontrado nas ampolas após a atuação da primeira chama do processo. O valor mínimo é de 8,3 mm e o valor máximo atinge os 9,3 mm. Com a utilização do *Microsoft Excel* é possível calcular a média destes valores que dá 8,87 mm. De seguida usou-se as equações 1 e 2 desenvolvidas para obter o valor do desvio padrão e o coeficiente de variação desta amostra.

$$\sigma = 0,26$$

$$CV = 2,93 \%$$

O desvio padrão verificado para o diâmetro do orifício da ampola é muito menor que os dois valores calculados para a temperatura da chama. Com o coeficiente de variação já se nota um valor um pouco mais alto. Isto ocorre porque estamos a trabalhar com valores muito

mais reduzidos, tanto de média como de tamanho de amostra, então o desvio padrão não é exemplificativo da dispersão dos dados da amostra para a sua média.

Depois da ampola passar pela primeira chama e ser realizado um orifício na parte de cima da mesma, uma agulha é inserida nesse mesmo orifício para injetar o líquido com que se pretende encher a ampola. No capítulo anterior viu-se que o valor mínimo para o diâmetro do furo é 8,3 mm. A agulha tem cerca de 1 mm de diâmetro e a sua entrada na ampola ocorre no centro da mesma. Quando isto não acontece, pode-se ajustar este problema para que o disco rotativo volte ao seu funcionamento ideal. Através destas observações e análises conclui-se que nem a primeira fase nem a segunda fase do processo serão problemáticas para o funcionamento do disco rotativo.

### 6.5 Análise da segunda e terceira chama do processo

A terceira e quarta fase do processo, que correspondem à segunda e terceira chama do equipamento, podem ser mais problemáticas que as duas fases anteriores visto que a etapa de pré aquecimento e selagem da ampola são os mais rigorosos do processo.

O principal objetivo é obter o menos de produtos não conformes possíveis mas produzir sempre uma ampola que esteja de acordo com os requisitos de qualidade da empresa é impossível. A figura abaixo apresenta o exemplo de uma ampola que pode ser vendida para o cliente (produto conforme.)



Figura 28 - Ampola que segue os padrões de qualidade pretendidos

Para que isto possa acontecer é necessário que as temperaturas das chamas de pré aquecimento e selagem das ampolas sejam o mais consistentes possíveis de modo a ocorrer a repetibilidade de um bom processo de fabrico.

Para isso é necessário avaliar primeiramente a variação da temperatura dessas duas chamas sem ocorrer formação de ampola. Estes testes foram realizados em simultâneo com a ajuda do código apresentado na figura 19 que nos possibilita a receção de valores de temperaturas dos três sensores ao mesmo tempo. Cerca de 250 valores de temperatura obtidos durante 45 minutos de experimento para a segunda chama do processo foram trabalhados no *Microsoft Excel* e obteve-se os dados na tabela abaixo.

Tabela 8 - Valores obtidos através da leitura de temperaturas do segundo sensor sem produção de ampola

Média	200,30 °C
Máximo	203,25 °C
Mínimo	191,00 °C

A figura abaixo apresenta um gráfico com a variação da temperatura da segunda chama ao longo desses 45 minutos de teste.

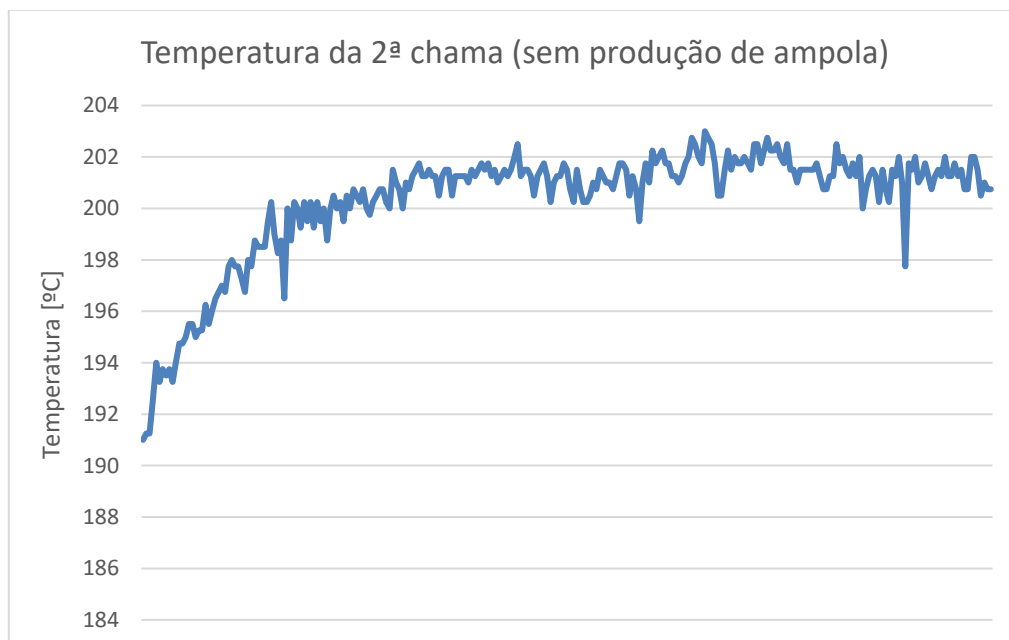


Figura 29 - Variação da temperatura do sensor presente na segunda chama sem produção de ampola

Até cerca de 15 minutos de teste nota-se que a temperatura verificada no sensor foi aumentando e depois estabilizou entre os 200 °C e 203 °C. Com as equações 1 e 2 do capítulo anterior pode-se obter os valores do desvio padrão e do coeficiente de variação para mais tarde conseguirmos comparar todos os testes realizados.

$$\sigma = 6,28$$

$$CV = 3,13 \%$$

De seguida, foi seguido o mesmo processo mas para a terceira chama que corresponde à selagem da ampola. A tabela 9 apresenta os valores máximo mínimo e médio obtido nestas condições com 250 medições de temperatura ao longo de 45 minutos de leitura.

Tabela 9 - Valores máximo mínimo e médio para a temperatura do terceiro sensor sem produção de ampola

Média	157,61 °C
Máximo	164,50 °C
Mínimo	150,00 °C

O gráfico seguinte apresenta a variação dos valores lidos pelo sensor ao longo dos 45 minutos de experimento.

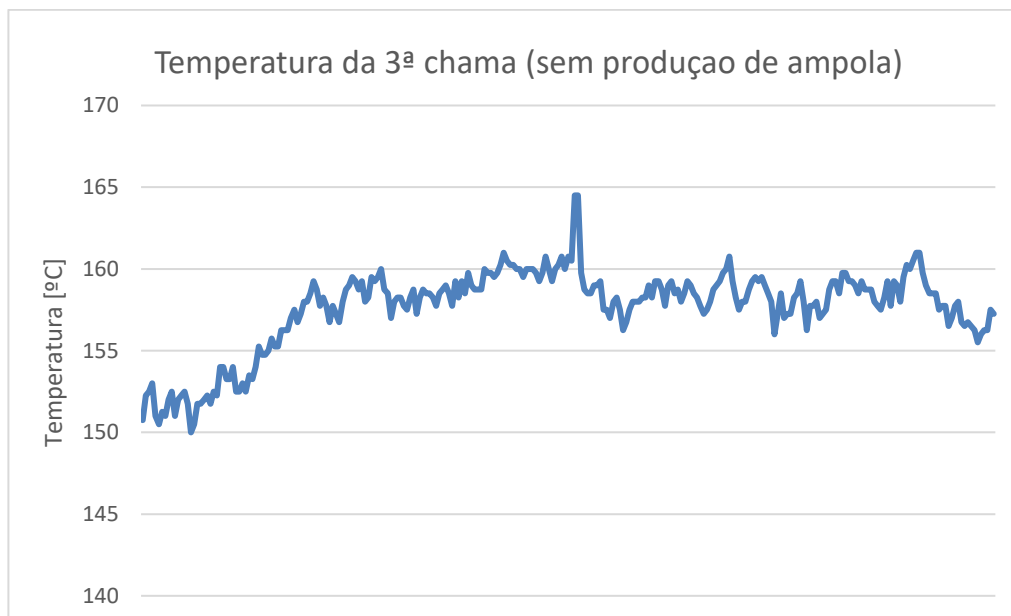


Figura 30 - Variação da temperatura do sensor presente na terceira chama sem produção de ampola

Seguindo o mesmo procedimento e as equações 1 e 2 presentes no capítulo 6.4 foram obtidos os seguintes valores:

$$\sigma = 5,56$$

$$CV = 3,50 \%$$

Após a obtenção dos dados para as duas chamas de pré aquecimento e selagem das ampolas sem ocorrer produção das mesmas é fundamental efetuar o mesmo procedimento mas desta vez obtendo o produto final pretendido. Foram produzidas cerca de 100 ampolas em 45 minutos de operação com a obtenção de 270 valores de temperatura. Das 100 ampolas produzidas, houve 23 ampolas com defeito. Sendo 4 destas com o defeito B e as outras 19 afetadas pelo defeito C (segundo a análise realizada na tabela 5).

Primeiramente temos de analisar os dados obtidos pela chama de pré-aquecimento que foi regulada a  $190^\circ$  para o gás e  $360 + 10^\circ$  para o oxigênio como se repara na figura abaixo.

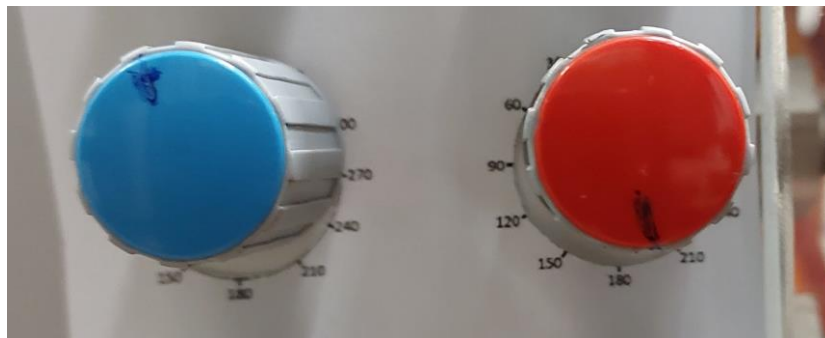


Figura 31 - Posição dos reguladores de gás e oxigênio para a segunda chama

Foi utilizado o procedimento atual usando o *software Microsoft Excel* para determinar os valores máximo médio e mínimo para a chama de pré aquecimento do processo e os resultados estão na tabela abaixo.

Tabela 10 - Valores obtidos para a temperatura do segundo sensor com produção de ampola

Média	248,74 °C
Máximo	266,25 °C
Mínimo	232,50 °C

O gráfico seguinte apresenta a variação da temperatura do segundo sensor presente nessa chama ao longo dos 45 minutos de testes com a produção de 100 ampolas.



Figura 32 - Variação da temperatura do sensor a atuar na segunda chama com produção de ampola

Mais uma vez, utilizando as equações 1 e 2 do capítulo 6.5 e os valores da tabela 10 foram obtidos os seguintes valores para o desvio padrão e coeficiente de variação da amostra:

$$\sigma = 10,37$$

$$CV = 4,17 \%$$

O mesmo método foi seguido para obter os dados para a última chama do processo, com produção de ampola e o regulador de gás foi rodado a 360 ° enquanto que o de oxigénio foi rodado a 360 + 330 ° como está apresentado na figura seguinte.

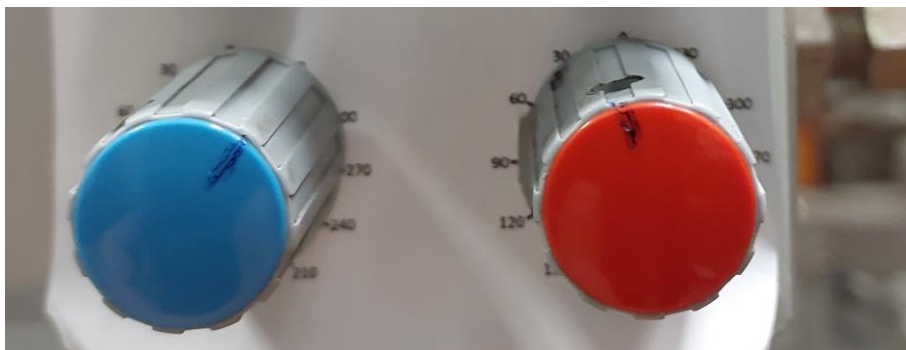


Figura 33 - Posição dos reguladores de gás e oxigénio para a terceira chama do processo



Os valores obtidos a partir destes dados e o gráfico da variação da temperatura do terceiro sensor ao longos de 45 minutos estão apresentados na tabela 11 e na figura 34, respetivamente.

Table 11 - Valores obtidos para a temperatura do terceiro sensor com produção de ampola

Média	187,48 °C
Máximo	204,25 °C
Mínimo	171,50 °C

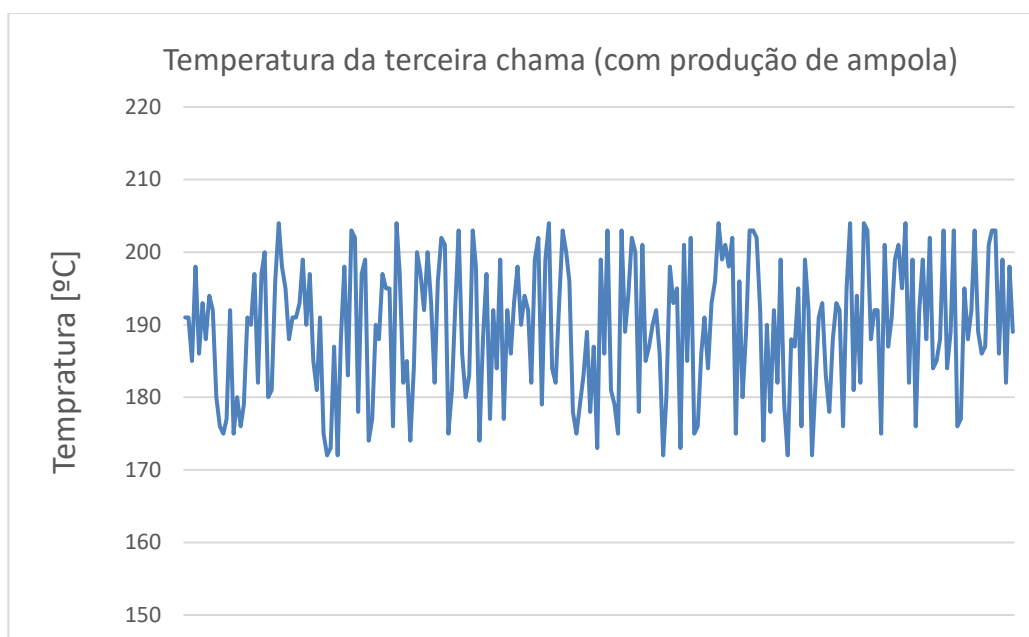


Figura 34 - Variação da temperatura do sensor a atuar na terceira chama com produção de ampola

A partir dos dados da tabela 11 e da equação número 1 e 2 obteve-se os dois últimos valores para conseguir o desvio padrão e o coeficiente de variação da amostra:

$$\sigma = 8,99$$

$$CV = 4,79 \%$$

## 6.6 Análise e Interpretação de Resultados

Para se chegar a uma conclusão final sobre os defeitos das ampolas e sobre a possível má qualidade de produção do disco rotativo é necessário, em primeiro lugar analisar os

coeficientes de variação das 3 chamas do processo nas duas condições estudadas (sem produção de ampola e com produção de ampola). A tabela abaixo apresenta os valores do coeficiente de variação para os seis casos trabalhados.

Tabela 12 - Apresentação dos seis valores de coeficiente de variação obtidos

	1ª chama	2ª chama	3ª chama
Sem produção de ampola	2,87 %	3,13 %	3,50 %
Com produção de ampola	9,54 %	4,17 %	4,79 %

Pela leitura da tabela acima o primeiro valor que salta à vista é o de 9,54 % para a primeira chama com ocorrência de produção de ampola. Isto acontece porque foram colocadas apenas 40 ampolas durante os 45 minutos de experimentação. Quando a chama entra em contacto com a ampola, a sua temperatura sobe consideravelmente e com a produção de poucas ampolas o sensor de temperatura fica vários segundos sem retirar a temperatura quando a chama entra em contacto com a ampola. Estes segundos são fulcrais porque fazem com que a temperatura oscile muito mais do que por exemplo na segunda e terceira chama do disco rotativo (com produção de ampola). Essa oscilação de temperatura origina portanto uma maior dispersão dos dados e conseqüentemente um maior coeficiente de variação.

De seguida, pode-se verificar que os valores do coeficiente de variação com produção de ampola são sempre maiores que os retirados sem produção de ampola para cada uma das chamas. Isto ocorre porque como já foi explicado antes quando há contacto entre a chama e a ampola a temperatura da chama altera-se e sendo assim a dispersão de dados é sempre maior. Esta dispersão provoca um aumento do desvio padrão e conseqüentemente um maior valor de coeficiente de variação.

O ponto crucial da análise destes valores é identificar se estes valores são ou não muito altos para um ambiente industrial para se entender se os reguladores estão a funcionar nas melhores condições possíveis.

A tabela seguinte é fundamental para entender quais os valores adequados para o coeficiente de variação de um equipamento industrial.

Tabela 13 - Identificação da situação de um equipamento industrial em função do seu coeficiente de variação [12]

Classe de dispersão	Coeficiente de variação	Situação
<b>Baixa</b>	$C < 0,75 \%$	Tempos de processos sem interrupções
<b>Média</b>	$0,75 \% \leq C < 1,33 \%$	Ajustes de curta duração
<b>Alta</b>	$C \geq 1,33 \%$	Processos com paragens longas (falhas)

Pela análise da tabela anterior nota-se que qualquer dos valores de coeficiente de variação determinados anteriormente estão acima do valor pretendido e a classe de dispersão é identificada como alta. Isto quer dizer que o disco rotativo vai trabalhar com imensas falhas (nomeadamente nos reguladores de gás e oxigénio).

Outro método para avaliar a eficiência do processo é um gráfico de controlo numérico. Vão ser utilizados dois tipos de gráficos para variáveis, o gráfico  $R$  e o gráfico  $\bar{x}$ . O primeiro está diretamente relacionado com as diferenças entre os valores máximo e mínimos lidos pelos dados analisados e o segundo está mais relacionado com as médias obtidas.

O objetivo destes dois gráficos é que todos os pontos analisados estejam entre os limites de controlo do processo. Os limites serão apresentados como LSC (limite superior de controlo) e LIC (limite inferior de controlo) e se todos os pontos estiverem dentro destes limites pode-se afirmar que a variabilidade do processo e está estatisticamente controlada.

Na prática estes dois gráficos são usados para controlo numérico de variáveis do produto final. Por exemplo, no estudo do diâmetro de um tubo ou na medição da altura de uma simples caixa. O objetivo é a adaptação deste processo para se analisar a variabilidade da terceira e última chama do processo [13]

Irão ser analisadas as temperaturas da terceira chama durante os 45 minutos de monitorização da temperatura. Para isso vamos ter atenção ao tempo em que foram retiradas as temperaturas do sensor. Como o intervalo é de 45 minutos no total vai-se dividir o tempo usado no teste em 9 intervalos de 5 minutos e em cada intervalo irá se retirar 5 valores de temperatura ( $n = 5$ ). Ou seja, ao todo vamos obter uma tabela com 45 valores de temperatura.

Tabela 14 - Leitura de 45 dados de temperatura para a terceira chama

	[0,5]	[5,10]	[10,15]	[15,20]	[20,25]	[25,30]	[30,35]	[35,40]	[40,45]
<b>1</b>	191,25	203,50	173,75	202,25	195,75	185,25	196,75	186,75	197,00
<b>2</b>	197,00	193,25	182,75	179,25	201,00	197,75	203,25	200,75	187,25
<b>3</b>	178,50	183,75	197,25	185,50	178,00	172,50	186,50	191,00	193,25
<b>4</b>	192,25	190,00	201,00	193,50	173,50	181,25	180,50	178,25	185,75
<b>5</b>	196,25	195,50	184,50	196,25	196,50	188,00	174,75	186,25	190,75
<b>R</b>	18,50	19,75	27,25	23,00	27,50	25,25	28,50	22,50	11,25
$\bar{x}$	191,05	193,20	187,85	191,35	188,95	184,95	188,35	188,60	190,80

Depois da realização desta tabela é necessário calcular tanto a média da diferença entre os valores máximos e mínimos,  $\bar{R}$  como a média dos nove valores médios obtidos representado por  $\bar{x}$ .

$$\bar{R} = 22,61$$

$$\bar{x} = 189,45$$

Tendo já o valor de  $\bar{R}$  é preciso determinar os limites para se conseguir realizar o gráfico e as equações seguintes servem para isso mesmo.

$$LSC_R = D_4 \times \bar{R} = 47,82 \quad (3)$$

$$LIC_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \quad (4)$$

Os valores  $D_4$  e  $D_3$  são valores tabelados para este processo e apenas dependem do número de *outputs* retirados para cada amostra ( $n = 5$ ):

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2,115$$

Assim, obtém-se o valor do limite superior e inferior e já temos todos os dados necessários para a realização do gráfico de controlo numérico  $R$ .

$$LSC_R = 47,82$$

$$LIC_R = 0$$

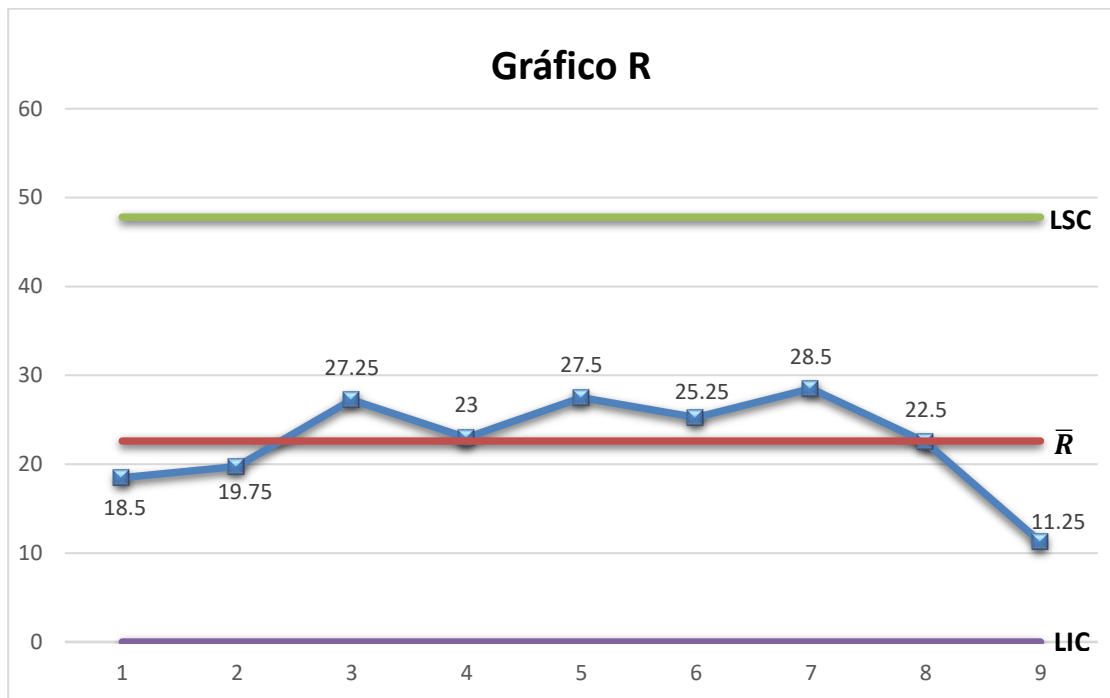


Figura 35 - Gráfico de controlo numérico R

Para o gráfico relativo às médias é necessário o valor de  $A_2$  que é também um valor tabelado para estas situações e que para este caso ( $n = 5$ ),  $A_2 = 0,577$ .

As equações 5 e 6 são usadas para obter os limites para este tipo de gráfico.

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (5)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (6)$$

Usando todos os valores necessários para as equações anteriores, o valor do limite superior e inferior é calculado e pode-se assim construir o gráfico  $\bar{x}$  correspondente a este processo.

$$LSC_{\bar{x}} = 202,49$$

$$LIC_{\bar{x}} = 176,40$$

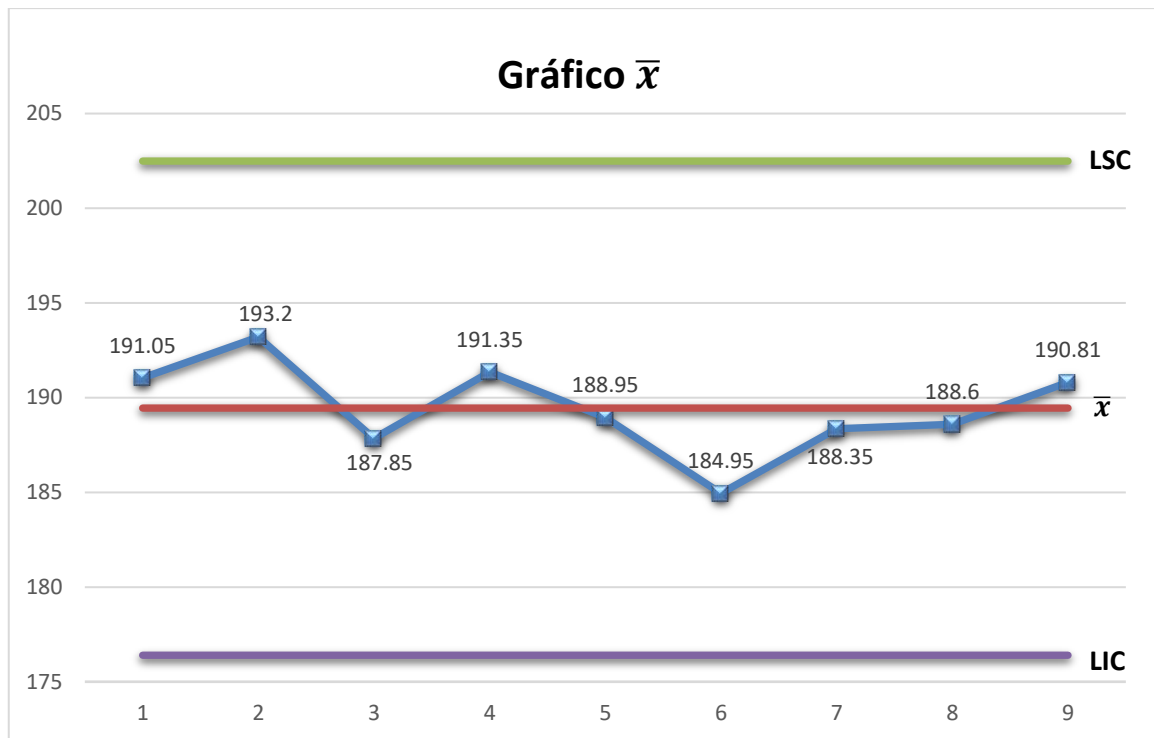


Figura 36 - Gráfico de controle numérico  $\bar{x}$

Ambos os gráficos contêm os seus pontos dentro dos limites de controle, o que quer dizer que, através deste método de interpretação de dados, o processo está estatisticamente sob controle. Ou seja, a variação das temperaturas da terceira chama não afeta a qualidade do procedimento de selagem da ampola.

Pela comparação entre a análise feita ao coeficiente de variação do sistema e a análise realizada aos gráficos de controle construídos não se consegue obter uma conclusão unânime para a fiabilidade das chamas responsáveis pelo fecho das ampolas.

Neste caso, e por último, devemos olhar para os defeitos das ampolas produzidas durante os 45 minutos de ensaio nas melhores condições de regulação do gás e oxigénio para as três chamas do procedimento.

O gráfico seguinte apresenta-nos a percentagem de ampolas que saíram sem defeito (observado a olho nú) e a percentagem de cada tipo de defeito encontrado nessas 100 ampolas observadas.

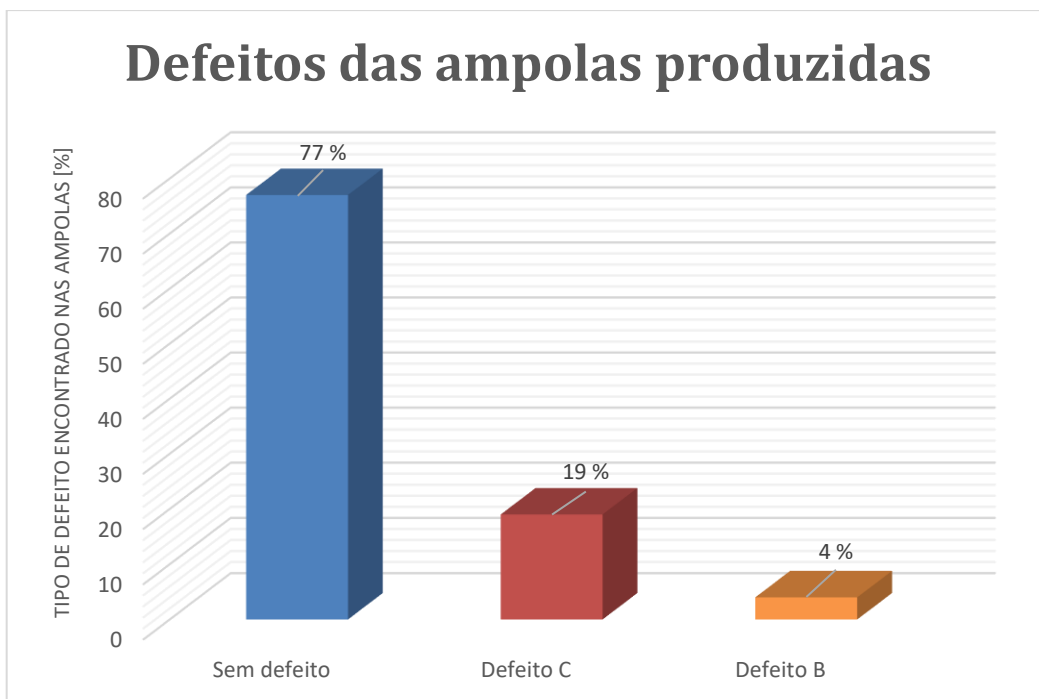


Figura 37 - Tipos de defeitos encontrados nas ampolas produzidas

Pela análise do gráfico anterior percebe-se que 23 % das ampolas produzidas saíram com defeito (maioritariamente defeito do tipo C que é originado pela chama ter atuado durante um intervalo de tempo superior ao normal ou por a chama estar a uma temperatura muito elevada).

Para um processo automático que é suposto funcionar durante 7 horas seguidas sem fiscalização de um operador, 23 % de defeitos é um valor muito elevado. Se fosse um valor mais reduzido, por exemplo abaixo dos 5 % poderia-se apenas construir um sistema de rejeição que deitasse fora as ampolas defeituosas, mas neste caso é impossível ignorar a quantidade de produtos não conformes que são produzidos através deste método.

A análise foi apenas feita para 45 minutos de produção o que faz com que a chama não se altere tanto como nas sete horas de produção que é suposto realizar. Deste modo, pode-se admitir que o equipamento, nomeadamente as chamas controladas pela regulação dos níveis de gás e oxigénio impostas a cada uma delas, têm capacidade para proceder à abertura e selagem das ampolas mas não é possível fazê-lo de forma constante com uma baixa percentagem de defeitos.

Por isso mesmo, conclui-se que o principal problema está no controlo da temperatura das duas chamas responsáveis pela selagem das ampolas. Este controlo tem de ser feito por um operador, através da utilização dos reguladores de gás e oxigénio, sempre que começarem a surgir ampolas defeituosas no processo de produção.



## **7. REFLEXÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS**

Como parte final da dissertação é importante a abordagem das principais conclusões que se retiraram com a realização deste trabalho e também mencionar os possíveis desenvolvimentos do trabalho que podem ser feitos no futuro.

### **7.1 Reflexões finais**

Dado como concluída a análise ao principal problema do equipamento (regulação das chamas do disco rotativo), é importante verificar a realização de todos os objetivos propostos no início desta dissertação.

Inicialmente seria necessário estudar o processo atual de enchimento de ampolas. Este objetivo tinha como propósito como explicação e análise detalhada do disco rotativo que é inteiramente responsável pela abertura da ampola, introdução do líquido pretendido e selagem da ampola. Este primeiro ponto não só foi concluído com sucesso como se realizou uma abordagem ao outro tipo de equipamentos existentes no mercado, que neste caso têm um movimento linear em vez de rotativo.

O segundo objetivo que foi proposto consistia na identificação dos problemas existentes no dispositivo. No quinto capítulo desta dissertação foi realizado ao teste intensivo ao equipamento que permitiu desvendar os principais problemas da máquina. Depois de uma breve análise ao sistema percebeu-se que havia contrariedades que seriam facilmente resolvidas, nomeadamente as que implicavam a atuação do robô para colocação das ampolas no disco, e que as principais adversidades que precisavam de ser analisadas consistiam na regulação das chamas do processo.

Em terceiro lugar, era necessário encontrar um valor de regulação de gás e oxigénio ideias para cada uma das chamas de modo a ter uma produção com o mínimo de defeitos possíveis. Foi usado um processo tentativa-erro para conseguir cumprir o objetivo e foi mais complexo na segunda e terceira chama pois implicava uma maior precisão para conseguir obter um topo de ampola ideal.

O último objetivo, que passava pela implementação de uma solução para tornar o sistema totalmente automático durante um turno de 7 horas de funcionamento, foi o único que não foi atingido.

A principal adversidade foi encontrada durante o controlo dos reguladores das chamas pois são pouco precisos e consistentes para este tipo de produção. Todas as três chamas tinham uma elevada variação ao longo do tempo o que dificulta imenso o funcionamento contínuo do equipamento. A monitorização de um operador é fundamental para regular a chama e manter a produção com um número de produtos não conformes mínimo.

## **7.2 Trabalhos futuros**

Depois de todas as reflexões finais do projeto pode-se concluir que haveria muito mais para analisar no equipamento e poderia ter sido feito um diferente tipo de teste à chama para conseguir obter mais dados sobre a consistência da mesma. Como exemplo, poderia-se ter usado câmaras termográficas para retirar mais dados sobre as chamas do processo, mas isto implicariam um custo elevado associado a esses testes.

Por final, o principal problema do equipamento poderia ter sido resolvido através de um sistema complexo que fosse capaz de controlar os reguladores de modo a manter as chamas num intervalo de temperatura ideal para diminuir ao máximo a percentagem de defeitos do processo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Machserv Unipessoal, Lda (2019). Sistema Automático de Enchimento de Ampolas de 5 mL e 2 mL “MESOSYSTEM”. 1ª edição
- [2] Adelphi Manufacturing, “ROTA R911MA Ampoule Filler & Sealer” Disponível em: <https://www.adelphi.uk.com/product/rota-r911ma-ampoule-filler-closer/>
- [3] Adelphi Manufacturing, “ROTA R915MA Ampoule Filler & Sealer”
- [4] Adelphi Manufacturing, “ROTA R941MA Ampoule Filler & Sealer” Disponível em: <https://www.adelphi.uk.com/product/rota-r941ma-filler-sealer/>
- [5] Adelphi Manufacturing, “ROTA R921MA Ampoule Filler & Sealer” Disponível em: <https://www.adelphi.uk.com/product/rota-r921ma-ampoule-filler-sealer/>
- [6] Adelphi Manufacturing, “ROTA R960MA Ampoule Filler & Sealer” Disponível em: <https://www.adelphi.uk.com/product/rota-r960ma-ampoule-filler-sealer/>
- [7] Harsiddh Engineering Co. “Ampoule filling machines for open ampoules” Disponível em: [https://www.harsiddhengineering.com/liquid-filling-machines/ampoule-filling-machines-for-open-ampoules/?gclid=EAlaIQobChMI3K3w5eST7wIVIO7tCh1ALghbEAAYASAAEgJSgPD\\_BwE](https://www.harsiddhengineering.com/liquid-filling-machines/ampoule-filling-machines-for-open-ampoules/?gclid=EAlaIQobChMI3K3w5eST7wIVIO7tCh1ALghbEAAYASAAEgJSgPD_BwE)
- [8] TRUSTAR Pharma Pack Equipment Co, Máquina de Enchimento e Selagem de Ampolas – The Ultimate Guide. Acedido em: <http://pt.trustarpack.com/info/ampoule-filling-and-sealing-machine-the-ulti-36680048.html>
- [9] Silva, J.A., Apolinário A.C., Souza, M.S.R., Damasceno, B.P.G.I., Medeiros, A.C.D., “Administração cutânea de fármacos: desafios e estratégias para o desenvolvimento de formulações transdérmicas”, 2010
- [10] Maria Sofia de Trigueiros Pinção Henriques Lopes, “Critical parameters in manufacturing process validation of different forms of pharmaceutical injectable products – to assess products’ risk framework”, Dissertação, 2013
- [11] José Roberto Marques, “Afinal o que é ou o que pode ser considerado qualidade do produto, janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.ibccoaching.com.br/portal/afinal-o-que-e-ou-o-que-pode-ser-considerado-qualidade-do-produto/>

[12] José Carlos Alves Cordeiro, Maria Rita Pontes Assumpcao “Management indicators for corrective maintenance/Indicadores para gestão na manutenção corretiva”, Revista Exacta, vol.14, no.2, abril de 2016. Acedido em: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA596402811&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16785428&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E40133bc0>

[13] Professor Nair, “Control Charts For Variables”, YouTube. Disponível no link: [https://www.youtube.com/watch?v=O5gDp-SdyKQ&ab\\_channel=ProfessorNair](https://www.youtube.com/watch?v=O5gDp-SdyKQ&ab_channel=ProfessorNair)

ANEXO I – DESENHO TÉCNICO DA PEÇA IMPLEMENTADA NA PRIMEIRA CHAMA

