



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

José Pedro Vaz Rodrigues

**Conceção, desenvolvimento e projeto de um
equipamento de humificação de placas de
hóstias**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Pedro Alexandre Moreira Lobarinhas

Coorientação de

Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues Seabra

janeiro de 2020

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-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Para a realização desta dissertação contei com o apoio de múltiplas pessoas, sem as quais a realização do trabalho teria sido impossível. A todas elas expresso o meu agradecimento.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Lobarinhas, cuja contribuição foi fundamental para a realização da presente dissertação. Agradeço toda a ajuda, sugestões e disponibilidade demonstrada.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Eurico Seabra, pela disponibilidade demonstrada no esclarecimento de dúvidas que foram surgindo ao longo da elaboração do trabalho. Agradeço os conhecimentos e sugestões partilhadas.

Ao Instituto Monsenhor Airosa, pela oportunidade dada para a realização desta dissertação. Os meus agradecimentos a todos os seus colaboradores, em especial ao seu presidente, Senhor Luís Gonzaga, pela disponibilidade demonstrada e pela prontidão na ajuda à realização do trabalho.

À minha família pelo apoio demonstrado ao longo de todo o meu percurso académico. Quero agradecer em especial aos meus pais, pelos esforços que fizeram para me darem a possibilidade de prosseguir os meus estudos, sem eles todo este percurso teria sido impossível.

A todos os meus amigos, pelo apoio demonstrado ao longo deste percurso. Com eles partilhei bons e maus momentos, sem eles todos os momentos de felicidade não teriam o mesmo sabor e todos os momentos menos felizes teriam, certamente, sido mais difíceis de ultrapassar. Um agradecimento especial aos meus amigos de sempre, Luís Silva e Rafael Silva, que fizeram parte de praticamente todo meu percurso escolar, incluindo o percurso académico.

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

O objetivo geral desta dissertação passa pela melhoria do processo de humidificação de placas de hóstia. As placas de hóstia têm o formato retangular e são resultado da cozedura da massa que constitui as hóstias.

Inicialmente estudou-se o processo produtivo de hóstias, no qual se enquadra o processo de humidificação, de forma a compreender todas as etapas necessárias à produção de hóstias. Este estudo permitiu ainda perceber a importância da humidificação no processo produtivo de hóstias. Com o objetivo de conhecer as soluções já existentes, elaborou-se um estudo de mercado.

Posteriormente estudou-se o material das placas de hóstia, de forma a compreender o nível de humidificação ideal. Fez-se ainda um trabalho experimental que permitiu perceber a temperatura e humidade relativa, ideais, para que o processo seja o mais rápido possível.

De seguida foram elaborados diversos ensaios à câmara de humidificação 1, com o objetivo de entender a razão pela qual o processo de humidificação utilizado não permite uma cadência suficiente para dar resposta à etapa de corte. Conhecidos os pontos fracos da câmara de humidificação 1, foram propostas melhorias para promover um processo de humidificação mais eficiente.

Com o propósito de promover o projeto de um novo equipamento de humidificação, realizou-se um projeto conceptual na procura de soluções alternativas que consigam responder aos objetivos iniciais do projeto.

O passo seguinte passou pela execução do projeto detalhado do equipamento, onde foram selecionados os componentes necessários para o correto funcionamento da máquina projetada.

Por fim, realizou-se o projeto de automação do equipamento, permitindo um controlo automático do funcionamento do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE

Humidade, Placas de hóstia, Processo de humidificação, Projeto mecânico, Temperatura.

ABSTRACT

The general objective of this dissertation is to improve the host plates humidification process. The host plates are rectangular in shape and are the result of cooking the dough that forms the host.

Initially it was studied the productive process of hosts, in which fits the process of humidification, in order to understand all the necessary steps to produce hosts. This study also allowed to understand the importance of humidification in the hosts production process. In order to know the existing solutions, it was conducted a market study.

After that, it was studied the material of the host plates in order to understand the ideal level of humidification. Also, it has been done an experimental work to make it possible to understand the ideal temperature and relative humidity to make the process as fast as possible.

Following, several tests were made to the humidification chamber 1, intending to understand why the used humidification process does not allow enough cadence to respond to the cutting station. Knowing the weaknesses of the humidification chamber 1, improvements were proposed to promote a more efficient humidification process.

In order to promote the design of a new humidification equipment, it was carried out a conceptual design in search for alternative solutions that could meet the initial objectives of the project.

The next step was the execution of the detailed design of the equipment, where the necessary components for the correct operation of the designed machine were selected.

Finally, it was carried out the automation design of the equipment, allowing an automatic control of its operation.

KEYWORDS

Humidity, Host Plates, Humidification Process, Mechanical Design, Temperature.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Declaração de Integridade	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Índice.....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas	xxi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xxiii
Simbologia	xxv
Símbolos gregos.....	xxxi
1 Introdução	1
1.1 Empresa	1
1.2 Enquadramento	1
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2 Revisão bibliográfica	4
2.1 Variáveis do processo de humidificação	4
2.1.1 Humidade	4
2.1.2 Relação entre temperatura e humidade específica.....	5
2.2 Teoria do projeto	5
2.2.1 Modelos descritivos	6
2.2.2 Modelos prescritivos	7
2.2.3 A metodologia do projeto	8
3 Estado da arte	15
3.1 Produtos confeccionados no IMA.....	15
3.2 Processo produtivo do IMA	16
3.2.1 Produção da massa.....	17
3.2.2 Produção das placas	17
3.2.3 Corte dos cacos.....	19

3.2.4	Humidificação das placas	19
3.2.5	Corte das placas.....	21
3.2.6	Controlo de qualidade.....	23
3.2.7	Embalagem.....	23
3.3	Estudo do mercado	23
3.3.1	Câmara de humidificação da <i>Maq Company</i>	24
3.3.2	Câmara de humidificação 1 (IMA)	24
4	Estudo ao material das placas de hóstia e da câmara de humidificação	28
4.1	Estudo ao material das placas de hóstia	28
4.1.1	Estudo da humidificação ideal das placas de hóstia.....	28
4.1.2	Relação entre o tempo de humidificação e o ambiente interior da câmara	31
4.2	Estudo da câmara de humidificação	35
4.2.1	Problemas associados à câmara de humidificação.....	35
4.2.2	Ensaio à temperatura de humidificação.....	36
4.2.3	Ensaio à influência da abertura de portas durante o processo de humidificação.....	38
4.2.4	Melhorias propostas para a câmara de humidificação	40
5	Projeto conceptual	42
5.1	Objetivos do projeto.....	42
5.2	Estrutura de funções do produto.....	43
5.3	Estabelecimento das especificações de desempenho.....	44
5.4	Criação de soluções alternativas.....	46
5.4.1	Solução conceptual 1	47
5.4.2	Solução conceptual 2	48
5.4.3	Solução conceptual 3	49
5.4.4	Solução conceptual 4	49
5.5	Avaliação das soluções alternativas	50
6	Projeto detalhado.....	55
6.1	Descrição geral do equipamento.....	55
6.2	Suportes para as placas de hóstia	56

6.3	Tapete Rolante	57
6.3.1	Correia transportadora.....	58
6.3.2	Rodas dentadas.....	61
6.3.3	Eixo motor e movido	63
6.4	Estrutura do tapete rolante	64
6.4.1	Guias laterais.....	64
6.4.2	Pernas	65
6.4.3	Guias de segurança	67
6.5	Guias de desgaste	67
6.6	Roletes.....	69
6.6.1	Roletes de retorno	69
6.6.2	Rolete tensor por gravidade	72
6.6.3	Colocação dos roletes.....	74
6.7	Chumaceiras de rolamentos	74
6.8	Sistema de acionamento	75
6.8.1	Seleção do motorreductor.....	75
6.8.2	Seleção da união de veios.....	77
6.9	Câmara de humidificação.....	79
6.9.1	Estrutura da câmara de humidificação	79
6.9.2	Isolamento térmico.....	80
6.10	Portas da câmara de humidificação.....	80
6.10.1	Acionamento das portas da câmara de humidificação	82
6.11	Porta para limpeza da câmara de humidificação.....	84
6.12	Aquecimento e humidificação do ambiente da câmara.....	85
6.12.1	Depósito.....	85
6.12.2	Resistências elétricas.....	86
6.12.3	Regulação do nível de água no depósito	87
6.13	Identificação de perigos para o operador	89

6.13.1	Proteção das portas da câmara de humidificação.....	89
6.13.2	Proteção do motorreductor.....	90
6.14	Projeto de automação.....	90
6.14.1	Funcionamento do equipamento.....	90
6.14.2	Sensores.....	92
6.14.3	Electroválvulas.....	97
6.14.4	Controlador lógico programável (PLC).....	97
7	Conclusões e trabalhos futuros.....	101
7.1	Conclusões.....	101
7.2	Trabalhos futuros.....	102
	Referências.....	103
	Anexos.....	105
	Anexo I – Programação do <i>arduino</i>	106
	Anexo II –Classificações de desempenho das soluções conceptuais.....	109
	Anexo III – Desenho técnico.....	116
	Anexo IV – Cálculo da dilatação térmica da correia transportadora.....	157
	Anexo V – Verificação da resistência da correia transportadora.....	160
	Anexo VI – Dimensionamento das rodas dentadas.....	165
	Anexo VII – Verificação da resistência dos eixos seleccionados.....	168
	Anexo VIII – Colocação dos roletes no tapete rolante.....	172
	Anexo IX – Seleção dos rolamentos para as chumaceiras.....	175
	Anexo X – Cálculo da potência do motorreductor.....	179
	Anexo XI – Cálculo da velocidade real da correia transportadora.....	182
	Anexo XII – Dimensionamento da união de veios seleccionada.....	185
	Anexo XIII – Escolha e dimensionamento do isolamento térmico.....	188
	Anexo XIV – Cálculo do diâmetro dos cilindros para a movimentação das portas.....	200
	Anexo XV – Cálculo da potência das resistências eléctricas do depósito.....	202
	Anexo XVI – Diagrama <i>ladder</i>	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cacos de hóstia.	2
Figura 2 - Placa de hóstia.	2
Figura 3 - Gráfico psicométrico (<i>Carrier, s.d.</i>).	5
Figura 4 – Modelo de 4 etapas. Adaptado de (Cross, 2008).	6
Figura 5 - Modelo de <i>French</i> . Adaptado de (Cross, 2008).	7
Figura 6 - Etapas de um projeto pela utilização de métodos racionais. Adaptado de (Cross, 2008).	9
Figura 7 - Exemplo de uma árvore de objetivos. Adaptado de (Cross, 2008).	10
Figura 8 - Caixa negra de um equipamento para a produção de chá (Cross, 2008).	11
Figura 9 - Exemplo de um diagrama de blocos de funções para um equipamento de fazer chá. Adaptado de (Cross, 2008).	11
Figura 10 - Exemplo de um mapa morfológico para o projeto de um equipamento para colheita de batatas. Adaptado de (Cross, 2008).	12
Figura 11 - Aplicação do método dos objetivos ponderados. Adaptado de (Cross, 2008).	13
Figura 12 - Exemplo da avaliação de soluções através do método dos objetivos ponderados. Baseado no exemplo de (Cross, 2008).	14
Figura 13 - Diferentes tamanhos das hóstias produzidas no IMA.	15
Figura 14 - Cacos de hóstia.	15
Figura 15 - Organigrama do processo produtivo.	16
Figura 16 - Batedeira industrial utilizada na produção de massa.	17
Figura 17 - Placas de hóstia.	18
Figura 18 - Máquina para a produção das placas de hóstia.	18
Figura 19 - Câmara de humidificação 1.	20
Figura 20 - Câmara de humidificação 2.	21
Figura 21 - Máquina de corte automática.	21
Figura 22 - Máquina de corte antiga.	22
Figura 23 - Equipamento de corte de hóstias de 8 cm.	23
Figura 24 - Câmara de humidificação da <i>Maq Company</i> (<i>Maq Company, s.d.</i>).	24
Figura 25 - Resistências elétricas para geração de vapor (<i>Maq Company, s.d.</i>).	24
Figura 26 - Câmara de humidificação 1.	25

Figura 27 – Suportes para as placas de hóstia.....	25
Figura 28 - Colocação dos suportes das placas nas prateleiras da câmara.	26
Figura 29 - Depósito da câmara de humidificação 1 e respetivos componentes constituintes.	27
Figura 30 - Quadro elétrico da câmara de humidificação 1.....	27
Figura 31 - Balança utilizada para as pesagens das placas de hóstia.....	29
Figura 32 – Sensor DHT22 (Botnroll, s.d.)	32
Figura 33 - Conexões entre o sensor DHT22 e o <i>arduino</i> (Fritzing, s.d.)	32
Figura 34 - Suportes para a introdução de placas na horizontal.	33
Figura 35 - Tempo de humidificação para o ganho de peso percentual ideal a diferentes temperaturas.	34
Figura 36 - Alterações geométricas resultantes de uma temperatura de humidificação excessiva.	35
Figura 37 - Alteração geométrica provocada nas placas após o processo de humidificação.	36
Figura 38 - Pontos de medição da temperatura na câmara de humidificação.....	37
Figura 39 - Influência da abertura de portas no processo de humidificação.....	39
Figura 40 - Esquema da entrada e saída de ar, com a abertura de portas.....	40
Figura 41 - Chapas para a compartimentação da câmara de humidificação.....	41
Figura 42 - Suporte para introdução das placas na horizontal.....	41
Figura 43 - Árvore de objetivos para o equipamento pretendido.....	43
Figura 44 - Estrutura de funções sob a forma de “caixa negra”	43
Figura 45 - Diagrama de blocos da estrutura de funções do equipamento a projetar.	44
Figura 46 - Solução conceptual 1.....	48
Figura 47 - Solução conceptual 2.....	48
Figura 48 - Solução conceptual 3.....	49
Figura 49 - Solução conceptual 4.....	50
Figura 50 - Pesos ponderados para cada um dos objetivos.....	51
Figura 51 - Modelação do equipamento para a humidificação de placas de hóstia.....	56
Figura 52 - Superfícies para o apoio das placas de hóstia.....	56
Figura 53 - Suportes para as placas de hóstia.....	57
Figura 54 - Introdução dos suportes no tapete rolante.....	57
Figura 55 - Correia transportadora "Série 200 <i>Open Hinge</i> " da <i>Intralox</i>	58
Figura 56 - Junção dos módulos da correia utilizando varetas poliméricas.....	59
Figura 57 - Talisca da "Série 200 articulação aberta" da <i>Intralox</i> (<i>Intalox</i> , 2019).....	59

Figura 58 - Locais de colocação das taliscas.	60
Figura 59 - Roda dentada selecionada da <i>Intralox</i>	62
Figura 60 - Modelação do eixo movido utilizados.	63
Figura 61 - Anéis de retenção da <i>Intralox</i>	64
Figura 62 - Perfil das guias laterais e respetivas dimensões.	65
Figura 63 - Guia lateral.	65
Figura 64 - Conjunto de pernas utilizado.	66
Figura 65 - Montagem das guias laterais nas pernas.	66
Figura 66 - Guia de segurança e sua constituição.....	67
Figura 67 - Guias de desgaste projetadas e seus respetivos componentes.	68
Figura 68 - Demonstração do corte nas extremidades das guias de desgaste junto aos eixos de rotação.	69
Figura 69 - Montagem dos 4 modulos das guias de desgaste na estrutura do tapete rolante.	69
Figura 70 - Roletes de retorno da marca <i>Unirons</i> do modelo 3392 (<i>Unirons</i> , 2019).	70
Figura 71 - Colocação dos roletes de retorno.....	70
Figura 72 - Anel de retenção da marca <i>Unirons</i> modelo 3404 (<i>Unirons</i> , 2019).	71
Figura 73 - Colocação dos anéis de retenção.	71
Figura 74 - Fixação do veio na guia lateral.....	71
Figura 75 - Esquema representativo do sistema tensor por gravidade normalmente utilizado. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019).	72
Figura 76 - Rolete tensor com aba da marca <i>Unirons</i> do modelo 3619 (<i>Unirons</i> , 2019).	72
Figura 77 - Rolete tensor central da marca <i>Unirons</i> modelo 3542 (<i>Unirons</i> , 2019)..	73
Figura 78 - Anéis de retenção da marca <i>Unirons</i> do modelo 3539 (<i>Unirons</i> , 2019).	73
Figura 79 - Montagem dos roletes tensores e respetivos anéis de retenção.....	73
Figura 80 - Suporte para os roletes tensores e ligação do veio.	74
Figura 81 - Chumaceira de rolamentos FNL 505A (SKF, 2015).	75
Figura 82 - Chumaceira de rolamentos FNL 505B (SKF, 2015).	75
Figura 83 – Motorreductor SK 9012.1-80S/4 IG1 (<i>NORD</i> , 2015).	76
Figura 84 - Suporte do motorreductor.	77
Figura 85 - Suporte anti-vibratório de borracha da marca <i>Imporseal</i> do modelo T 20-20.	77
Figura 86 - União de veios " <i>Jaw Coupling</i> ".....	78
Figura 87 - União de veios selecionada.	78

Figura 88 - Estrutura da câmara de humidificação e seus constituintes.	79
Figura 89 - Suporte para a fixação da câmara à estrutura do tapete rolante.	80
Figura 90 - Porta projetada e seus principais componentes.	81
Figura 91 - Guia de deslizamento das portas da câmara de humidificação.	81
Figura 92 - Montagem das guias de deslizamento na câmara de humidificação.	82
Figura 93 - Cilindro pneumático da <i>camozzi</i> modelo 24N2A20A500 (<i>Camozzi</i> , s.d.)	83
Figura 94 - Cilindro pneumático fixo ao suporte de ligação à camara de humidificação.	83
Figura 95 - Localização da fixação dos cilindros na câmara e na porta da câmara.	84
Figura 96 - Porta de limpeza da câmara.	84
Figura 97 - Depósito e seus constituintes.	85
Figura 98 - Fixação do depósito à estrutura do tapete rolante.	86
Figura 99 - Modelação da resistência da <i>Bosch-Siemens</i> modelo S-00684105.	86
Figura 100 - Fixação das resistências elétricas e da peça de ligação entre parede interior e exterior...	87
Figura 101 - Modelação da válvula boia selecionada.	88
Figura 102 - Fixação das resistências elétricas e da peça de ligação entre parede interior e exterior...	88
Figura 103 - Proteção das portas da câmara de humidificação.	89
Figura 104 - Proteção do motorreductor.	90
Figura 105 - Fluxograma das operações necessárias ao funcionamento do equipamento.	91
Figura 106 - Sensor E52-ELTJ5-100-2-UM da <i>OMRON</i> (<i>OMRON</i> , 2018).	93
Figura 107 - Introdução do sensor de temperatura na câmara de humidificação.	93
Figura 108 - Sensor indutivo E2A-M08KN04-M1-B1 (<i>OMRON</i> , 2018).	94
Figura 109 - Colocação do sensor indutivo no interior da câmara.	95
Figura 110 - Sensor CST-220 (<i>Camozzi</i> , s.d.)	95
Figura 111 - Fixação do sensor de início e fim de curso para a porta de entrada da câmara.	96
Figura 112 - Fixação dos sensores nos cilindros da porta de saída da câmara.	96
Figura 113 - Esquema do controlo de um par de cilindros por uma electroválvula.	97
Figura 114 - Válvula da <i>Camozzi</i> do modelo 358-015-02 (<i>Camozzi</i> , s.d.)	97
Figura 115 - PLC do modelo CP1E-E20SDR-A (<i>OMRON</i> , 2018).	98
Figura 116 - <i>Grafcet</i> desenvolvido para o controlo do equipamento.	99
Figura 117 - Programação do <i>arduino</i>	107
Figura 118 - Programação do <i>arduino</i> (continuação).	108

Figura 119 - Fator T em função da temperatura para uma correia em polipropileno. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019).....	163
Figura 120 - Fator S em função do número de dentes da engrenagem e da razão entre velocidade e comprimento do tapete rolante. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019).	163
Figura 121 - Espaçamento máximo entre engrenagens em função da <i>ABSU</i> . Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019).	166
Figura 122 - Diâmetro mínimo da manga em função do Binário que o eixo tem de suportar. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019).	171
Figura 123 - Esquema da colocação dos roletes ao longo do tapete rolante. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2019)	173
Figura 124 - Sistema das resistências térmicas da parede da câmara de humidificação.	190
Figura 125 - Fluxo de calor em função da espessura de isolamento térmico.	197
Figura 126 - Custo da perda anual em função da espessura de isolamento térmico.....	197
Figura 127 - Custo do isolamento térmico em função da espessura do isolamento térmico.....	198
Figura 128 - Custo total da câmara em função da espessura do isolamento térmico.....	198
Figura 129 - Custo total (custo da perda energética somado ao custo total da câmara) ao longo dos 10 anos de estudo.....	199
Figura 130 - Estado inicial representado no gráfico psicométrico. Adaptado de (<i>Carrier</i> , s.d.).	204
Figura 131 - Diagrama <i>ladder</i> para a programação do PLC.	208

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do ensaio da humidificação ideal das placas.	29
Tabela 2 - Percentagem de hóstias com defeito.....	30
Tabela 3 - Defeitos encontrados nas amostras dos à humidificação ideal das placas.....	30
Tabela 4 - Especificações do sensor DHT22 (<i>Botnroll, s.d.</i>)	32
Tabela 5 - Amostras utilizadas no trabalho experimental.....	34
Tabela 6 - Resultados da medição de temperatura do ar interior da câmara.	37
Tabela 7 - Resultados obtidos pela alteração da temperatura da água do depósito.....	38
Tabela 8 - Especificações de desempenho da máquina a projetar.....	45
Tabela 9 - Mapa morfológico utilizado na obtenção de soluções alternativas.	46
Tabela 10 - Escala de classificações utilizada.	51
Tabela 11 - Classificações gerais das soluções conceptuais.....	52
Tabela 12 - Rodas dentadas disponíveis para a correia transportadora selecionada. Adaptado de (<i>Intralox, 2019</i>).....	61
Tabela 13 - Valores de coeficiente de dilatação térmica dos materiais mais utilizados em guias de desgaste. Adaptado de (<i>Intralox, 2019</i>).....	68
Tabela 14 - Especificações do motor SK 9012.1-80S/4. Adaptado de (<i>NORD, 2015</i>)	76
Tabela 15 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 1.	110
Tabela 16 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 2.	111
Tabela 17 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 3.	112
Tabela 18 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 4.	114
Tabela 19 - Valores considerados para o cálculo da ΔW	158
Tabela 20 - Valores considerados para o cálculo da ΔL	159
Tabela 21 - Valores considerados para as variáveis para o cálculo de BP	161
Tabela 22 - Valores das variáveis para o cálculo da ABP	162
Tabela 23 - Valores considerados para o cálculo da ABS.	164
Tabela 24 - Valores considerados para o cálculo da ABSU.....	166
Tabela 25 - Valores considerados para as variáveis para o cálculo da W	169
Tabela 26 - Valores considerados para o cálculo de D	170
Tabela 27 - Valores recomendados e distâncias utilizadas entre roletes.	173

Tabela 28 - Rolamentos disponíveis para as chumaceiras FNL 505A e FNL 505B. Adaptado de (SKF, 2015).....	176
Tabela 29 - Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina (SKF, 2015).....	177
Tabela 30 - Valores das variáveis necessárias ao cálculo da C	178
Tabela 31 – Valores das variáveis necessárias para o cálculo do $T0$	180
Tabela 32 – Valores das variáveis necessárias ao cálculo de Pt	181
Tabela 33 - Perdas de eficiência dos componentes utilizados. Adaptado de (<i>Intralox</i> , 2015).....	181
Tabela 34 - Valores necessários para o cálculo de ω	183
Tabela 35 - Seleção do tamanho da união de veios. Adaptado de (SKF, 2018).	186
Tabela 36 - Exemplos de materiais utilizados para o isolamento térmico (Silva, 2013)	189
Tabela 37 - Valores das variáveis considerados para o cálculo da $RTotal$	194
Tabela 38 - Valores considerados para o cálculo de Tw	195
Tabela 39 - Valores considerados para as variáveis necessárias ao cálculo de Grx	195
Tabela 40 – Valores considerados para o cálculo da Eaq	203
Tabela 41 - Estado inicial e final considerados para o ar interior da câmara de humidificação.	204
Tabela 42 - Valores considerados para o cálculo de Ee	205

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

EPS	Poliestireno expandido
HDPE	Poliétileno de alta densidade
HR	Humidade relativa
IMA	Instituto Monsenhor Airosa
PU	Poliuretano
UE	União europeia
UHMW	Poliétileno de ultra alto peso molecular
W	Humidade específica
XPS	Poliestireno extrudido

SIMBOLOGIA

Símbolo	Designação	Unidade
<i>A</i>	Área de transferência de calor	m ²
<i>ABP</i>	Tração ajustada da correia transportadora	kg/m de largura da correia
<i>ABS</i>	Resistência admissível da correia transportadora em condições operacionais	kg/m de largura da correia
<i>ABSU</i>	Resistência admissível da correia transportadora utilizada	%
<i>B</i>	Largura da correia transportadora	m
<i>BP</i>	Tração da correia transportadora na engrenagem de acionamento	kg/m de largura da correia
<i>C</i>	Capacidade de carga equivalente	N
<i>CG</i>	Classificação geral	—
<i>Cl</i>	Classificação de desempenho do objetivo	—
<i>C_p</i>	Calor específico a pressão constante	(kJ/kg.K)
<i>E</i>	Módulo de elasticidade	kg/mm ²
<i>e</i>	Coefficiente de expansão térmica	mm/m/°C
<i>E_{aq}</i>	Energia necessária para o aquecimento da água	kJ

E_e	Energia de evaporação da água	kJ
E_{total}	Energia despendida para o aquecimento da água do depósito	kJ
F	Força que o cilindro exerce	N
F_a	Carga axial	N
F_w	Coefficiente de atrito entre a guia de desgaste e a correia transportadora	—
F_r	Carga radial	N
g	Aceleração gravítica	m/s ²
Gr	Número de <i>Grashof</i>	—
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção	W/m ² .K
h_{ext}	Coefficiente de transferência de calor por convecção exterior	W/m ² .K
h_f	Entalpia inicial da água	kJ/kg
h_i	Entalpia final do vapor de água	kJ/kg
HR	Humidade relativa	%
I	Momento de inércia	mm ⁴
k	Condutividade térmica do material da superfície onde ocorre o fluxo de calor	W/m.K

k_a	Condutividade térmica do aço inoxidável	W/m.K
k_i	Condutividade térmica do aço inoxidável do XPS	W/m.K
L	Comprimento entre eixos da correia transportadora	m
L_1	Comprimento total da correia no interior da câmara	m
L_{10h}	Vida nominal básica	Horas de trabalho
L_s	Comprimento do eixo entre chumaceiras	mm
M	Carga do produto na correia transportadora	kg/m ²
m	Massa de água que se pretende aquecer	kg
m_{ar}	Massa de ar no interior da câmara de humidificação	kg
m_e	Massa de água evaporada	kg
n	Velocidade de rotação	rpm
Nu	Número de <i>Nusselt</i>	—
P	Carga dinâmica equivalente	N
p	Expoente da fórmula da vida nominal básica	—
P_c	Pressão do ar de alimentação do cilindro pneumático	Pa

PD	Diâmetro do passo da roda dentada	m
p_e	Somatório das perdas de eficiência	%
P_M	Potência do motor de acionamento	W
P_o	Peso ponderado do objetivo	—
Pr	Número de <i>Prandtl</i>	—
P_{res}	Potência das resistências elétricas	kW
P_t	Potência de acionamento da correia transportadora	W
Q	Peso próprio do eixo	kg/m
\dot{Q}	Fluxo de calor que atravessa o sistema	W
\dot{Q}_{cam}	Fluxo de calor entre a câmara de humidificação e o exterior	W
$\dot{Q}_{p. inclinada}$	Fluxo de calor que atravessa a parede inclinada da câmara de humidificação	W
$\dot{Q}_{p. vertical}$	Fluxo de calor que atravessa a parede vertical da câmara de humidificação	W
r	Raio do êmbolo do cilindro pneumático	m ²
Ra	Número de <i>Rayleigh</i>	—
R_{cd}	Resistência térmica de condução	K/W

R_{cda}	Resistência térmica de condução da chapa da parede	K/W
R_{cdl}	Resistência térmica de condução no isolamento térmico	K/W
R_{cv}	Resistência térmica de convecção	K/W
R_{cve}	Resistência térmica de convecção exterior	K/W
R_{Total}	Resistência térmica total do sistema	K/W
S	Fator de resistência	—
S_F	Fator de serviço	—
T	Fator de temperatura	—
T_0	Binário no eixo motor	kg.m
T_1	Temperatura ambiente	°C
T_2	Temperatura de operação da câmara	°C
T_a	Temperatura ambiente	°C
T_{H2O}	Temperatura final da água do depósito	
T_i	Temperatura na parede interior da câmara	°C
T_w	Temperatura da superfície onde ocorre a convecção natural	°C

T_{∞}	Temperatura do fluido em contacto com a superfície de transferência de calor	$^{\circ}\text{C}$
V	Velocidade da correia transportadora	m/min
ν	Viscosidade cinemática do ar	m^2/s
Vd	Valor de desempenho para cada objetivo	—
W	Humidade específica	$\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$
W_{sat}	Humidade específica de saturação	$\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$
W_1	Largura total da correia	m
W_C	Carga da própria correia transportadora	kg/m^2
W_M	Carga total no eixo motor	kg
X	Fator de carga radial	—
x	Espessura da superfície onde ocorre a transferência de calor	m
x_L	Comprimento da parede	m
Y	Fator de carga axial	—

SÍMBOLOS GREGOS

Símbolo	Designação	Unidade
β	Coeficiente de expansão térmica do ar	K ⁻¹
Δ_L	Alteração do comprimento da correia	mm
ΔT	Diferença de temperatura entre os extremos do sistema	K
Δt	Tempo de aquecimento da água do depósito	s
Δ_W	Alteração da largura da correia	mm
ΔW_w	Ganho de humidade específica desde o estado inicial até ao final.	kg _{H2O} /kg _{ar seco}
Δx	Espessura da superfície onde ocorre o fluxo de calor	m
Δx_a	Espessura da chapa de aço inoxidável	m
Δx_i	Espessura do isolamento térmico	m
ω	Velocidade angular das rodas dentadas acopladas ao eixo motor	rad/s

1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo, é realizado um pequeno enquadramento do trabalho elaborado, onde é contextualizado o propósito do mesmo. De seguida, é feita uma breve descrição da empresa onde foi realizado o trabalho, sendo posteriormente clarificados os objetivos da presente dissertação. Por fim, é detalhada a estrutura do relatório.

1.1 Empresa

O Instituto Monsenhor Airosa (IMA) foi fundado em 1869 e atualmente acolhe crianças e jovens desfavorecidos, pessoas portadoras de deficiência e idosas. As instalações do IMA encontram-se localizadas em Braga, na Rua de São Geraldo N° 96.

Nas instalações do IMA existe uma oficina para a produção de hóstias, sendo esta uma das suas fontes de rendimento, para que a instituição possa continuar a sua missão. A oficina de hóstias do IMA é uma referência na produção de hóstias, produzindo hóstias para todo o país. Além das hóstias convencionais, o IMA produz hóstias sem glúten exportando o produto para diversas partes do mundo. Mais recentemente houve uma forte aposta na produção de cacos de hóstia, uma vez que este produto tem uma grande procura no mercado.

1.2 Enquadramento

Inicialmente, as hóstias eram produzidas essencialmente em conventos e pequenos produtores. Com desaparecimento de parte destes locais, o mercado de produção de hóstias cresceu, dando origem a várias fábricas que produzem este produto. Outro fator que contribuiu para o crescimento do mercado da produção de hóstias, é a crescente procura deste produto para o setor gastronómico.

Com um mercado em crescimento e com uma concorrência cada vez mais forte, é necessário dar resposta ao cliente em tempo útil e com um produto de elevada qualidade.

O objetivo do IMA é produzir hóstias com elevada qualidade e a uma elevada cadência, de forma a responder às encomendas dos seus clientes de forma rápida. Com o aumento da cadência de produção, o tempo necessário à produção de hóstias pode ser reduzido, conseguindo-se uma maior disponibilidade para a produção de cacos de hóstia - representados na Figura 1 - sendo este produto muito procurado para fins gastronómicos. A procura de cacos de hóstia é elevada, sendo que o IMA pretende responder a esta procura de forma a conquistar espaço no mercado.



Figura 1 - Cacos de hóstia.

Como será descrito no capítulo 3.2, o processo de humidificação de placas de hóstia é de elevada importância no processo produtivo de hóstias. Este processo, permite diminuir a dureza das placas de hóstia - representadas na Figura 2 - permitindo um corte correto das mesmas.



Figura 2 - Placa de hóstia.

Após o processo de humidificação, as placas são cortadas gerando-se as hóstias. Atualmente, as câmaras de humidificação do IMA – apresentadas no capítulo 3.2 – não têm a capacidade de dar resposta ao processo de corte, prejudicando o processo produtivo. Desta forma, a cadência de produção de hóstias é mais baixa do que seria desejável devido a um processo de humidificação lento. Como consequência, a disponibilidade de tempo para a produção de cacos é reduzida, sendo impossível responder à procura do mercado. Assim, no presente trabalho será estudado o processo de humidificação e serão procuradas soluções para melhoria deste processo.

1.3 Objetivos

O objetivo primordial da presente dissertação passa pela melhoria do processo de humidificação de placas de hóstia, tornando mais eficiente o processo produtivo de hóstias. Desta forma, destacam-se os seguintes objetivos:

- Estudo do processo de humidificação de placas de hóstia;
- Estudo dos equipamentos de humidificação existentes no IMA;
- Identificar problemas associados ao processo de humidificação atual;
- Propor possíveis melhorias ao método de humidificação atual;
- Projetar um equipamento para a humidificação de placas de hóstia.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por 7 capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução ao trabalho, sendo realizada uma breve contextualização do mesmo, bem como a apresentação da empresa onde se realizou a dissertação. Neste capítulo, são ainda descritos os objetivos do trabalho e apresentada a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, onde são descritos alguns conceitos teóricos essenciais à percepção do trabalho realizado.

O terceiro capítulo é composto pelo estado de arte, onde são descritos os produtos confeccionados no IMA, bem como o seu processo produtivo. Neste capítulo é também apresentado um estudo do mercado.

No quarto capítulo é exposto um estudo ao material das placas de hóstia, para compreender a influência de determinadas variáveis no processo de humidificação. No mesmo capítulo é descrito um estudo aos equipamentos de humidificação atualmente utilizados no IMA, detetando-se as suas fragilidades, sendo ainda apresentadas possíveis melhorias para estes equipamentos.

No quinto capítulo é elaborado um projeto conceptual, com vista à procura de soluções para um novo equipamento de humidificação.

O sexto capítulo diz respeito ao projeto detalhado de um novo equipamento de humidificação, sendo apresentados e dimensionados os componentes necessários ao funcionamento do mesmo.

Por fim, no sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado, sendo ainda descritos os trabalhos futuros a realizar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo são apresentadas algumas noções sobre as variáveis influenciadoras do processo de humidificação, servindo de suporte para a compreensão deste processo.

Por outro lado, como se pretende desenvolver um novo equipamento para a humidificação de placas de hóstia, torna-se útil a descrição de algumas das técnicas e métodos utilizados para o desenvolvimento de novos equipamentos.

2.1 Variáveis do processo de humidificação

Variáveis como a temperatura e humidade são importantes no processo de humidificação. Assim, será elaborada uma pequena descrição sobre a relação existente entre ambas, uma vez que serão, por inúmeras vezes, mencionadas no presente estudo.

2.1.1 Humidade

A humidade é uma grandeza física que diz respeito à quantidade de água, no estado gasoso, existente numa determinada porção de ar (ASHRAE, 2013).

Existem duas formas de quantificar a humidade presente no ar: a humidade específica (W) e a humidade relativa (HR). A primeira quantifica a massa de vapor de água presente numa determinada porção de ar, sendo expressa em $g_{H_2O}/kg_{ar\ seco}$. A segunda, é relativa à relação entre a quantidade de vapor de água presente numa porção de ar e a quantidade máxima de vapor, que essa porção pode conter, sendo a HR expressa em percentagem (ASHRAE, 2013).

As humidades, relativa e específica, podem ser relacionadas pela equação (1).

$$HR = \frac{W}{W_{sat}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

HR – Humidade relativa (%);

W – Humidade específica ($g_{H_2O}/kg_{ar\ seco}$);

W_{sat} – Humidade específica de saturação ($g_{H_2O}/kg_{ar\ seco}$).

A humidade específica de saturação (W_{sat}), corresponde à quantidade máxima de vapor de água que é possível conter numa determinada porção de ar. O valor da W_{sat} , é dependente da temperatura do ar (ASHRAE, 2013).

Pela equação (1), verifica-se que, quando o valor de W iguala o valor de W_{sat} , a HR é de 100 %, podendo-se dizer que o ar se encontra saturado.

2.1.2 Relação entre temperatura e humidade específica

Pode-se afirmar que quanto maior for a temperatura do ar, maior é a sua capacidade de conter vapor de água, isto é, maior é a W_{sat} (ASHRAE, 2013). No gráfico psicrométrico, representado na Figura 3, é possível verificar a relação entre a temperatura e a W .

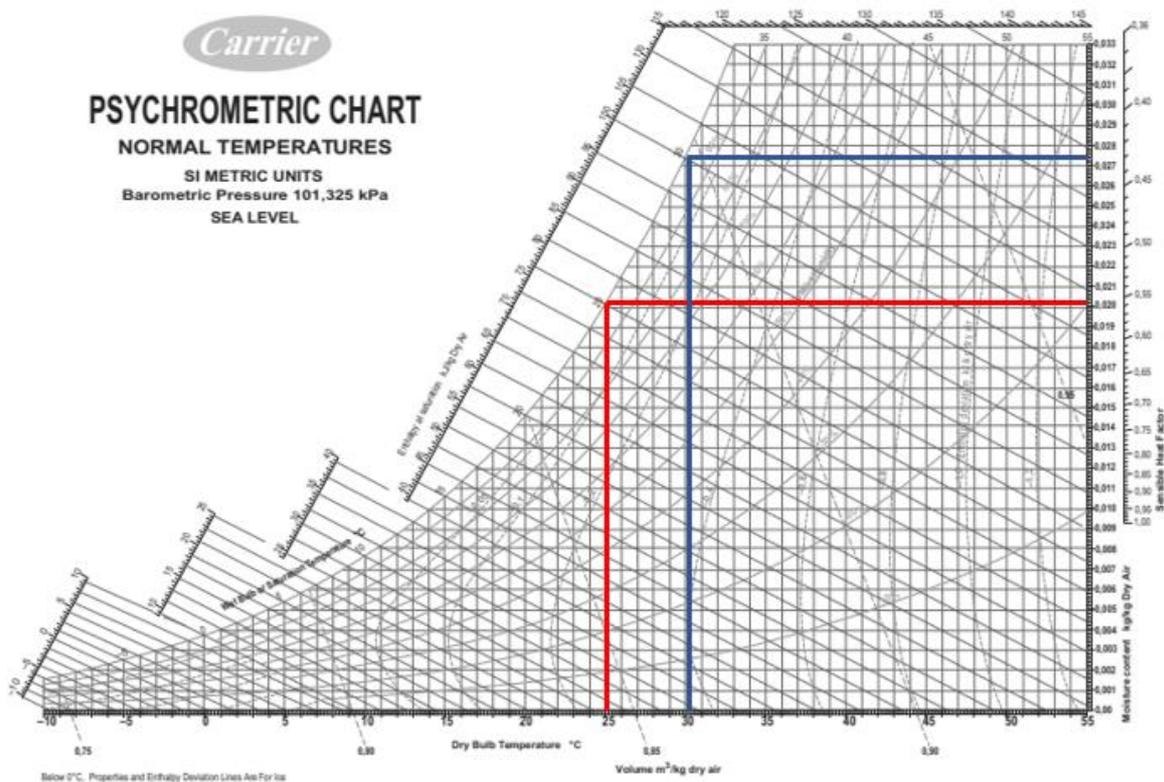


Figura 3 - Gráfico psicrométrico (Carrier, s.d.).

No gráfico psicrométrico, presente na Figura 3, e como o auxílio linhas marcadas a cor azul e vermelha, verifica-se que, para a mesma HR, o ar a uma temperatura superior apresenta uma maior quantidade de vapor de água, ou seja, um valor de W superior.

2.2 Teoria do projeto

Com o intuito de auxiliar o projetista no processo de projeto de novos equipamentos, foram desenvolvidos diversos modelos. Existem essencialmente dois grandes grupos de modelos: os modelos descritivos e os modelos prescritivos. Os modelos descritivos procuram descrever a sequência de atividades que compõem o processo de projeto de um novo produto. Os métodos prescritivos exploram

de forma mais aprofundada as diferentes etapas constituintes do projeto, tentando descrever o modelo de atividades mais apropriado (Cross, 2008).

2.2.1 Modelos descritivos

Os modelos prescritivos partem geralmente do desenvolvimento de uma solução na formulação do problema. Na Figura 4 é possível visualizar o modelo de 4 etapas, que explica de forma sucinta as etapas gerais dos modelos descritivos.

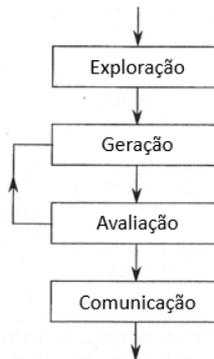


Figura 4 – Modelo de 4 etapas. Adaptado de (Cross, 2008).

A etapa inicial de exploração diz respeito à análise do problema, sendo responsável por definir o problema ao qual se pretende dar resposta. A fase seguinte diz respeito à geração de uma ideia conceptual que consiga responder ao problema inicialmente definido. Na fase de avaliação verifica-se se os objetivos e especificações da solução conceptual encontrada são cumpridos, respondendo ao problema inicial. Caso a avaliação da solução encontrada não corresponda aos objetivos do projeto volta-se para a etapa da geração, onde é criada uma nova solução ou se altera a solução inicial, para que se consigam cumprir os objetivos e especificações do projeto. A etapa seguinte corresponde à fase de comunicação onde a solução encontrada passa para a etapa de fabrico (Cross, 2008).

O modelo de quatro etapas, apresentado na Figura 4, é um modelo simplificado que apenas representa as etapas gerais de um projeto. Outros modelos foram apresentados por diversos autores, como é o exemplo do modelo apresentado por *French*, que é um modelo mais detalhado do processo de criação de novos produtos. Na Figura 5 é possível consultar o fluxograma do modelo desenvolvido por *French* (Cross, 2008).

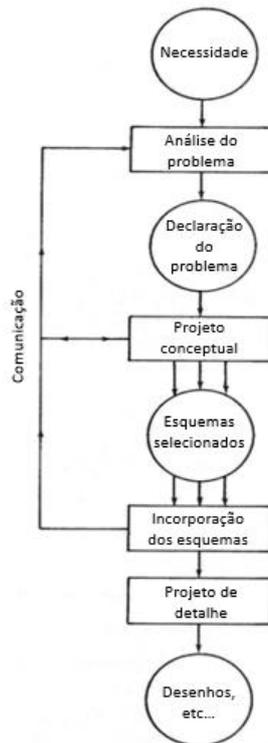


Figura 5 - Modelo de French. Adaptado de (Cross, 2008).

A primeira etapa diz respeito à necessidade, isto é, ao desenvolvimento de uma ideia. De seguida ocorre uma análise do problema onde se estuda a viabilidade da ideia concebida. Na etapa posterior faz-se o projeto conceptual onde são criadas soluções numa fase embrionária para responder ao problema inicial. No caso de serem concebidas várias ideias no projeto conceptual, é selecionada aquela que responde melhor à necessidade. A etapa seguinte diz respeito ao desenvolver da solução encontrada, de onde resultam uma serie de desenhos e esquemas dessa solução. Posteriormente é executado o detalhamento do projeto, onde os vários esquemas da solução encontrada são detalhados e definidos. Após o detalhamento dos esquemas são executados os desenhos detalhados que permitam o fabrico do equipamento projetado. É importante referir que existe uma constante comunicação entre as etapas da análise do problema, do desenho conceptual e do trabalho dos esquemas para que não sejam encontradas incompatibilidade entre essas etapas (Cross, 2008).

2.2.2 Modelos prescritivos

Os modelos prescritivos tentam encorajar os projetistas a adotar formas de trabalho ainda mais aperfeiçoadas, oferecendo um procedimento sistemático. Estes modelos acentuam a importância de um trabalho mais analítico antes da chegada a uma solução conceptual, de forma a garantir que o problema é totalmente percebido e que nenhum elemento importante é esquecido (Cross, 2008).

Os modelos prescritivos tendem a seguir uma estrutura básica assente em três grandes etapas (Cross, 2008):

- **Análise** – Nesta etapa ocorre uma listagem de todos os requisitos necessários ao projeto e a redução destes a um conjunto de especificações de desempenho;
- **Síntese** – Nesta fase determinam-se um conjunto de soluções para cada uma das especificações individuais, produzindo-se assim subsoluções para cada um dos subproblemas. As subsoluções combinadas originam a solução geral para o problema inicial;
- **Avaliação** – Neste passo verifica-se se as soluções geradas cumprem os requisitos de desempenho, manufatura e vendas, antes da solução final ser selecionada.

Outros modelos mais complexos foram desenvolvidos, no entanto todos eles estão assentes nestas três etapas gerais.

2.2.3 A metodologia do projeto

A metodologia de projeto consiste num conjunto de técnicas e procedimentos, utilizados pelos projetistas no processo de projeto de um novo produto. A metodologia do projeto pode ser dividida essencialmente em dois grandes grupos de métodos: métodos criativos e métodos racionais (Cross, 2008).

Métodos criativos

Ao longo dos anos foram criados diversos métodos para a estimulação do pensamento criativo. Estes métodos procuram aumentar o fluxo de ideias, de forma a ampliar o âmbito da procura de soluções. Assim, estes métodos procuram promover a criação de uma vasta quantidade de ideias para que a probabilidade de criação de uma boa ideia seja maior. São diversos os métodos criativos, alguns exemplos são (Cross, 2008):

- **Brainstorming** – É uma atividade de grupo onde se pretende a captura de ideias individuais sendo estas potenciadas pelos restantes elementos do grupo;
- **Sinética** – É uma atividade de grupo, criada por Gordon (1957), onde o grupo trabalha em conjunto na busca de uma solução. Neste método utilizam-se analogias para a criação de novas soluções;
- **TRIZ** – É um método criado por Genrich e Altshuller (1946) que utiliza várias ferramentas na criação de novos conceitos.

Os métodos criativos são técnicas utilizadas para auxiliar à criação de ideias, no entanto, as ideias podem surgir de forma espontânea sem a utilização de nenhum destes procedimentos. Os métodos criativos apenas auxiliam à criação das ideias, para que não haja a total dependência de uma ideia espontânea no processo de desenvolvimento de um projeto (Cross, 2008).

Métodos racionais

Os métodos racionais têm objetivos semelhantes aos objetivos criativos, no entanto utilizam uma abordagem sistemática. Por esta razão estes métodos são os que mais vulgarmente definem a metodologia de projeto (Cross, 2008).

Existem diversos métodos que abordam os diversos aspetos do projeto, desde a clarificação do problema até ao projeto de detalhe. Na Figura 6 está representado um fluxograma onde se verificam as etapas utilizadas na execução de um projeto utilizando os métodos racionais (Cross, 2008).

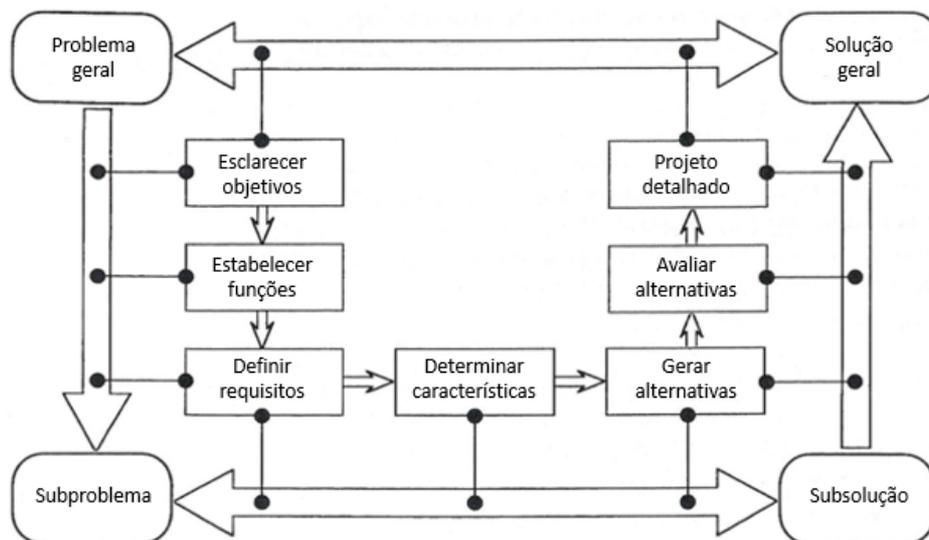


Figura 6 - Etapas de um projeto pela utilização de métodos racionais. Adaptado de (Cross, 2008).

Como se pode verificar no fluxograma representado na Figura 6, os métodos racionais utilizados dividem o problema geral em subproblemas, para os quais são criadas subsoluções que em conjunto geram uma solução geral que resolve o problema inicial. Para possibilitar o fluxo descrito é utilizado um conjunto de métodos racionais, que serão descritos de seguida.

1) Estabelecimento dos objetivos do projeto

Quando um projetista se depõe com a necessidade de criação de um novo produto, é pouco provável que os objetivos sejam apresentados de forma clara. Assim torna-se necessário utilizar um

método que clarifica e estabeleça os objetivos do projeto. O método da árvore de objetivos é um dos mais utilizados para o estabelecimento e clarificação de objetivos (Cross, 2008).

Inicialmente forma-se uma lista onde são identificados os objetivos do projeto. Os objetivos são ordenados de forma hierárquica onde se explicitam os objetivos prioritários e os secundários. De seguida forma-se um diagrama, na forma de árvore, tendo em conta o grau hierárquico dos objetivos (Cross, 2008). Na Figura 7 é representado um exemplo de uma árvore de objetivos.

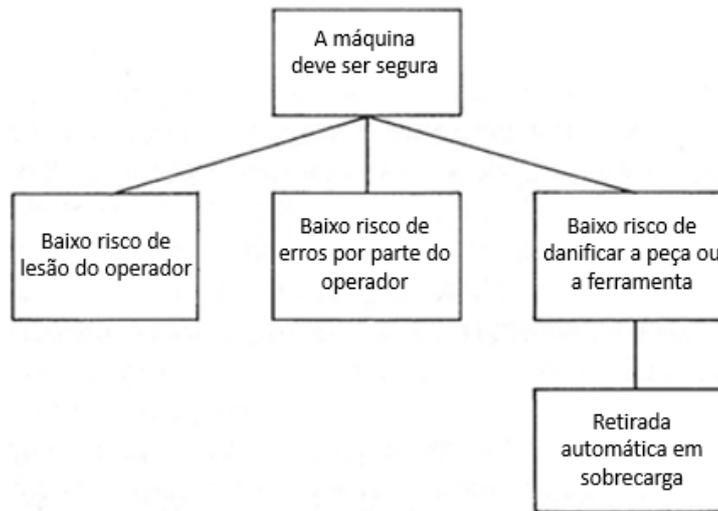


Figura 7 - Exemplo de uma árvore de objetivos. Adaptado de (Cross, 2008).

A árvore de objetivos, apresentada na Figura 7, clarifica o objetivo principal no topo do diagrama, onde são ligados os objetivos secundários que representam a forma de atingir o objetivo superior hierarquicamente.

2) Estabelecimento da estrutura de funções do produto

Antes de se considerar qualquer tipo de solução, é importante definir quais as funções que o equipamento, que se pretende projetar, tem de cumprir (Cross, 2008).

Inicialmente deve ser definida qual a função primordial do equipamento a projetar e considerar essa função como uma “caixa negra”, onde são consideradas apenas as entradas e as saídas dessa mesma caixa, isto é o ponto inicial do processo e o resultado do processo na forma de materiais, energia e outras informações. Na Figura 8 é possível visualizar o diagrama de blocos, em forma de “caixa negra”, dum equipamento para a produção de chá.

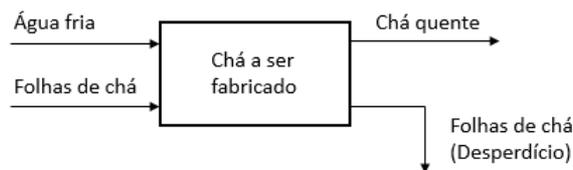


Figura 8 - Caixa preta de um equipamento para a produção de chá (Cross, 2008).

Posteriormente a “caixa preta” é preenchida pelas diversas subfunções necessárias à execução da função principal. Cada subfunção tem entradas e saídas próprias, permitindo que as várias subfunções comuniquem entre si (Cross, 2008). Na Figura 9 é possível visualizar um exemplo de um diagrama de blocos de funções, com vista ao projeto de uma máquina para fazer chá.

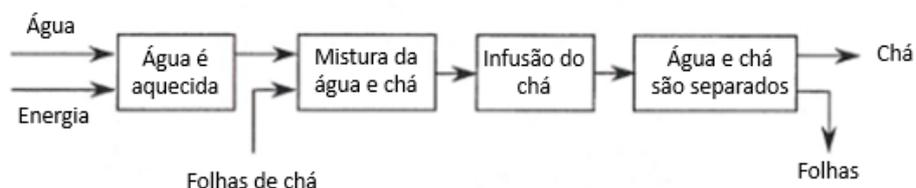


Figura 9 - Exemplo de um diagrama de blocos de funções para um equipamento de fazer chá. Adaptado de (Cross, 2008).

Do processo de concepção do diagrama de blocos de funções podem surgir diferentes diagramas, uma vez que existem diversas formas de se chegar à função pretendida, isto é, pode-se chegar à função principal através de diferentes subfunções.

3) Estabelecimento das especificações de desempenho

A resolução de problemas conceptuais ocorre dentro de determinados limites que acabam por restringir possíveis soluções que poderiam ser pensadas. As especificações de desempenho são características que devem ser cumpridas para que a solução final seja aceitável. Exemplos bastante comuns são: o preço, as dimensões, o peso, a potência e requisitos de segurança ou legais. Assim torna-se necessário esclarecer as especificações de desempenho que se pretendem ver cumpridas na solução final. Ao serem estabelecidas especificações de desempenho criam-se os limites do problema, pelo que as especificações de desempenho devem ser o mais exatas possíveis para que nem se descartem soluções que poderiam ser aceitáveis, nem se criem soluções que não cumprem os requisitos exigidos (Cross, 2008).

Torna-se necessário fazer uma listagem das especificações de desempenho pretendidas para a solução final. Nesta lista é feita uma distinção entre as especificações que são efetivamente exigidas e aquelas que são apenas desejáveis de serem cumpridas. O estabelecimento das especificações de

desempenho pode depois ser utilizado para a avaliação da solução final, verificando-se se as mesmas são ou não cumpridas (Cross, 2008).

4) Criação de soluções alternativas

A criação de soluções alternativas é um aspeto essencial na conceção de um novo produto, no entanto o que acontece na maioria das vezes é o redesenho, aperfeiçoamento e otimização de um produto já existente. É neste âmbito que surgem os mapas morfológicos, que são uma ferramenta muito utilizada para combinar diferentes soluções já existentes, na procura de uma nova solução (Cross, 2008).

Inicialmente deve ser feita uma listagem de subfunções necessárias ao novo produto. Não deve, nesta fase, haver um foco nos componentes físicos, mas sim naquilo que se pretende que os componentes executem. De seguida são procuradas subsoluções para as subfunções selecionadas, nesta fase devem ser propostos os componentes físicos que fazem parte da subsolução. Posteriormente é desenhado o mapa morfológico em que cada linha representa uma subfunção onde são representadas as subsoluções propostas. Por fim é feita uma análise das possíveis combinações das subsoluções que são compatíveis dando origem a uma solução geral (Cross, 2008). Na Figura 10 está representado um exemplo de um mapa morfológico para a conceção de uma máquina para a colheita de batatas.

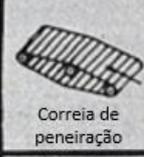
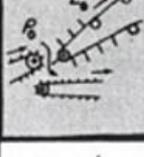
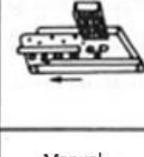
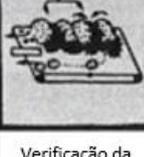
Subsoluções Subfunções		Subsoluções			
		1	2	3	4
1	Elevador	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão	 Rolo de pressão
2	Peneirar	 Correia de peneiração	 Grade de peneiração	 Tambor de peneiração	 Roda de peneiração
3	Separação de folhas			 Arrancador	...
4	Separação de pedras				
5	Seleção de batatas	Manual	Por fricção (plano inclinado)	Verificação do tamanho	Verificação da massa
6	Coletar	Recipiente basculante	Tapete rolante	Dispositivo de enchimento de sacos	...

Figura 10 - Exemplo de um mapa morfológico para o projeto de um equipamento para colheita de batatas. Adaptado de (Cross, 2008).

5) Avaliação de alternativas

Após a criação de diversas soluções para o problema inicial, torna-se essencial a escolha da melhor alternativa. Em muitas situações a escolha da solução é feita por palpite ou intuição, baseadas na experiência do projetista, no entanto é preferível recorrer a um método racional que auxilie na escolha da melhor alternativa (Cross, 2008).

Nesta etapa de avaliação de alternativas podem ser utilizadas informações provenientes de fases anteriores do projeto, como o método das especificações de desempenho e o método da árvore de objetivos. Um procedimento muito utilizado é o método dos objetivos ponderados. Este método atribui um peso a cada objetivo, que é maior quanto maior for a importância dos objetivos (Cross, 2008). Na Figura 11 é apresentada uma árvore de objetivos na qual foi aplicado o método dos objetivos ponderados.

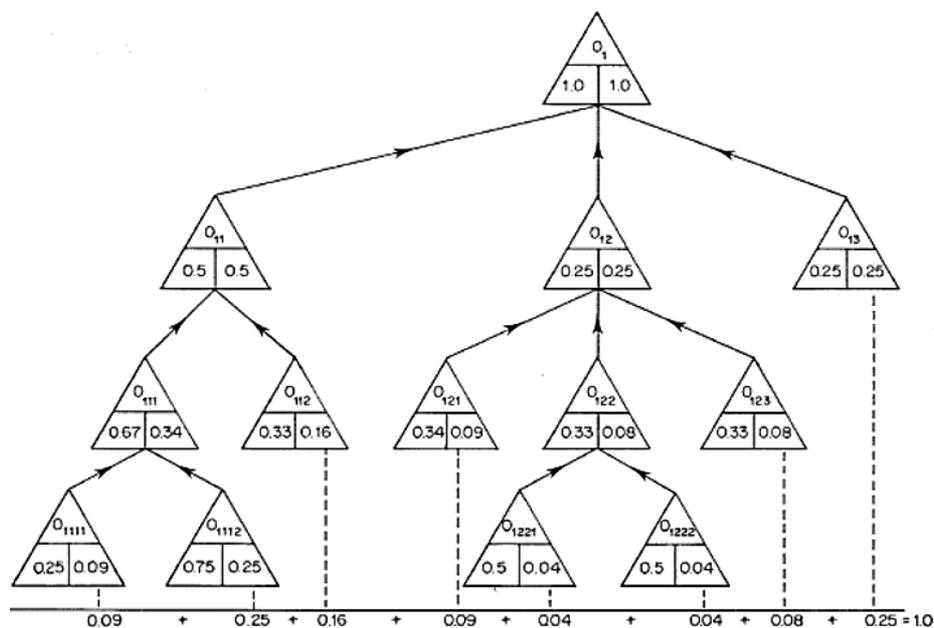


Figura 11 - Aplicação do método dos objetivos ponderados. Adaptado de (Cross, 2008).

Posteriormente faz-se uma atribuição de pesos relativos aos objetivos. A etapa seguinte passa por estabelecer os parâmetros de desempenho de cada solução para cada objetivo, ou seja, é atribuída uma nota ao desempenho de cada uma das soluções em cada objetivo do projeto (Cross, 2008).

O último passo é a obtenção de uma classificação de utilidade para cada uma das alternativas, multiplicando-se o peso de cada objetivo com os parâmetros de desempenho da solução em cada objetivo, somando-se estes resultados obtém-se a classificação de utilidade da solução. A solução com melhor classificação de utilidade é a escolhida para dar resposta ao problema inicial (Cross, 2008). Na

Figura 12 é representado um exemplo da avaliação de soluções utilizando o método dos objetivos ponderados.

Critério de projeto		Peso (P)	Projeto 1		Projeto 2		Projeto 3	
			D	U	D	U	D	U
1 Custo								
	Materiais	6	8,5	0,51	5,5	0,33	7	0,42
	Vedantes	2	8	0,16	8	0,16	8	0,16
	Rolamentos	4	9	0,36	5	0,2	8	0,28
	Anilhas	1	7,5	0,07	7,5	0,07	7,5	0,07
	Embalagem	2	9	0,18	9	0,18	9	0,18
	Parafusos	1	9	0,09	9	0,09	8	0,08
	Trabalho	6	8	0,48	5	0,3	7,5	0,45
	Ferramentas e equipamento	6	8	0,48	5	0,3	7,5	0,45
	Custos indiretos	20	8,5	1,7	7	1,4	7,5	1,5
	Marketing	2	7	0,14	8	0,16	9	0,18
2 Performance								
	Vedação	9	8	0,72	8	0,72	8	0,72
	Suavidade	9	5	0,45	9	0,81	8,5	0,76
	Alinhamento	6	5	0,3	7	0,42	8	0,48
	Formato de crescimento	2	8	0,16	8	0,16	8	0,16
	Manutenção	4	8	0,32	8	0,32	8	0,32
3 Manufatura								
	Facilidade	5	8,5	0,42	7	0,35	7,5	0,37
	Tempo	5	9	0,45	4,5	0,22	7,5	0,37
	Montagem	5	9	0,45	6,5	0,32	8	0,4
4 Força								
		5	8	0,4	9,5	0,47	9,5	0,47
Classificação de utilidade				7,84		6,98		7,82

P – Peso de cada objetivo em percentagem **D** – Desempenho de cada solução; **U** – Classificação de utilidade para cada solução (P×D).

Figura 12 - Exemplo da avaliação de soluções através do método dos objetivos ponderados. Baseado no exemplo de (Cross, 2008).

3 ESTADO DA ARTE

No presente capítulo são descritos os produtos confeccionados no IMA, bem como o seu processo produtivo, permitindo compreender a importância do processo de humidificação na produção de hóstias.

Por outro lado, é apresentado um estudo do mercado, de forma a explorar as soluções já existentes no que diz respeito ao processo de humidificação de placas de hóstia.

3.1 Produtos confeccionados no IMA

Na oficina de hóstias do IMA são confeccionados essencialmente 2 produtos diferenciados: hóstias e os cacos de hóstia.

A massa das hóstias é composta por farinha de trigo e por água. Como se pode verificar na Figura 13, as hóstias têm cinco tamanhos diferentes: 3,5, 8, 12, 14 e 18 cm.



Figura 13 - Diferentes tamanhos das hóstias produzidas no IMA.

Para além das hóstias mais convencionais, são produzidas hóstias sem glúten. Este produto é produzido com um tipo de farinha sem glúten, pensando nos consumidores intolerantes ao mesmo. As hóstias sem glúten têm 3,5 cm de diâmetro.

Os cacos de hóstia são produzidos com a mesma massa das hóstias convencionais, sendo que o seu tamanho é variável, uma vez que o seu corte é executado manualmente. Na Figura 14 encontram-se representados os cacos de hóstia.

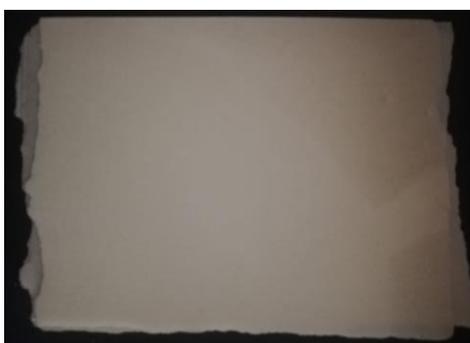


Figura 14 - Cacos de hóstia.

3.2 Processo produtivo do IMA

Na oficina do IMA são fabricados 2 tipos de produtos, as hóstias e os cacos de hóstia. As primeiras etapas de produção são as mesmas, no entanto o processo de produção das hóstias é provido de mais operações.

Neste capítulo será feita uma descrição do processo de produção de hóstias e cacos, tendo em conta todas as etapas e duração de cada uma delas.

O processo de produção de hóstias é composto basicamente por 6 etapas, sendo que o processo de produção dos cacos é feito em apenas 4. As etapas de produção de hóstias consistem: na produção da massa, produção de placas, humidificação de placas, corte das placas, verificação da qualidade e embalagem das hóstias. O fabrico dos cacos é composto: pela produção da massa, produção de placas, corte dos cacos e embalagem dos cacos. Assim, o processo de fabrico dos cacos é semelhante ao processo de fabrico das hóstias, diferenciando apenas nas últimas etapas. Na Figura 15 é apresentado um organigrama do processo produtivo de hóstias e cacos.

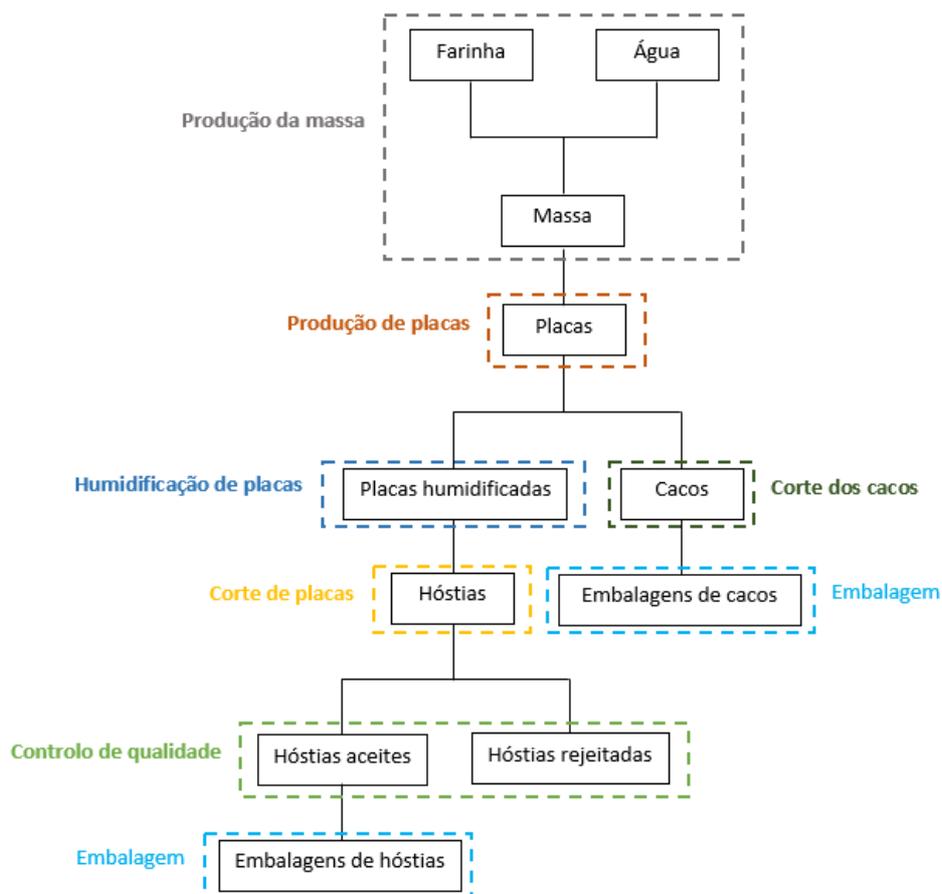


Figura 15 - Organigrama do processo produtivo.

De seguida serão descritas todas as etapas para a produção de hóstias e cacos.

3.2.1 Produção da massa

A massa utilizada para produzir as hóstias é composta por apenas dois ingredientes: água e farinha de trigo corrigida. São utilizadas 3 porções de água e 4 porções de farinha.

Neste processo a água é misturada com a farinha e é posteriormente batida, com uma bateadeira industrial representada na Figura 16, sendo que a decisão da conclusão do processo é tomada pelo operador. Assim, a qualidade da massa depende da experiência do operador, como o processo é feito por operadores diferentes, a massa não é produzida de forma uniforme.



Figura 16 - Bateadeira industrial utilizada na produção de massa.

A produção de massa não é feita de forma contínua durante o dia, normalmente é produzida 2 vezes por dia, uma de manhã no início dos trabalhos e outra ao meio da manhã, sendo o suficiente para alimentar a fábrica durante um dia. Num dia de trabalho são despendidos cerca de 45 minutos nesta tarefa, dependendo do operador.

De seguida a massa é inserida, quando necessário, no depósito de cada máquina de produção de placas de hóstia.

3.2.2 Produção das placas

A etapa seguinte passa pela produção de placas de hóstia, que resultam da cozedura da massa numa prensa. Na Figura 17 encontram-se representadas as placas de hóstia.



Figura 17 - Placas de hóstia

A máquina representada na Figura 18, é uma das 3 máquinas existentes para a produção de placas de hóstia. Cada máquina conta com 4 postos que funcionam de forma cíclica. O ciclo começa quando um bico insere a massa sobre uma superfície metálica sendo que, de seguida o mecanismo roda 90° e uma superfície metálica superior compacta a massa contra a superfície metálica inferior, dando forma à placa de hóstia, ao mesmo tempo que a aquece de forma a cozer a massa. A massa coze nas restantes posições até chegar à posição inicial onde a placa de hóstia pode ser retirada já devidamente cozida.



Figura 18 - Máquina para a produção das placas de hóstia.

A temperatura de cozedura anda por volta dos 150 °C, no entanto durante o dia as máquinas não conseguem manter esta temperatura constante, podendo haver oscilações. Quando a temperatura desce para valores muito abaixo do descrito, pode ocorrer a incorreta cozedura da massa, ficando algumas zonas da placa por cozer.

Cada placa de hóstia demora aproximadamente 1 minuto e 5 segundos a ser produzida, sendo que este tempo pode ser controlado pelo operador, isto é, o operador pode controlar a velocidade do processo, no entanto, se a velocidade for alterada para valores superiores, ocorrem problemas de cozedura incorreta das placas de hóstia.

Após a produção, as placas ficam a arrefecer e secar ao ar ambiente por tempo indeterminado, seguindo para humedificação apenas quando é necessário.

3.2.3 Corte dos cacos

Parte das placas de hóstia produzidas são utilizadas para confeccionar cacos, sendo que as restantes seguem o processo para a produção de hóstias.

Produzidas as placas de hóstia, a etapa seguinte para a fabrico de cacos, passa pelo corte. Este processo é feito de forma totalmente manual onde as placas são partidas manualmente em 4 partes semelhantes.

3.2.4 Humedificação das placas

A etapa seguinte da produção de hóstias passa pela humedificação das placas. Este processo é de grande importância, uma vez que é necessário aumentar a humidade das placas para que estas, no processo de corte, não sejam demasiado quebradiças, o que faria com que o corte não fosse bem executado e ocorresse um grande desperdício de material.

No IMA existem duas câmaras de humedificação: uma na forma de armário (câmara de humedificação 1) e a outra que resulta do aproveitamento de uma pequena arrecadação (câmara de humedificação 2).

A câmara de humedificação 1, representada na Figura 19, tem seis compartimentos compostos por quatro estantes cada, onde são colocados suportes que permitem a introdução de placas de hóstia na vertical, obtendo-se a capacidade de humedificar 288 placas simultaneamente. A temperatura e a humidade são proporcionadas por 3 resistências elétricas submersas em água com a potência de 1 200 W cada. O calor fornecido à água faz com que esta evapore aumentando assim a humidade e temperatura da câmara.



Figura 19 - Câmara de humidificação 1.

A temperatura gerada pode ser controlada pelo operador, controlando a temperatura do banho de água através de um termostato, utilizando-se normalmente uma temperatura que anda por volta dos 50 °C. É de referir que o fornecimento de água é feito por uma mangueira cuja válvula é aberta no início da atividade, existindo uma boia que fecha o fluxo de água quando esta atinge determinado nível. O tempo de permanência das placas de hóstia, utilizando a temperatura da água de 50 °C, é em média de 30 minutos. Este tempo não é controlado, sendo que as placas de hóstia são retiradas da câmara quando o operador, por experiência, decide que as placas estão devidamente humidificadas. Desta forma, o processo é dependente da experiência do operador, não ocorrendo uma humidificação uniforme entre todas as placas.

A câmara de humidificação 2, representada na Figura 20, é um pequeno compartimento, onde, no solo, existem 4 pequenos fogões elétricos com panelas de água a ferver, para a produção de vapor. Esta câmara resulta de uma improvisação, realizada devido à insuficiente cadência de produção da câmara de humidificação 1. Nesta câmara as placas são inseridas na horizontal em 6 estantes. A humidificação na horizontal revela-se mais vantajosa do que na vertical, no que diz respeito ao formato das placas, após o processo de humidificação, como será explicado posteriormente. O tempo de humidificação nesta câmara é de aproximadamente 1 hora. As placas são retiradas da câmara quando o operador considera que as placas se encontram corretamente humidificadas, sendo o processo dependente da experiência do operador.



Figura 20 - Câmara de humidificação 2.

3.2.5 Corte das placas

Com as placas de hóstia devidamente humidificadas, o passo seguinte passa pelo seu corte, obtendo-se hóstias de diversos tamanhos.

O corte das placas para a produção de hóstias de 3,5 cm é executado numa máquina automática, representada na Figura 21, projetada para o efeito. O processo inicia-se com a colocação manual de um lote de placas na mesa da máquina. De seguida carregando no botão *start*, as placas são movimentadas numa mesa automática xy e cortadas por uma ferramenta de corte, que se movimenta verticalmente efetuando o corte. A cada corte efetuado, existe um mecanismo que retira as placas para um depósito, através do vácuo. A máquina corta inicialmente uma linha de 9 furos, sendo que troca automaticamente de linha fazendo novamente 9 furos. O processo repete-se 6 vezes, ou seja, cada placa contém 6 linhas de 9 furos, perfazendo 54 furos por placa.



Figura 21 - Máquina de corte automática.

A máquina corta lotes de cerca de 40 placas, sendo que este número pode variar consoante alguma variação na espessura das placas. Em cada placa são efetuados 54 furos, correspondendo a 54

hóstias produzidas por cada placa. O corte de cada lote demora 3 minutos a executar. Esta máquina tem a capacidade de cortar cerca de 720 hóstias por minuto.

Para além desta máquina de corte, existe ainda uma máquina mais antiga, representada na Figura 22, que tem a capacidade de cortar cerca de 18 placas com 54 furos por placa, demorando cerca de 1 minuto e 50 segundos para executar o corte, o que perfaz aproximadamente 530 hóstias por minuto. No entanto esta máquina precisa de um operador durante todo o processo de corte, uma vez que tem a capacidade de cortar uma linha, sendo necessário que operador mude a posição das placas para a máquina proceder ao corte da linha seguinte. Assim, o tempo de corte é dependente do operador. Esta máquina apenas é utilizada em caso de necessidade, quando ocorre algum problema com a máquina de corte automática



Figura 22 - Máquina de corte antiga.

O corte das hóstias de 8, 12 e 14 cm, é executado por equipamentos de corte que são compostos por um punção, provido de uma ferramenta de corte, que é controlado por um pedal que aciona um sistema pneumático. Estes equipamentos cortam uma hóstia de cada vez. O tempo de corte depende por isso do operador. Na Figura 23 encontra-se representado o equipamento de corte de hóstias de 8 cm, sendo os restantes tamanhos cortados em equipamentos semelhantes, diferenciando apenas no diâmetro do punção.



Figura 23 - Equipamento de corte de hóstias de 8 cm.

As hóstias de 18 cm são cortadas de forma completamente manual, com um molde e um bisturi.

O processo de corte das hóstias de 8, 12, 14 e 18 cm, têm uma cadência baixa, no entanto, isso não representa um problema, visto que a necessidade da sua produção é bastante inferior, em comparação com as hóstias de 3,5 cm.

3.2.6 Controlo de qualidade

Esta etapa consiste em verificar se as hóstias têm a qualidade necessária para poderem ser comercializadas. Cada uma das hóstias é observada por um operador, que verifica se as hóstias apresentam defeitos. Caso as hóstias tenham algum defeito, não são comercializadas.

3.2.7 Embalagem

A embalagem, tanto de cacos, como de hóstias, é feita manualmente. As hóstias e cacos são colocados em embalagens próprias para o efeito, e são posteriormente fechadas por um mecanismo manual.

As hóstias de 3,5 cm são colocadas em embalagens com capacidade para 200 ou 500 hóstias. Os restantes tamanhos são colocados em embalagens com 10 unidades cada. Os cacos são introduzidos em embalagens de 16 unidades.

3.3 Estudo do mercado

A indústria da produção de hóstias é recente, sendo grande parte da sua produção bastante artesanal. Este facto, leva a uma curta existência de soluções no mercado, tendo em vista o processo de humedificação de hóstias.

3.3.1 Câmara de humidificação da *Maq Company*

As câmaras de humidificação existentes no mercado, correspondem a pequenos armários, que são providos de estantes onde são colocadas as placas de hóstia. Exemplo disso é a câmara de humidificação de placas de hóstia da *Maq Company* representada na Figura 24.



Figura 24 - Câmara de humidificação da *Maq Company* (*Maq Company*, s.d.).

A câmara de humidificação, representada na Figura 24, é provida de estantes onde são colocadas as placas de hóstia na horizontal, estando disponível modelos com 6, 12 ou 24 estantes. O modelo da *Maq Company* tem um quadro elétrico que permite regular o funcionamento da câmara. O vapor de água é gerado por resistências elétricas submersas em água como se verifica pela Figura 25 (*Maq Company*, s.d.).



Figura 25 - Resistências elétricas para geração de vapor (*Maq Company*, s.d.).

3.3.2 Câmara de humidificação 1 (IMA)

A câmara de humidificação 1, que encontra representada na Figura 26, é essencialmente constituída por um armário, produzido em aço inoxidável, que contém 6 portas. Tanto as paredes do armário, como as portas do mesmo, têm um isolamento térmico de 2 cm em lã de rocha.



Figura 26 - Câmara de humificação 1.

Para colocar as placas de hóstia no interior da câmara de humificação 1 são utilizados suportes, representados na Figura 27, que permitem a colocação vertical das placas no interior da câmara. Cada suporte tem a capacidade para 12 placas de hóstia e a câmara tem a capacidade para introduzir 24 suportes com placas de hóstia, permitindo assim humificar simultaneamente 288 placas de hóstia.



Figura 27 – Suportes para as placas de hóstia.

Por sua vez, os suportes são apoiados em prateleiras existentes no interior de cada uma das portas. Em cada porta existem 4 prateleiras para colocar os suportes de placas de hóstia como se verifica na Figura 28.



Figura 28 - Colocação dos suportes das placas nas prateleiras da câmara.

A geração de vapor ocorre na zona inferior da câmara de humidificação, onde existe uma espécie de depósito de água, provido de resistências elétricas, que promovem o aquecimento da água, e por sua vez a evaporação da mesma, gerando assim vapor de água que humidifica e aquece o ar interior da câmara de humidificação. Esta configuração permite que o ar interior da câmara tenha uma humidade relativa sempre próxima do 100 %, uma vez que a geração de vapor ocorre continuamente ao longo do tempo.

Para compensar a redução do nível da água no depósito, existe uma válvula de boia, ligada à rede de água do IMA, que permite a entrada de água no depósito quando é atingido um determinado nível definido. Na Figura 29 é possível visualizar a válvula boia utilizada, bem como parte de uma das 4 resistências elétricas, de 1 200 W cada.



Figura 29 - Depósito da câmara de humificação 1 e respetivos componentes constituintes.

Como se verifica na Figura 29, existe um sensor de temperatura no interior do depósito. Este sensor tem a função de medir a temperatura da água, para possibilitar o controlo da mesma, através de um *display*, existente no quadro elétrico da câmara, que permite a alteração da temperatura pretendida para a água do depósito. Atualmente é utilizada uma temperatura da água de 50 °C.

Na Figura 30 é apresentado o quadro elétrico da câmara de humificação 1, onde para além de se permitir a alteração da temperatura da água do depósito, é possível ligar e desligar o equipamento. O quadro elétrico permite estabelecer 2 modos de funcionamento para a câmara de humificação: o modo automático e o modo manual. No modo manual, a câmara é ligada e desligada manualmente. No modo automático, a câmara liga e desliga automaticamente, consoante um horário definido.



Figura 30 - Quadro elétrico da câmara de humificação 1.

Com a temperatura utilizada atualmente e com a humidade relativa gerada no interior da câmara, o tempo de humificação das placas é de cerca de 30 minutos.

4 ESTUDO AO MATERIAL DAS PLACAS DE HÓSTIA E DA CÂMARA DE HUMIDIFICAÇÃO

Neste capítulo serão estudados o material das placas de hóstia e a câmara de humidificação 1. Para tal, serão executados diversos ensaios experimentais. O objetivo do estudo do material das placas de hóstia, passa pela compreensão do comportamento do mesmo perante as principais variáveis do processo de humidificação. Por outro lado, no estudo da câmara de humidificação 1, pretende-se clarificar e compreender a origem dos seus principais inconvenientes, de forma a melhorar o equipamento com a proposta de pequenas alterações do mesmo.

4.1 Estudo ao material das placas de hóstia

No estudo ao material das placas de hóstia, foram elaborados 2 trabalhos experimentais. O primeiro passa pelo estudo da humidificação ideal para as placas de hóstia. O segundo tem o objetivo de relacionar o tempo necessário ao processo de humidificação, com variáveis como a temperatura e a humidade relativa.

4.1.1 Estudo da humidificação ideal das placas de hóstia

Como foi referido no capítulo 3.2.4, para que seja possível a produções de hóstias com qualidade, é necessário que a etapa de humidificação seja bem executada. Caso a humidificação das placas de hóstia não seja a ideal, o processo de corte é severamente comprometido e conseqüentemente a qualidade final do produto. Uma humidificação insuficiente das placas tem como consequência um corte incorreto, na medida em que as placas se revelam demasiado quebradiças, gerando-se hóstias sem a geometria pretendida. Por outro lado, uma humidificação exagerada proporciona a colagem entre as placas no processo de corte, o que prejudica em grande medida a qualidade final do produto.

Tendo em conta as consequências descritas, realizou-se a um trabalho experimental que possibilita perceber o ponto ideal da humidificação das placas de hóstia.

Procedimento do trabalho experimental

O trabalho experimental elaborado, teve por base a medição do ganho de peso percentual das placas de hóstia, quando sofrem o processo de humidificação. Para tal, as placas de hóstia foram pesadas, antes e depois de serem humidificadas, obtendo-se o seu ganho de peso, resultante do ganho de humidade pelo material. De seguida é descrito o procedimento utilizado.

- Pesagem de grupos de 12 placas de hóstia – capacidade dos suportes utilizados – utilizando uma balança do fabricante *AND*, com resolução de 0,1 g, e capacidade de medição máxima de 1200 g. A balança utilizada pode ser visualizada na Figura 31;
- Introdução das placas pesadas nos suportes e posterior colocação na câmara de humidificação;
- Por fim, as placas são retiradas da câmara e são novamente pesadas.



Figura 31 - Balança utilizada para as pesagens das placas de hóstia.

Resultados obtidos

O procedimento descrito é repetido para 5 grupos de 12 placas de hóstia, sendo que os tempos de humidificação foram diferentes para cada um dos grupos, de forma a serem obtidas amostras com um ganho de peso percentual diferente. Na Tabela 1 estão representados os resultados obtidos em cada uma das amostras.

Tabela 1 - Resultados do ensaio da humidificação ideal das placas.

Amostra	Tempo de humidificação (min)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Aumento de peso percentual (%)
A	15	312,2	335,0	7,3
B	20	315,6	343,7	8,9
C	25	309,3	341,2	10,3
D	30	312,9	347,9	11,2
E	35	316,2	354,5	12,1

Após a humidificação das placas procedeu-se ao corte das mesmas. Os resultados do corte das placas, de cada uma das amostras, encontra-se representado na Tabela 2, onde é possível verificar a percentagem de hóstias com defeito geradas em cada amostra.

Tabela 2 - Percentagem de hóstias com defeito.

Amostra	Percentagem de hóstias com defeito (%)
A	50,5
B	26,3
C	7,8
D	10,6
E	30,4

A amostra C apresenta uma percentagem de hóstias com defeito inferior a todas as outras. Esta amostra sofreu um processo de humedificação que lhe permitiu aumentar 10,3 % do seu peso. Por outro lado, a amostra D apresenta, em comparação com as amostras A, B e E, uma percentagem de defeitos baixa.

Na Tabela 3 encontram-se representados os principais defeitos encontrados nas hóstias produzidas através das amostras, bem como as causas para o seu aparecimento.

Tabela 3 - Defeitos encontrados nas amostras dos à humedificação ideal das placas.

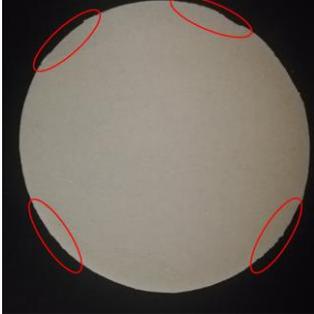
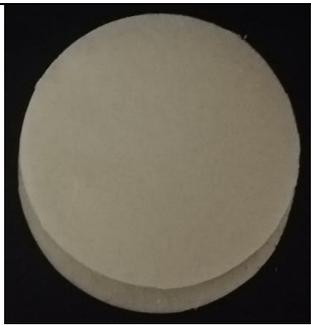
Defeito	Imagem	Causas	Amostras afetadas
Geométrico		Placas demasiado duras (resultado de um nível de humedificação baixo)	A, B
		Transporte e manuseamento das placas e das hóstias	A, B, C, D, E
“Rebarba”		Placas demasiado duras (resultado de um nível de humedificação baixo)	A, B

Tabela 3 - Defeitos encontrados nas amostras dos à humidificação ideal das placas (Continuação).

Defeito	Imagem	Causas	Amostras afetadas
Colagem		Placas demasiado húmidas (resultado de um nível de humidificação demasiado alto)	D, E

Como se verifica pela Tabela 3, os defeitos geométricos, provocados pelo excesso de dureza das placas, ocorrem essencialmente em situações onde a humidificação foi insuficiente, como é o caso das amostras A e B. Parte dos defeitos geométricos podem ser causados pelo transporte das placas antes do corte e pelo próprio transporte e manuseamento das hóstias. Assim, podem ser encontradas hóstias com defeitos geométricos, provocados pelo transporte e manuseamento das placas de hóstia, em todas as amostras. Por outro lado, o defeito do aparecimento de rebarba nas arestas da hóstia apenas ocorre nas amostras onde a humidificação das placas foi insuficiente, como as amostras A e B. Por fim, o defeito da colagem das hóstias ocorre em amostras onde o processo de humidificação foi excessivo, como as amostras D e E, sendo causada pelas superfícies demasiado húmidas das placas de hóstia.

Pelo presente estudo, é possível concluir que uma humidificação ideal provoca um aumento do peso das placas em torno de 10 %.

4.1.2 Relação entre o tempo de humidificação e o ambiente interior da câmara

O tempo necessário à humidificação das placas de hóstia, é uma variável importante, tendo em conta que se pretende que o processo seja o mais rápido possível, de forma a conseguir-se ter uma cadência de humidificação suficiente para dar resposta ao processo de corte das placas de hóstia.

Com o objetivo de perceber a relação entre o tempo de humidificação e o estado do ar interior da câmara, decidiu-se realizar um trabalho experimental, onde se testou o tempo de humidificação a diferentes temperaturas.

O ensaio foi realizado na câmara de humidificação 1. Nesta câmara, o método de geração de vapor permite que a atmosfera interior esteja sempre saturada, isto é, com uma humidade relativa em torno dos 100 % de humidade relativa. Este aspeto foi verificado pela utilização de um sensor de

temperatura e humidade, do modelo DHT22, representado na Figura 32, que foi controlado através de um *arduino*.



Figura 32 – Sensor DHT22 (Bohnroll, s.d.)

As principais especificações do sensor utilizado encontram-se representadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações do sensor DHT22 (Bohnroll, s.d.)

	Mínima	Máxima	Erro
Temperatura (°C)	-40	80	0,5
Humidade relativa (%)	0	99,9	2,5

Para possibilitar a leitura do sensor foi utilizado um *arduino uno*. Inicialmente procedeu-se à ligação do sensor ao *arduino*, onde é necessária a ligação de três fios: o fio preto que é ligado à entrada terra do *arduino*, o fio vermelho que é responsável pela alimentação de 5 V e o fio amarelo responsável pela transmissão de sinal do sensor ao *arduino* (Arduino, s.d.). As conexões executadas são visíveis na Figura 33.

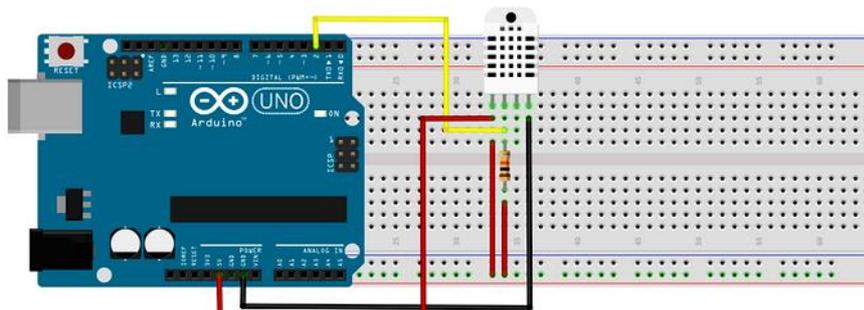


Figura 33 - Conexões entre o sensor DHT22 e o *arduino* (Fritzing, s.d.)

Executada a ligação do sensor ao *arduino*, é necessário proceder à sua programação. Para tal foi utilizado o *software arduino.ide*. O código utilizado na programação do *arduino* pode ser consultado no Anexo I.

O procedimento utilizado para a execução do trabalho experimental é descrito de seguida.

Procedimento do trabalho experimental

O trabalho experimental foi realizado na câmara de humidificação 1. Como foi descrito, a humidade relativa no interior da câmara está em torno do 100 % de humidade relativa. Desta forma, a única variável que é alterada, de ensaio para ensaio, é a temperatura de humidificação. O procedimento realizado é descrito de seguida.

- Pesagem de um conjunto de 4 placas de hóstia;
- Introdução das placas nos suportes, sendo o conjunto colocado no interior da câmara de humidificação 1. Foram utilizados suportes que permitem inserir as placas na horizontal como se verifica na Figura 34;
- Retirada das placas da câmara 5 minutos após a sua introdução, procedendo-se a uma nova pesagem das placas;
- Nova introdução do mesmo conjunto de placas na câmara de humidificação;



Figura 34 - Suportes para a introdução de placas na horizontal.

O procedimento repete-se até serem atingidos os 35 minutos de humidificação, sendo executado com todas as portas da câmara devidamente fechadas.

O procedimento descrito é repetido para 4 amostras, sendo que, em cada uma delas, foram utilizadas temperaturas de humidificação diferentes. Na Tabela 5 são apresentadas as 4 amostras utilizadas, onde se encontram apresentados os pesos iniciais de cada amostra e a temperatura de humidificação utilizada em cada uma.

Tabela 5 - Amostras utilizadas no trabalho experimental.

Amostra	Peso inicial (g)	Temperatura de humidificação (°C)
A	93,2	55
B	91,9	50
C	96,4	45
D	98,7	40

As temperaturas de humidificação foram medidas através do sensor DHT22, sendo obtidas pela alteração da temperatura da água do depósito, até se obter a temperatura interior pretendida.

Resultados obtidos

Obtidas as medições, calculou-se o aumento de peso percentual das placas. O ganho de peso reflete o ganho de humidade por parte das placas. De seguida os dados foram utilizados para elaborar um gráfico, representado na Figura 35, que mostra a variação do ganho de peso com o tempo e temperatura de humidificação.

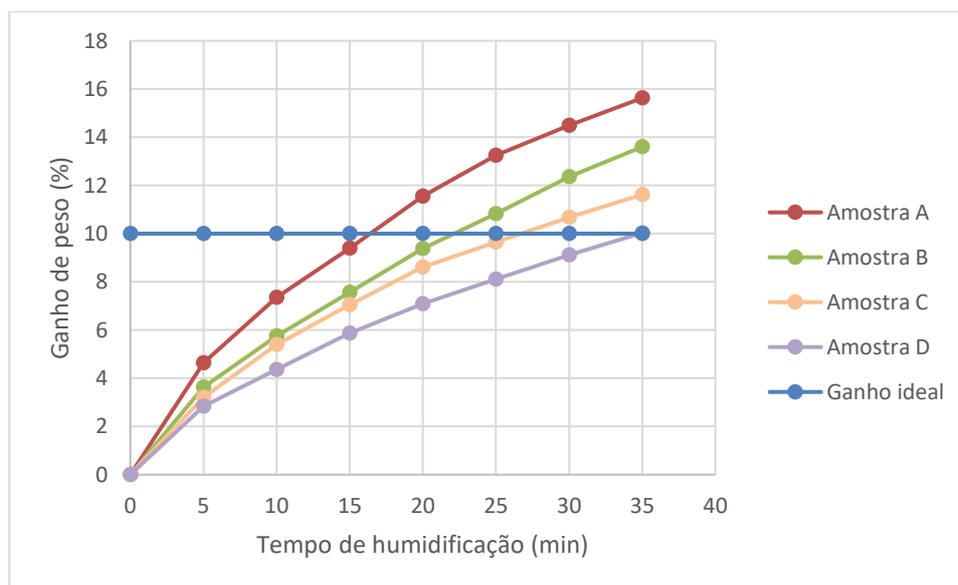


Figura 35 - Tempo de humidificação para o ganho de peso percentual ideal a diferentes temperaturas.

O tempo para a humidificação ideal é obtido pela interceção das curvas de cada amostra com a linha que representa o ganho de peso de 10 %. Pelo gráfico, representado na Figura 35, percebe-se que quanto maior for a temperatura de humidificação, mais rápido é o processo de humidificação das placas. Este facto pode ser explicado por uma maior humidade específica existente no ar interior da câmara de humidificação. Embora a humidade relativa seja de 100 % em todos os casos estudados, a humidade

específica do ar é tanto maior quanto maior for a temperatura do ar, visto que a capacidade de conter vapor de água no ar aumenta com o aumento da sua temperatura como foi explicado no capítulo 2.1

Visto que o aumento da temperatura provoca um processo de humidificação mais rápido, pode-se inferir que uma temperatura superior aos 55 °C, que foi a temperatura máxima apresentada no estudo, é vantajosa no que diz respeito ao tempo de humidificação. Este facto não é confirmado visto que, a partir de uma temperatura de humidificação de 60 °C, se verifica uma diminuição das dimensões, e portanto uma alteração geométrica, das placas de hóstia como é possível verificar na Figura 36.



Figura 36 - Alterações geométricas resultantes de uma temperatura de humidificação excessiva.

Considerando os resultados, chega-se à conclusão que, para obter um processo de humidificação o mais rápido possível, deve ser utilizada a temperatura de humidificação de 55 °C com a humidade relativa de 100 %.

4.2 Estudo da câmara de humidificação

Neste subcapítulo será estudada, de forma detalhada, a câmara de humidificação 1. Após o estudo da câmara, serão apresentadas melhorias que pretendem aperfeiçoar o seu funcionamento.

4.2.1 Problemas associados à câmara de humidificação

A câmara de humidificação 1, com a disposição atual, não permite a cadência de humidificação suficiente para dar resposta ao corte das placas. Existem diversos fatores que contribuem para esta questão:

- O primeiro fator a ter em conta, diz respeito ao elevado tempo de humidificação – aproximadamente 30 minutos – pelo que este tempo deve ser reduzido para possibilitar uma maior cadência de humidificação de placas;

- A última prateleira de cada uma das portas da câmara não é utilizada, uma vez que nesta zona a humedificação de placas ocorre de forma incorreta. Assim, o número de placas humedificado numa porta não é o suficiente para proceder a um corte, tornando todo o processo de produção de hóstias mais lento;
- Por outro lado, a operação da câmara não é feita de uma forma correta. O tempo de humedificação é controlada de forma pouco precisa, o que leva a que existam placas que são humedificadas durante mais tempo do que outras, provocando diferentes níveis de humedificação nas placas. O nível de humedificação das placas é verificado pela experiência do operador, o que leva a imprecisões que prejudicam a qualidade final do produto;
- Por fim, foi identificado um problema no que diz respeito a uma alteração geométrica, provocada pelo processo de humedificação, nas placas de hóstia. O fenómeno, representado na Figura 37, ocorre devido à elevada maleabilidade das placas de hóstia, sendo que a ação do próprio peso das placas confere a alteração geométrica descrita.



Figura 37 - Alteração geométrica provocada nas placas após o processo de humedificação.

Com o objetivo de descobrir a origem dos problemas citados, foram executados diversos testes à câmara de humedificação 1.

4.2.2 Ensaio à temperatura de humedificação

Como foi descrito anteriormente, atualmente é utilizada uma temperatura da água do depósito de 50 °C. Assim, de forma a perceber a temperatura efetiva de humedificação, procedeu-se à medição da temperatura do ar interior da câmara. Para tal foi utilizado um termopar, do tipo K, identificado pela

norma IEC 584-3¹. Para permitir a leitura do termopar, utilizou-se um termómetro da marca *Fluke*, do modelo 52 K/J *Thermometer*. A medição foi executada numa das portas da câmara, em 4 pontos diferentes, correspondentes aos locais de introdução dos suportes. Na Figura 38 encontram-se representadas as posições onde foram efetuadas as medições de temperatura.

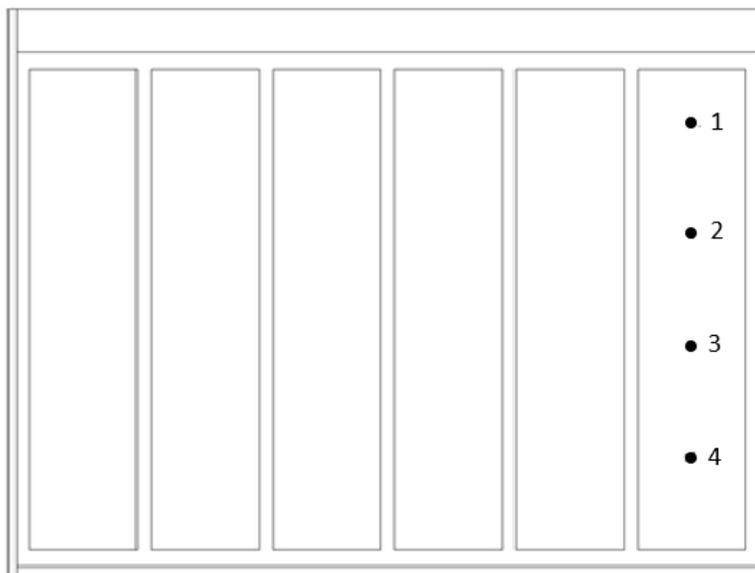


Figura 38 - Pontos de medição da temperatura na câmara de humidificação.

Os resultados obtidos pela medição da temperatura, em cada um dos 4 pontos, são apresentados na Tabela 6. É importante referir que todas as medições foram executadas com as portas da câmara devidamente fechadas.

Tabela 6 - Resultados da medição de temperatura do ar interior da câmara.

Pontos de medição	Temperatura (°C)
1	38,6
2	38,5
3	38,3
4	38,7

Como se verifica na Tabela 6, a temperatura nos 4 pontos de medição, são bastante similares, notando-se a existência de um pequeno gradiente térmico, provocado por fenómenos convectivos, entre o ponto 1 e 3. O ponto 4 apresenta o maior valor de temperatura, o que pode ser explicado pela proximidade da fonte quente (água do depósito). Desta forma, pode-se concluir que não existe um motivo

¹Norma IEC 584-3 – Tipos de termopares e código de cores (Norma IEC 584-3, 1989)

aparente para a existência de valores diferentes de humificação nas diferentes posições onde são colocadas as placas de hóstia. Assim, encontra-se por explicar a deficitária humificação das placas de hóstia na zona inferior da câmara.

Os resultados obtidos permitem perceber que a temperatura de humificação utilizada está distante da temperatura que permite um processo de humificação mais rápido – 55°C – como foi explicado no capítulo 4.1.2.

Na tentativa de aumentar a produtividade da câmara, alterou-se a temperatura da água do depósito, de forma a obter-se uma temperatura de humificação de aproximadamente 55 °C. A temperatura obtida em cada um dos 4 pontos é representada na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos pela alteração da temperatura da água do depósito.

Pontos de medição	Temperatura (°C)
1	55,1
2	54,8
3	54,3
4	55,2

Pelos resultados apresentados na Tabela 7, verifica-se a existência de um gradiente térmico entre o ponto 1 e 3, de aproximadamente 0,8 °C, pelo que não causa grandes diferenças no nível de humificação das placas entre os pontos citados. Verifica-se, mais uma vez, que o maior valor de temperatura se encontra situado no ponto 4, sendo este facto explicado pela proximidade da fonte quente.

Com a alteração da temperatura do ar interior da câmara, o processo de humificação tornou-se mais rápido, como seria de esperar. No entanto, encontra-se ainda por explicar o facto de a humificação das placas na zona inferior e superior da câmara não ocorrer na mesma medida. Assim, decidiu-se executar um novo ensaio, onde se procura explicar o fenómeno.

4.2.3 Ensaio à influência da abertura de portas durante o processo de humificação

Quando se pretende retirar placas de hóstia da câmara de humificação, é necessário que se retirem todas as placas contidas numa das portas da câmara. Assim, é importante que se possa utilizar cada uma das 4 prateleiras, para que se tenham placas suficientes para um corte. Por outro lado, é essencial que todas as placas introduzidas numa porta humifiquem de forma semelhante, para que todas elas possam ser cortadas corretamente.

Como foi descrito, as placas contidas na última prateleira de cada uma das portas não apresentam uma correta humidificação. Desta forma decidiu-se testar a influência da abertura de portas no processo de humidificação.

Inicialmente, testou-se, numa das portas da câmara, o nível de humidificação das placas, em cada uma das 4 prateleiras da porta, utilizando um funcionamento normal da câmara, isto é, com a abertura das restantes portas para a introdução de placas. Para tal foi utilizado o seguinte procedimento:

- Pesagem de 4 conjuntos de 12 placas;
- Introdução das placas nos suportes, sendo cada um dos 4 conjuntos introduzidos em cada uma das prateleiras de uma das portas da câmara. A humidificação foi executada com a temperatura do ar interior de aproximadamente 55 °C;
- Retirada das placas da câmara 15 minutos após a sua introdução, procedendo-se a uma nova pesagem das placas;
- Cálculo da percentagem de ganho de peso de cada conjunto de placas.

O procedimento anterior, foi repetido sem a abertura das restantes portas da câmara durante o processo de humidificação. No gráfico representado na Figura 39, são apresentados os resultados obtidos nos 2 ensaios realizados.

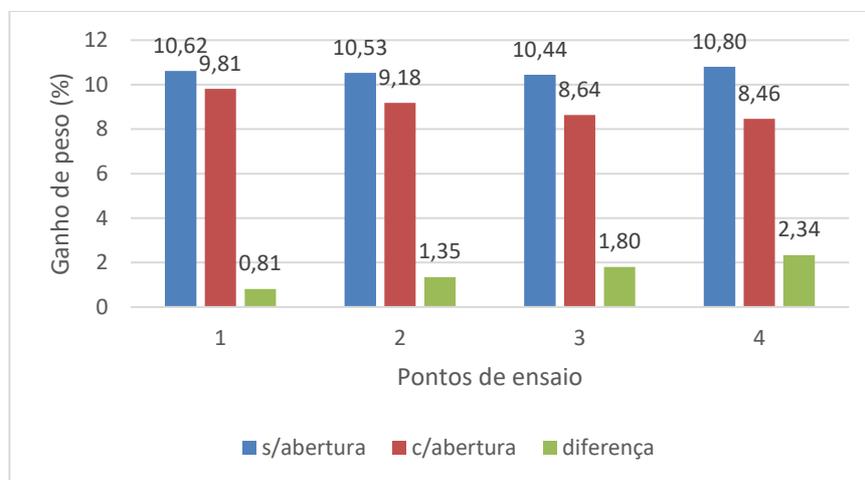


Figura 39 - Influência da abertura de portas no processo de humidificação.

Pelos resultados apresentados no gráfico representado na Figura 39, percebe-se que a abertura das portas durante o processo prejudica a humidificação das placas, uma vez que o ganho de peso percentual diminui, em todos os pontos, em comparação com um processo de humidificação sem a abertura de portas. Este facto é agravado à medida que é utilizada uma prateleira numa zona mais baixa da câmara, como se verifica pelas barras a verde, presentes no gráfico. Assim se explica o facto das placas humidificadas na zona inferior da câmara, apresentarem um nível de humidificação inferior. Este

fenómeno pode ser explicado pela saída de ar quente pela zona superior da câmara e pela entrada de ar à temperatura ambiente pela zona inferior, como se encontra representado na Figura 40.



Figura 40 - Esquema da entrada e saída de ar, com a abertura de portas.

A entrada de ar frio, pela zona inferior das restantes portas da câmara, provoca uma diminuição da temperatura em toda a câmara, sendo as zonas inferiores as mais prejudicadas, visto que o ar quente tende a subir dentro da câmara, pela influência de fenómenos convectivos. Como consequência, é originado um gradiente térmico, entre a zona superior e inferior da câmara, sendo que as placas colocadas na zona inferior são humidificadas a uma temperatura mais baixa, em comparação com o que ocorre na zona superior da câmara. Assim, as placas humidificadas na zona inferior da câmara, necessitam de um maior tempo de humidificação, no entanto, são retiradas ao mesmo tempo das restantes placas, uma vez que, todas as placas de cada uma das portas são retiradas simultaneamente.

4.2.4 Melhorias propostas para a câmara de humidificação

Para aumentar a produtividade da câmara de humidificação 1, é necessário recorrer ao aumento da temperatura de humidificação, em comparação com a utilizada atualmente (aproximadamente de 38 °C). Pelo estudo elaborado no capítulo 4.1.2, percebe-se que, a temperatura que permite um processo de humidificação mais rápido, é de aproximadamente 55°C. Assim, esta é a primeira alteração a ser feita no processo de humidificação.

Como foi referido no capítulo 4.2.3, a incorreta humidificação nas zonas inferiores da câmara de humidificação é explicada pela entrada de ar frio, à quando da abertura das portas da câmara. Uma solução possível para o problema descrito, passa pela compartimentação de cada uma das portas da câmara de humidificação. Para compartimentar cada uma das portas, uma possível solução, passa pela

introdução de uma chapa de aço inox entre cada uma das portas. Na Figura 41 é possível verificar a introdução das chapas para a compartimentação da câmara de humificação.

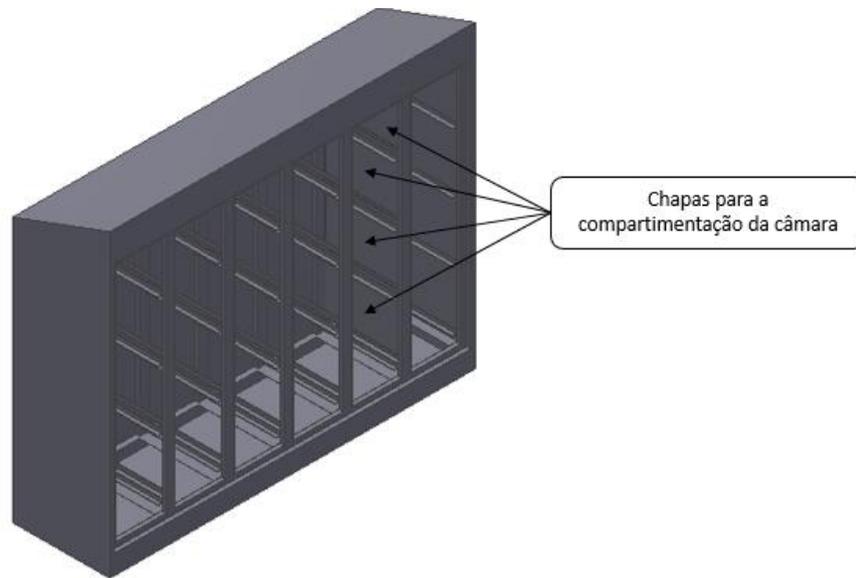


Figura 41 - Chapas para a compartimentação da câmara de humificação.

Com o objetivo de resolver a problemática da alteração geométrica das placas de hóstia, adquirida durante o processo de humificação, foram projetados suportes que permitem a introdução das placas na horizontal. A estrutura do suporte é constituída em aço inoxidável, sendo que as placas de hóstia são suportadas por uma rede polimérica. Na Figura 42 encontra-se representado o suporte projetado para permitir a humificação das placas de hóstia na horizontal.

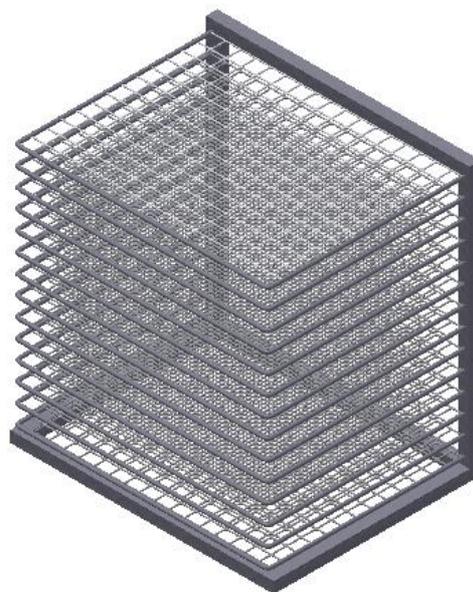


Figura 42 - Suporte para introdução das placas na horizontal.

5 PROJETO CONCEPTUAL

Como foi descrito no capítulo 4.2.1, a câmara de humidificação 1, existente no IMA, não permite uma cadência de produção, de placas de hóstia humidificadas, suficiente para dar resposta ao processo de corte. Além disso, a qualidade da humidificação das placas não é a desejável, provocando uma redução na qualidade do produto final. No capítulo 4.2.4, foram descritas possíveis melhorias que poderiam ser promovidas na câmara de humidificação 1, e que tornariam o processo de humidificação mais rápido. No entanto torna-se pertinente estudar uma nova solução, que possa ser pensada de raiz, e que permita corresponder aos objetivos pretendidos para o processo de humidificação. Desta forma, decidiu-se proceder ao projeto de uma nova câmara de humidificação, cujo seu funcionamento, para além de permitir uma humidificação correta das placas e uma cadência de produção suficiente, deve ser de simples operação.

Para auxiliar à criação de soluções alternativas, que permitam responder aos objetivos do projeto, foram utilizados um conjunto de métodos racionais cuja sua aplicação se encontra apresentada no presente capítulo.

5.1 Objetivos do projeto

De forma a clarificar os objetivos do projeto foi elaborada uma árvore de objetivos. Este método permite representar os objetivos pretendidos para o projeto de forma simples e esquemática, o que permite uma fácil compreensão dos objetivos do projeto e da forma de os alcançar (Cross, 2008). No projeto de uma nova câmara de humidificação de placas de hóstia, os objetivos a destacar são: a humidificação eficaz, as boas características operacionais e o baixo custo. Na Figura 43 está representada a árvore de objetivos realizada para o projeto em questão, onde são representados os objetivos de primeira ordem, descritos anteriormente, e a forma de os alcançar.

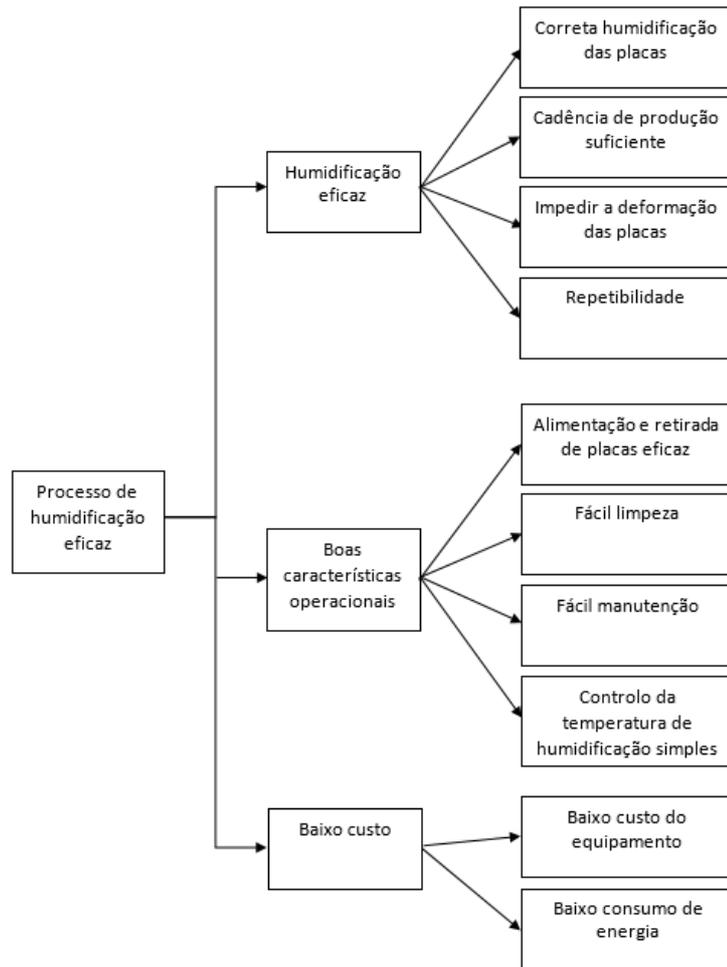


Figura 43 - Árvore de objetivos para o equipamento pretendido.

5.2 Estrutura de funções do produto

Descritos os objetivos do projeto, torna-se necessário conceber a estrutura de funções. Para tal foi elaborado um diagrama de blocos de funções. Inicialmente deve-se pensar no que deve ser alcançado e não em como deverá ser alcançado, resultando assim um diagrama em que a função primordial do produto aparece como uma “caixa negra” com entradas e saídas (Cross, 2008). A função primordial do produto é a “humidificar placas de hóstia” como está representado na Figura 44.

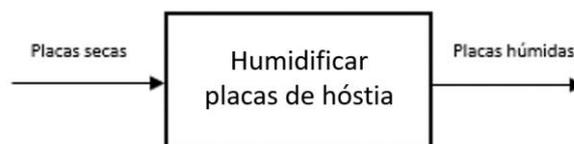


Figura 44 - Estrutura de funções sob a forma de “caixa negra”.

De seguida devem ser representadas as subfunções que em conjunto vão originar a função primordial pretendida para o produto, originando assim uma “caixa transparente” (Cross, 2008).

O diagrama de blocos, com as subfunções consideradas, encontra-se representado na Figura 45.

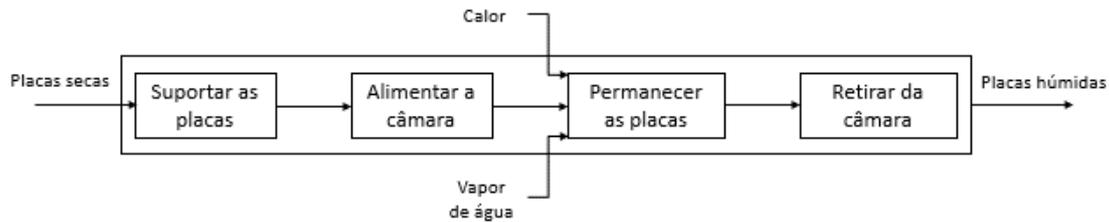


Figura 45 - Diagrama de blocos da estrutura de funções do equipamento a projetar.

Como se pode verificar no diagrama de blocos, representado na Figura 45, foram consideradas quatro subfunções:

- **Suportar as placas:** Nesta etapa do processo pretende-se colocar as placas num suporte, que permita uma entrada mais rápida na câmara de humificação;
- **Alimentar a câmara:** Neste estágio pretende-se transportar as placas para o interior da câmara de humificação;
- **Permanecer as placas:** Esta subfunção diz respeito ao processo de humificação propriamente dito, onde as placas permanecem no interior da câmara de humificação. A permanência das placas tem como sinais de entrada a energia térmica e o vapor de água que vão permitir a humificação das placas;
- **Retirar da câmara:** Esta subfunção diz respeito à retirada das placas da câmara de humificação.

5.3 Estabelecimento das especificações de desempenho

Existem um conjunto de especificações que são pretendidas pelo cliente e que o equipamento a projetar deve respeitar. O conjunto de especificações pretendidas pelo cliente podem restringir o conjunto de soluções pensadas para a conceção do equipamento. Assim torna-se útil nesta fase fazer uma listagem das especificações de desempenho que se pretende que a solução final respeite. Nesta listagem as especificações de desempenho podem ser consideradas “exigidas” – sendo obrigatório o seu cumprimento na solução final – ou podem ser “desejadas” – sendo preferível que sejam cumpridas na solução final mas não obrigatório. Sempre que possível as especificações de desempenho devem ser quantificadas por um determinado valor para que ambiguidades de uma avaliação qualitativa possam conduzir a soluções que não consigam respeitar as expectativas do cliente. A listagem deve ser feita com a participação do cliente e da equipa de projeto (Cross, 2008).

A lista das especificações de desempenho pode ser consultada na Tabela 8.

Tabela 8 - Especificações de desempenho da máquina a projetar.

Nº	E/D	Especificações de desempenho
1	E	Cadência de humidificação: 40 placas a cada 3 minutos.
2	E	Correta humidificação: ganho de peso percentual das placas entre os 10 e 11 %.
3	E	Dimensões máximas: 8 m de comprimento, 2 m de altura.
4	E	Placas de hóstia sujeitas às mesmas condições de temperatura e humidade relativa.
5	E	Humidade relativa entre os 90 e 100%.
6	D	Processo de colocação e retirada de placas rápido: máximo de 1 minuto.
7	D	Tempo máximo de preparação, para a utilização do equipamento, de 30 minutos.

E - Exigido **D** - Desejado

Foram consideradas 7 especificações de desempenho, sendo 5 delas exigidas e 2 desejadas:

1. Esta especificação é exigida, uma vez que se pretende humidificar no mínimo 40 placas a cada 3 minutos, para se conseguir dar resposta à máquina de corte;
2. A correta humidificação das placas é essencial. Pelos ensaios executados ao material das placas, chegou-se a um valor entre os 10 e 11 % de ganho percentual de peso das placas. Estes valores permitem um corte correto das placas na fase posterior do processo produtivo;
3. As dimensões máximas do equipamento que se pretende projetar, são as apresentadas na listagem das especificações de desempenho. A origem destas dimensões é o atravancamento da sala onde se pretende colocar o equipamento;
4. Como se pretende que as placas sejam todas humidificadas de forma igual, é essencial que as placas de hóstias sejam todas humidificadas nas mesmas condições de temperatura e humidade relativa.
5. Para que o processo de humidificação seja rápido, a humidade relativa da câmara deve ser bastante alta e estar sempre perto do valor de saturação. Assim foi definido um intervalo de humidade relativa entre os 90 e 100% que tem de ser respeitado;
6. - É importante que o processo de humidificação das placas de hóstia seja rápido, para tal o processo de colocação e retirada das placas ganha relevância. Assim, pretende-se que este processo seja rápido e não demore mais de 1 minuto;
7. O processo de aquecimento e estabilização do ambiente interior da câmara, deve ser o mais rápido possível, definindo-se um valor de 30 minutos para que esse processo seja concluído.

5.4 Criação de soluções alternativas

A conceção de um novo equipamento, pode partir da criação de soluções completamente novas, do redesenho de soluções já existentes, ou até pela combinação de determinados componentes existentes, produzindo-se assim um novo equipamento. Os mapas morfológicos são uma forma simples e eficaz de combinar subsoluções já existentes, com outras subsoluções que possam ou não existir (Cross, 2008). Assim, de forma a criar diversas soluções para dar resposta aos objetivos do projeto, foi concebido um mapa morfológico que está representado na Tabela 9.

Tabela 9 - Mapa morfológico utilizado na obtenção de soluções alternativas.

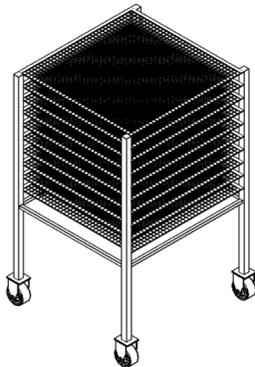
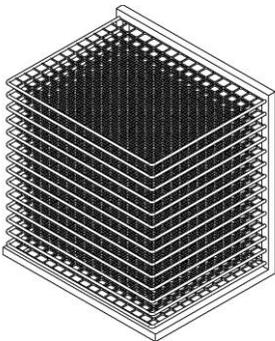
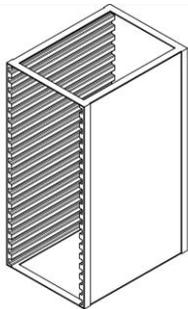
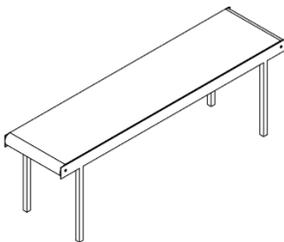
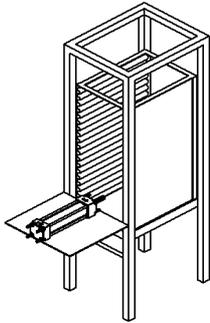
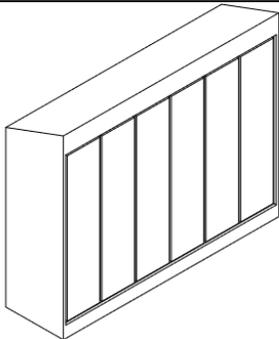
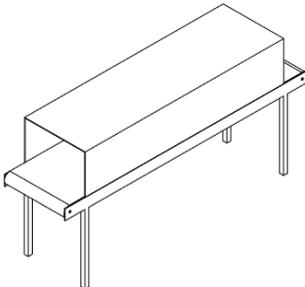
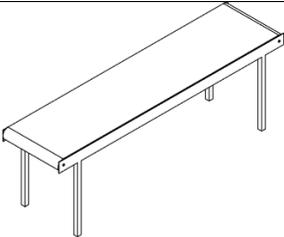
Subfunções	1	2	3
<p>Suportar as placas</p>	 <p>Carrinho</p>	 <p>Suporte</p>	 <p>Estante</p>
<p>Alimentar a câmara</p>	 <p>Tapete rolante</p>	 <p>Elevador com cilindro pneumático</p>	<p>Manual</p>

Tabela 9 - Mapa morfológico utilizado na obtenção de soluções alternativas (Continuação)

Subfunções	1	2	3
Permanecer as placas	 Armário	 Túnel	—
Retirar da câmara	 Tapete rolante	Por gravidade	Manual

Tendo em conta a combinação das diversas subsoluções apresentadas no mapa morfológico, representado na Tabela 9, foram criadas 4 soluções. A solução conceptual 1 recombina as subsoluções: carrinho, introdução manual, armário e retirada manual. A solução conceptual 2 combina as subsoluções: suporte, introdução manual, armário e retirada manual. A solução conceptual 3 combina as subsoluções: estante, elevador pneumático, túnel e saída por gravidade. Por fim, a solução conceptual 4 combina as soluções: suporte, tapete rolante, túnel e tapete rolante. As 4 soluções encontradas serão descritas de seguida.

5.4.1 Solução conceptual 1

Nesta solução as placas são colocadas num carrinho, posteriormente este carrinho é transportado de forma manual até ao armário onde ocorre a humedificação das placas. Concluído o processo de humedificação, o carrinho é retirado de forma manual.

Na “solução conceptual1” cada carrinho deve ter a capacidade de cerca de 40 placas de hóstia, ou seja, as placas necessárias a um corte. O armário é composto por módulos, isto é, compartimentos devidamente separados uns dos outros, para que a utilização de um dos módulos não influencie o processo de humedificação dos restantes. Como é necessário ter cerca de 40 placas humedificadas a

cada três minutos, e o processo de humidificação demora cerca de 15 minutos, seriam necessários 5 módulos que seriam carregados intercaladamente a cada 3 minutos.

Na Figura 46 está representado um esquema simplificado da solução conceptual 1.



Figura 46 - Solução conceptual 1.

5.4.2 Solução conceptual 2

A solução conceptual 2 é semelhante à câmara de humidificação 1 presente no IMA, com a diferença que cada conjunto de duas suportes – capacidade de 20 placas cada uma – é colocada no armário, em compartimentos mais pequenos, para evitar a influência no processo de humidificação dos restantes compartimentos. Nesta solução existem no mínimo 5 compartimentos, que são carregados de forma intercalada em intervalos de 3 minutos, de forma a conseguir dar resposta à etapa de corte das placas de hóstia.

Na Figura 47 está representado um esquema simplificado da solução conceptual 2.

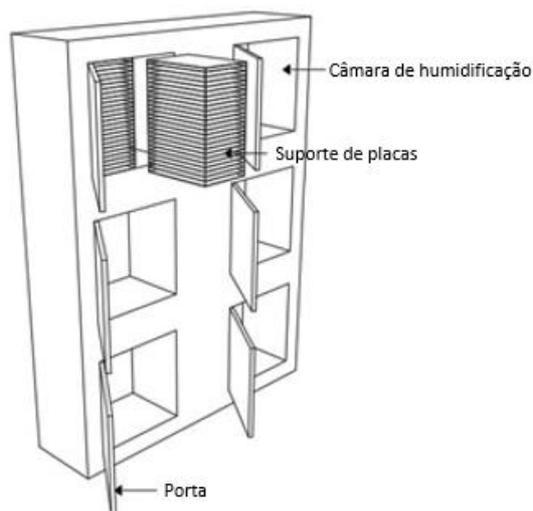


Figura 47 - Solução conceptual 2.

5.4.3 Solução conceptual 3

A solução 3 utiliza um elevador pneumático que eleva uma estante com placas, sendo que, um cilindro pneumático retira as placas da estante, deslizando até ao túnel onde ocorre a humidificação propriamente dita. Após a saída do túnel as placas saem por gravidade.

Este modelo permite a humidificação das placas sem que estas estejam dispostas num suporte, isto é, o processo de humidificação ocorre com as placas dispostas uma a uma. Para que esta solução consiga a cadência de humidificação necessária, é necessário um comprimento do túnel de cerca de 47,5 m, o que é inviável devido ao atravancamento da oficina, que apenas permite a utilização de um comprimento máximo de 8 m. Para que esta solução se torne possível as placas são colocadas em linhas de 7 na horizontal dentro do túnel, obrigando à utilização de mais que um cilindro pneumático. Desta forma o túnel teria cerca de 6,8 m de comprimento.

Na Figura 48 está esquematizado um modulo da solução conceptual 3, sendo necessários 7 iguais ao representado.

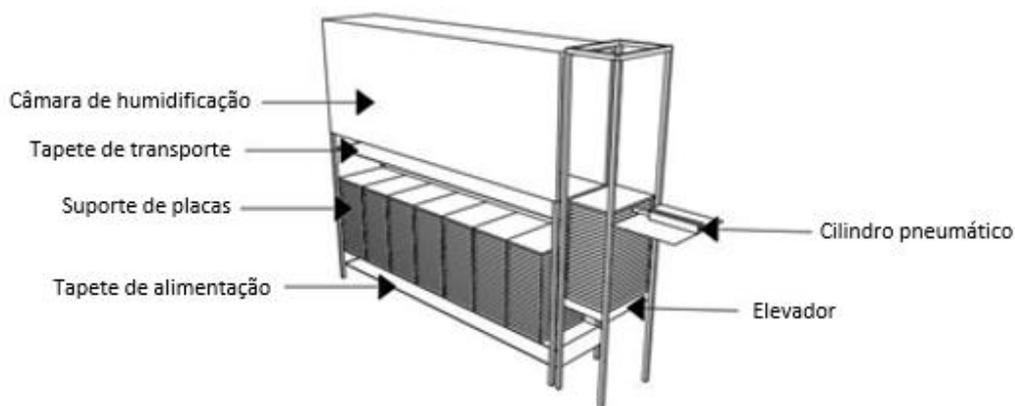


Figura 48 - Solução conceptual 3.

5.4.4 Solução conceptual 4

Nesta solução as placas são colocadas nos suportes, que são posteriormente colocados num tapete que vai alimentar o túnel, onde vai ocorrer a humidificação das placas. Feita a humidificação das placas, os suportes são retirados pelo mesmo tapete. Existe apenas um tapete rolante que faz a alimentação do túnel, movimenta os suportes com as placas de hóstia dentro do próprio túnel e retira os suportes com as placas do túnel.

O tapete rolante não se encontra em constante movimento para que a alimentação do mesmo seja mais simples. O tapete rolante funcionará de forma intermitente, onde avança a distância equivalente ao comprimento de um suporte de 3 em 3 minutos. O túnel terá o comprimento equivalente

a 5 suportes, assim é garantido que cada conjunto de placas colocados nos suportes estão 15 minutos dentro do túnel, que é o tempo necessário à humidificação. O avanço é feito no intervalo de 3 minutos porque se pretende que nesse intervalo estejam humidificadas 40 placas. Para que as suportes não tenham uma altura muito elevada – o que traria inconvenientes como a sua colocação no tapete e a elevada altura do túnel – são colocadas lado a lado 2 suportes no tapete. Na Figura 49 é apresentado de forma simples o funcionamento da solução 4.

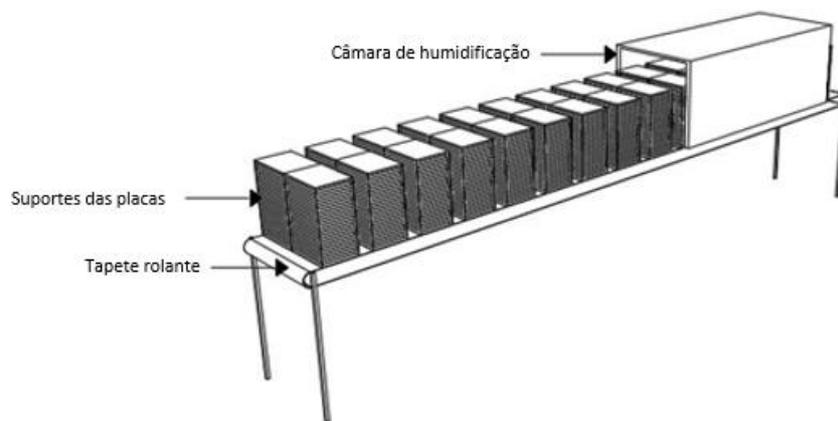


Figura 49 - Solução conceptual 4.

5.5 Avaliação das soluções alternativas

Após serem criadas diversas soluções alternativas para a resolução do problema inicial, torna-se necessário escolher a que melhor satisfaz os objetivos do projeto. Esta escolha pode ser feita com base na experiência, mas a utilização de um modelo racional é preferível para não ocorrer uma incorreta avaliação das diferentes alternativas. O método dos objetivos ponderados é uma das vias mais utilizadas para a escolha da melhor solução alternativa. Este método parte dos objetivos iniciais do projeto e avalia qual das soluções desempenha melhor esses objetivos (Cross, 2008).

O primeiro passo dos métodos dos objetivos ponderados é atribuição de pontuações aos objetivos iniciais do projeto, uma vez que existem objetivos com maior preponderância do que outros (Cross, 2008).

Na Figura 50 encontra-se representada a árvore de objetivos realizada, com os pesos (P_o) de cada objetivo devidamente atribuídos.

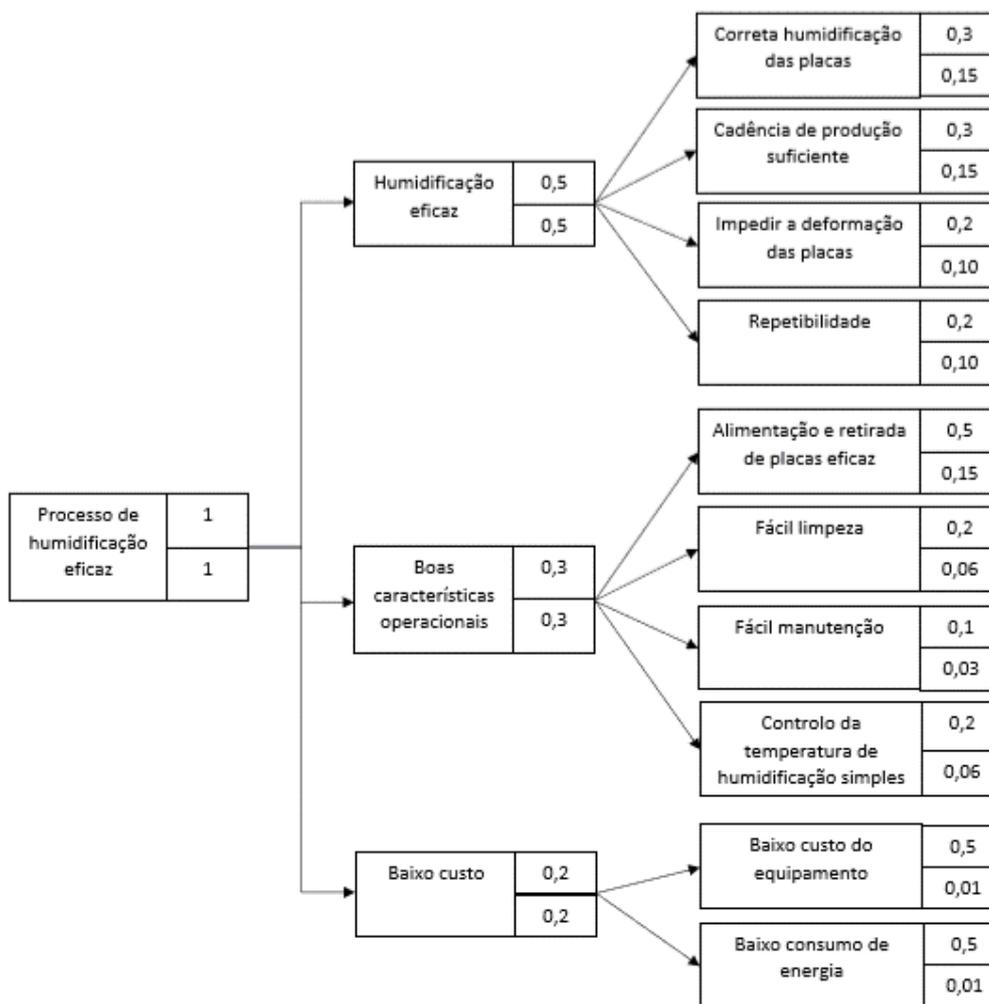


Figura 50 - Pesos ponderados para cada um dos objetivos.

A etapa seguinte passa por atribuir uma nota de desempenho, de cada solução, para cada um dos objetivos (Cross, 2008).

Na Tabela 10 encontra-se explícita a escala de classificações utilizada para avaliar o desempenho de cada uma das soluções.

Tabela 10 - Escala de classificações utilizada.

Classificação	Escala
1	Muito baixo
2	Baixo
3	Moderado
4	Alto
5	Muito alto

No Anexo II, são apresentados os quadros onde são atribuídas as classificações de desempenho, para cada um dos objetivos, de cada uma das soluções, bem como a justificação para tal classificação.

Concluída a etapa de classificação de desempenho de cada solução em cada objetivo, segue-se o cálculo da classificação de desempenho global de cada uma das soluções (Cross, 2008).

Para obter a classificação global (CG) é necessário conhecer inicialmente o valor de desempenho (Vd) obtido por cada solução em cada objetivo. Para calcular o Vd recorre-se à equação (2) (Cross, 2008).

$$Vd = Cl \times Po \quad (2)$$

Em que:

Vd – Valor de desempenho para cada objetivo (adimensional);

Cl – Classificação de desempenho do objetivo (adimensional);

Po – Peso ponderado do objetivo (adimensional).

A classificação geral é obtida pelo somatório dos valores de desempenho (Vd) como se verifica na equação (3) (Cross, 2008).

$$CG = \Sigma Vd \quad (3)$$

Em que:

CG – Classificação geral (adimensional);

V – Valor de desempenho para cada objetivo (adimensional).

Os valores das CG estão representadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificações gerais das soluções conceptuais.

Objetivos	Peso (P)	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
		C	V	C	V	C	V	C	V
Correta humidificação das placas	0,15	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Cadência de produção suficiente	0,15	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75

Tabela 11 - Classificações gerais das soluções conceptuais.

Objetivos	Peso (P)	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
		C	V	C	V	C	V	C	V
Impedir a deformação das placas	0,10	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Repetibilidade	0,10	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Alimentação e retirada de placas eficaz	0,15	2	0,3	1	0,15	4	0,6	4	0,6
Fácil limpeza	0,06	4	0,24	4	0,24	2	0,12	3	0,18
Fácil manutenção	0,03	5	0,15	5	0,15	2	0,06	4	0,12
Controlo da temperatura de humidificação simples	0,06	3	0,18	3	0,18	5	0,3	5	0,3
Baixo custo do equipamento	0,01	3	0,03	2	0,02	1	0,01	2	0,02
Baixo consumo de energia	0,01	2	0,02	2	0,02	1	0,01	3	0,03
CG			3,42		3,26		3,60		3,75

Pelos resultados apresentados na Tabela 11, compreende-se que a solução que melhor desempenha os objetivos do projeto é a solução 4, pelo que será esta a solução escolhida.

6 PROJETO DETALHADO

Executado o projeto conceptual, é necessário realizar o projeto detalhado do equipamento que se pretende desenvolver. Como tal, todos os componentes do equipamento a projetar devem ser dimensionados para que o funcionamento da máquina seja o pretendido. Assim neste capítulo serão apresentados todos os componentes necessários para o desenvolvimento deste equipamento e a função de cada um.

6.1 Descrição geral do equipamento

Como explicitado anteriormente, a máquina a projetar consiste num tapete rolante onde são colocados os suportes com as placas de hóstia, sendo o tapete rolante responsável pelo transporte ao longo de todo o processo. Durante este processo, fazem-se passar as placas de hóstia por um túnel onde ocorrerá o processo de humedificação sendo posteriormente retiradas pelo mesmo tapete.

O processo de humedificação dura aproximadamente 15 minutos, no entanto pretende-se que a cada 3 minutos estejam humedificadas 40 placas para proceder ao corte das mesmas. Assim, decidiu-se que o tapete rolante terá um funcionamento intermitente, onde o avanço do tapete apenas ocorre em intervalos de 3 minutos. A cada 3 minutos é inserido um par de suportes – 40 placas de hóstia – no interior da câmara de humedificação, sendo que esta terá o comprimento suficiente para permitir a introdução de 5 pares de suportes. Desta forma, cada par de suportes passa por 5 fases de 3 minutos perfazendo os 15 minutos necessários à humedificação das placas, ao mesmo tempo que em intervalos de 3 minutos são obtidas 40 placas humedificadas. De seguida as placas são retiradas dos suportes de forma manual e passam para a etapa seguinte da sua produção - o corte das placas de hóstia.

Na Figura 51 encontra-se representada a modelação, realizada no *software* Inventor 2018 da *Autodesk*, do equipamento projetado para a humedificação de placas de hóstia.

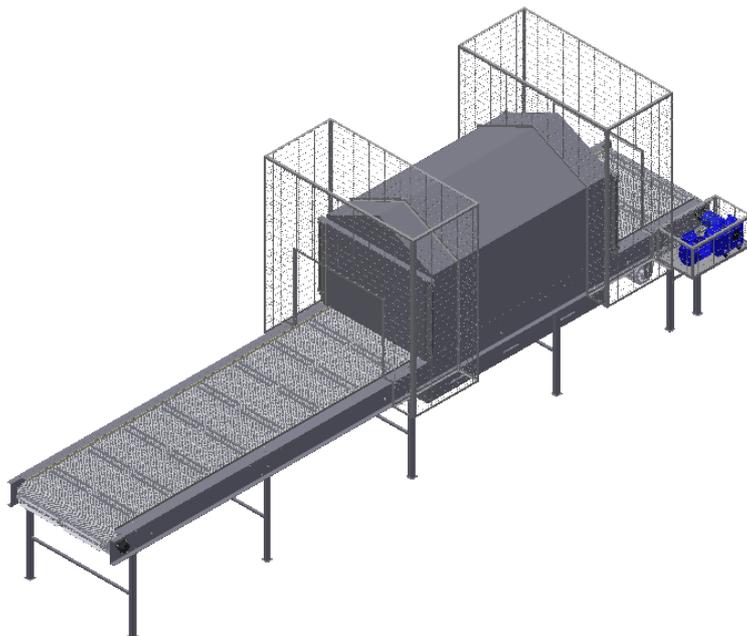


Figura 51 - Modelação do equipamento para a humificação de placas de hósta.

Nos subcapítulos seguintes serão detalhados todos os componentes necessários ao correto funcionamento do equipamento projetado representado na Figura 51. No Anexo III encontram-se representados os desenhos técnicos dos componentes a produzir.

6.2 Suportes para as placas de hósta

Para permitir a introdução das placas de hósta na câmara de humificação, projetaram-se suportes que permitem a humificação das placas na horizontal, uma vez que desta forma se obtêm melhores resultados no que diz respeito à forma das placas após o processo de humificação.

Os suportes são constituídos por um conjunto de superfícies em polipropileno, representadas na Figura 52, onde são apoiadas as placas. Estas superfícies são perfuradas permitindo a passagem de vapor para as placas.

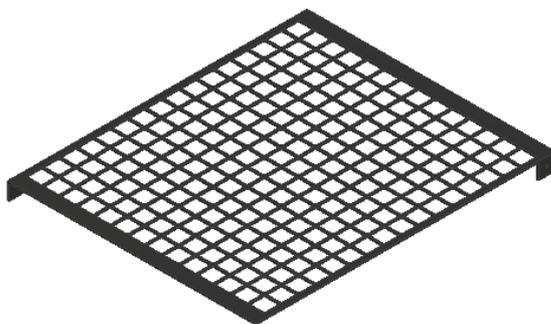


Figura 52 - Superfícies para o apoio das placas de hósta.

As superfícies representadas na Figura 52 são fixadas por parafusos numa estrutura em aço inoxidável. Na Figura 53 são representados os suportes das placas de hóstia.

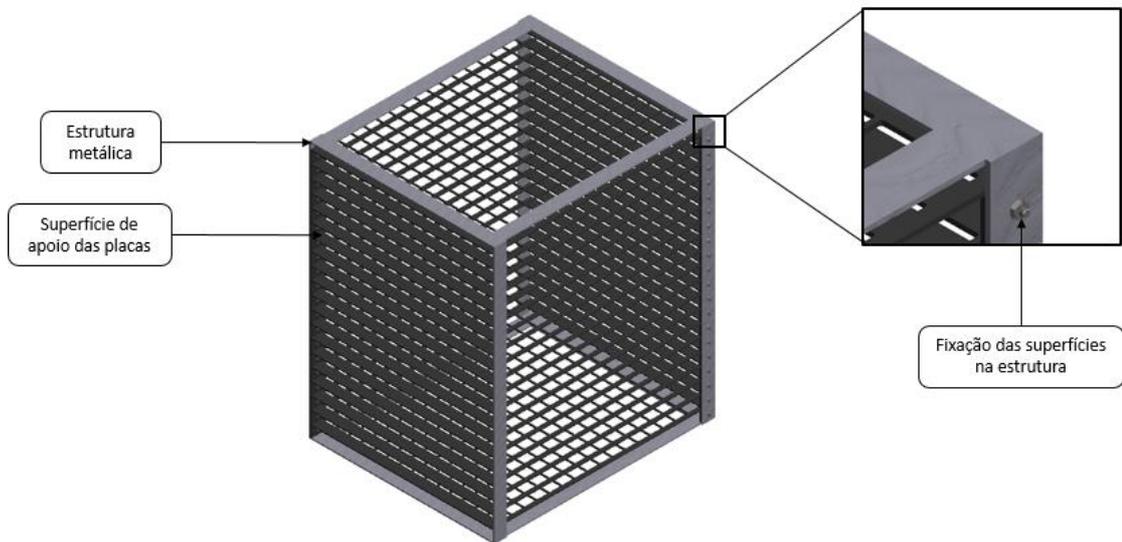


Figura 53 - Suportes para as placas de hóstia.

Os suportes têm a capacidade de 20 placas de hóstia. Para promover a entrada de 40 placas de hóstia na câmara a cada 3 minutos são colocados 2 suportes, lado a lado, no tapete rolante como se verifica na Figura 54.

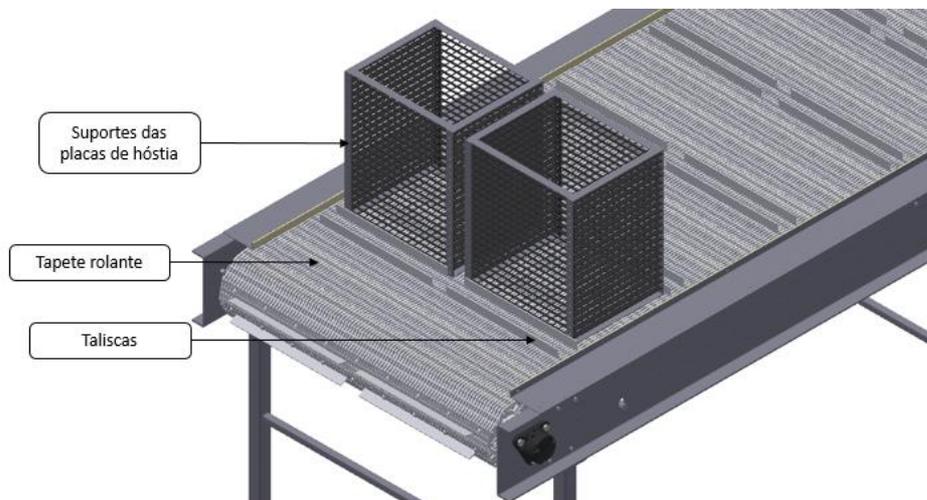


Figura 54 - Introdução dos suportes no tapete rolante.

6.3 Tapete Rolante

O tapete rolante é uma parte essencial da máquina a projetar, sendo o responsável pelo transporte das placas fazendo-as passar pelo túnel onde ocorre o processo de humedificação.

6.3.1 Correia transportadora

A Correia transportadora é o componente que está em contacto com o material a transportar, neste caso os suportes com as placas de hóstia, movimentando-o até o ponto pretendido.

Existe, no mercado, uma vasta gama de correias transportadoras em diversos materiais. No presente caso em estudo pretende-se que a correia seja permeável ao vapor de água que é gerado na zona inferior da câmara de humidificação.

A correia escolhida foi a “Série 200 *Open Hinge*” da marca *Intralox* uma vez que apresenta uma área aberta de 45%, estando disponível em polietileno e em polipropileno. A escolha recaiu sobre o polipropileno uma vez que este material está preparado para ser utilizado até aos 103 °C, enquanto a utilização do polietileno é recomendada em situações cujas temperaturas não ultrapassem os 66°C (Intralox, 2019). Prevê-se que a temperatura no interior da câmara de humidificação seja aproximadamente 55°C, contudo, este valor pode variar. Como tal e por questões de segurança, decidiu-se escolher o polipropileno para o material que compõe a correia transportadora.

Uma vez que as placas de hóstia podem entrar em contacto com a correia transportadora é importante que o material que a constitui não ofereça qualquer perigo para a saúde do consumidor do produto final. Este parâmetro é garantido pela utilização do polipropileno uma vez que este material é aprovado pela União Europeia (UE) para o contacto com produtos alimentares segundo o regulamento UE 10/2011² (Intralox, 2019).

Na Figura 55 é apresentada uma modelação de um módulo da “Série 200 *Open Hinge*” da marca *Intralox*.

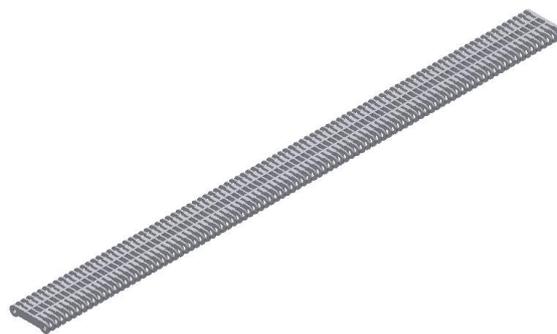


Figura 55 - Correia transportadora "Série 200 *Open Hinge*" da *Intralox*.

Segundo a *Intralox* (2019) a correia escolhida é composta por um conjunto de módulos que são unidos por varetas poliméricas como se verifica na Figura 56.

²Norma 10/2011– Regulamento da UE, relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contacto com os alimentos (Norma UE 10/2011, 2011).

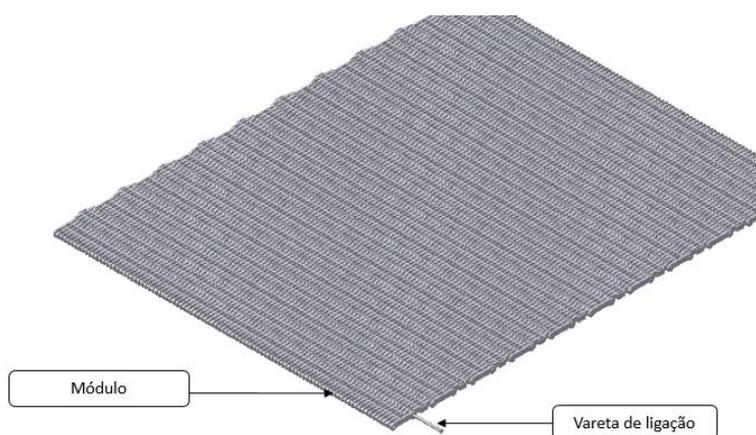


Figura 56 - Junção dos módulos da correia utilizando varetas poliméricas.

Os módulos da “Serie 200 *Open Hinge*” estão disponíveis com o comprimento de no mínimo 51 mm com incrementos de 9,1 mm. A largura dos módulos é de 50,8 mm (*Intralox*, 2019).

Para transportar 2 suportes com placas de hóstia paralelamente é necessária uma largura mínima de 700 mm. Uma vez que podem ocorrer alterações geométricas nos suportes ou nas próprias placas de hóstia é necessário considerar uma largura maior para a correia transportadora, que permita uma margem de segurança para essas possíveis alterações. Assim foi considerada uma largura da correia de 870 mm tendo esta largura em conta as dimensões disponíveis para os módulos.

Taliscas

Uma das razões para a escolha do modelo de correia transportadora selecionada foi a possibilidade de utilização de taliscas na “Série 200 *Open Hinge*” da *Intralox*. Estes componentes servem para promover a compartimentação da correia transportadora (*Intralox*, 2019). No caso da aplicação em questão, o objetivo da utilização destes componentes é garantir que os suportes das placas de hóstia se encontram sempre separados com a mesma distância. Na Figura 57 está representada uma talisca para o modelo de correia selecionada.

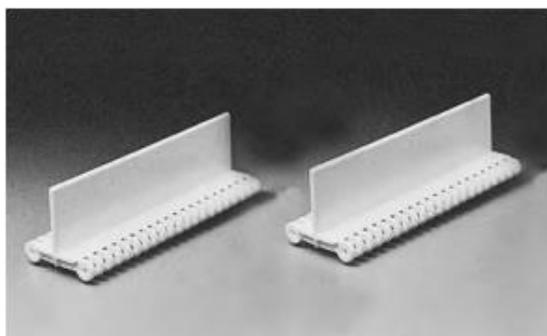


Figura 57 - Talisca da “Série 200 articulação aberta” da *Intralox* (*Intralox*, 2019).

Os componentes apresentados na Figura 57 substituem os módulos da correia transportadora nos locais onde se pretende compartimentar o tapete rolante. Na Figura 58 encontra-se representado um esquema das distâncias a que serão colocadas as taliscas.

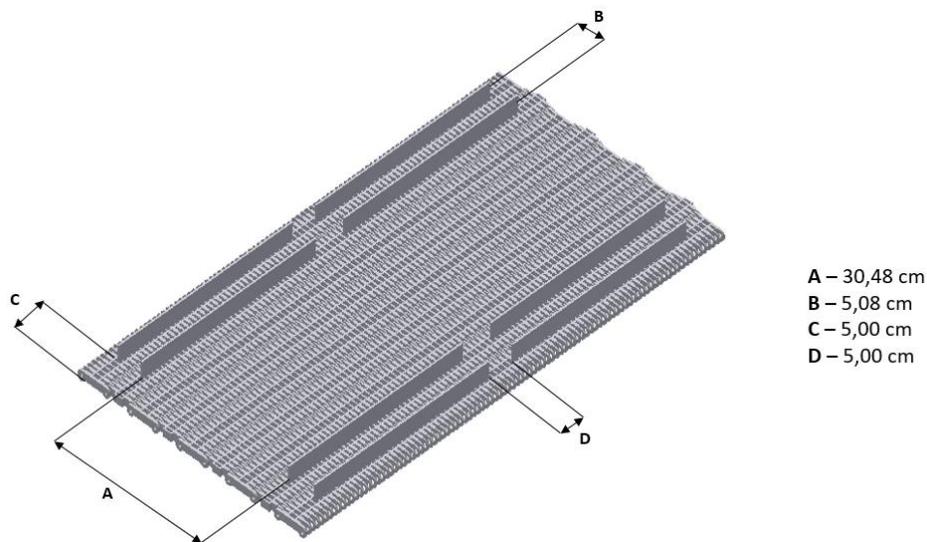


Figura 58 - Locais de colocação das taliscas.

As distâncias representadas na Figura 58 correspondem:

- A.** Espaço onde são colocados os suportes para as placas de hóstia;
- B.** Distância entre compartimentos do tapete (sendo este o local onde as portas da câmara fecharam como será explicado posteriormente);
- C.** Zonas onde as taliscas são cortadas para que seja possível a colocação de roletes de retorno (como será descrito nos subcapítulos seguintes);
- D.** Zonas onde as taliscas são cortadas para que seja possível a colocação de roletes de retorno (como será descrito nos subcapítulos seguintes).

Dilatação térmica da correia transportadora

Os polímeros dilatam e contraem de forma significativa com a alteração da temperatura a que estão sujeitos (*Intralox*, 2019). Desta forma é necessário ter em atenção a dilatação térmica da correia uma vez que parte desta se encontra no interior da câmara de humedificação, a uma temperatura bastante superior à temperatura ambiente.

No Anexo IV, são apresentados os cálculos da dilatação térmica da correia transportadora, obtendo-se uma dilatação de 6,12 mm na sua largura e uma dilatação de 8,72 mm no seu comprimento.

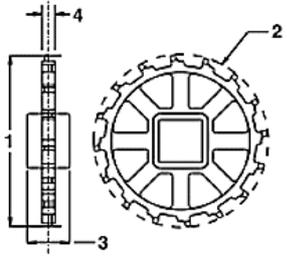
A estrutura do tapete rolante deve ter uma largura suficiente para que a correia transportadora não entre em contacto com ela, tendo em conta a dilatação térmica resultante do aquecimento da correia na câmara de humidificação. A dilatação térmica da largura da correia poderia causar problemas no engrenamento entre a correia e as rodas dentadas, no entanto as rodas dentadas têm a liberdade de movimento lateral, como será explicado no capítulo 6.3.2, acompanhando a expansão térmica da correia.

A dilatação do comprimento da correia deve ser compensada pela zona de retorno, sendo necessária que parte da correia não esteja apoiada no retorno como será explicado no capítulo 6.6.1. O correto engrenamento é garantido por um rolete tensor que tenha a capacidade de tensionar a correia na mesma medida, independentemente do comprimento da mesma como será descrito no capítulo 6.6.2.

6.3.2 Rodas dentadas

A ligação entre os eixos e a correia transportadora é feita através de um conjunto de rodas dentadas em polipropileno que se encontram acopladas ao veio e promovem o engrenamento com a correia (*Intralox*, 2019). Um esquema das rodas dentadas disponíveis para a correia seleccionada e suas respectivas dimensões estão representadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Rodas dentadas disponíveis para a correia transportadora seleccionada. Adaptado de (*Intralox*, 2019).

Nº de dentes	Ação poliédrica (%)	Diâmetro do passo (1) [mm]	Diâmetro externo (2) [mm]	Largura do cubo (3) [mm]	
6	13,40	102	99	38	1—Diâmetro do passo
10	4,89	163	163	64	2—Diâmetro externo
15	1,92	257	262	64	3—Largura do cubo 4—Espessura do aro. Padrão: 19 mm

Como se verifica na Tabela 12, existem 3 tipos de rodas dentadas com 6, 10 e 16 dentes. À medida que se aumenta o número de dentes, a ação poliédrica³ é reduzida, porém quanto maior for o número de dentes maior é o diâmetro da roda dentada. Assim, foi escolhida a roda dentada de 10 dentes pois, por um lado, apresenta uma ação poliédrica substancialmente inferior à roda dentada de 6 dentes mas, por outro, tem um diâmetro mais apropriado para a aplicação pretendida, visto que o diâmetro da roda dentada de 16 dentes é de cerca de 25,7 cm, o que provocaria problemas de travacamento na estrutura do tapete e um conseqüente aumento do custo.

A roda dentada escolhida utiliza orifícios quadrangulares, disponíveis com dimensões de 40 ou 60 mm de lado. Foi preferido o orifício com 40 mm de lado uma vez que confere aos eixos uma dimensão mais reduzida minimizando, conseqüentemente, o custo (*Intralox*, 2019). A modelação da roda dentada selecionada encontra-se representada na Figura 59.

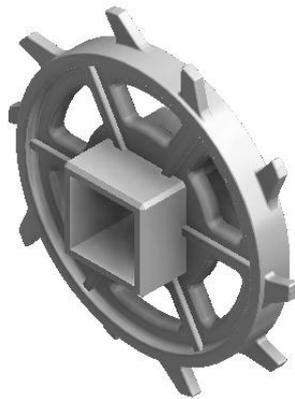


Figura 59 - Roda dentada selecionada da *Intralox*.

Verificação da resistência da correia transportadora selecionada

Selecionada a correia transportadora torna-se necessário verificar se esta resiste à carga que lhe é aplicada pelo produto a ser transportado (*Intralox*, 2019). No Anexo V são apresentados cálculos para a verificação da resistência da correia transportadora, concluindo-se que a correia transportadora selecionada é suficientemente resistente para a aplicação em questão.

Dimensionamento das rodas dentadas

Para determinar o número de rodas dentadas a utilizar no eixo motor foi necessário conhecer a distância máxima entre rodas dentadas (*Intralox*, 2019). No Anexo VI são apresentados os cálculos para

³ Ação poliédrica – É provocada pelo engrenamento da correia com a roda dentada, resultando numa variação da velocidade do engrenamento entre o primeiro módulo engrenado e o módulo seguinte, provocando o aparecimento de choques que reduzem a vida útil da correia (Flores, Gomes, Dourado, & Marques, 2017).

conhecer o número de rodas dentadas necessárias tanto para o eixo motor como para o movido, chegando-se à conclusão de que são necessárias 9 rodas dentadas por eixo.

6.3.3 Eixo motor e movido

Os eixos recomendados pela *Intralox* (2019) têm um perfil quadrado. Este tipo de eixo evita a utilização de anéis de retenção entre a roda dentada e o eixo, uma vez que com esta geometria a roda dentada não gira em relação ao eixo. Apenas a roda dentada central deve ser fixa ao veio através de anéis de retenção, ficando as restantes livres de movimento horizontal de forma a se ajustarem consoante possíveis expansões e contrações térmicas por parte da correia transportadora, permitindo assim um engrenamento correto quando ocorrem estas alterações geométricas (*Intralox*, 2019).

O material escolhido para os eixos foi o aço inoxidável uma vez que se previu que a correia transportadora estivesse húmida devido à sua passagem pela câmara de humedificação, evitando-se a oxidação dos mesmos.

A *Intralox* produz eixos que são maquinados nas dimensões necessárias ao cliente. Na Figura 60 é possível visualizar a modelação do eixo movido utilizado no projeto, sendo que o eixo motor apenas diferencia no comprimento de uma das mangas que apresenta maior dimensão para permitir a sua ligação ao motor.

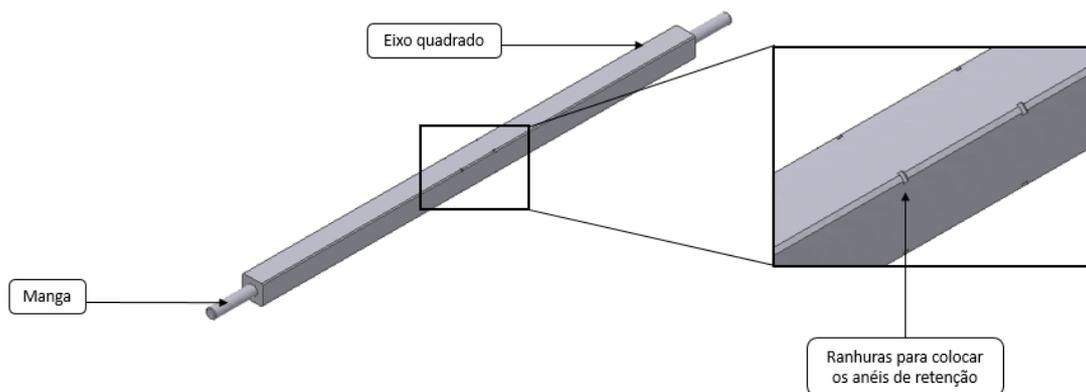


Figura 60 - Modelação do eixo movido utilizados.

Como foi descrito anteriormente, a *Intralox* (2019) recomenda a fixação da roda dentada central através de anéis de retenção que são fornecidos pela mesma. Os anéis de retenção disponíveis dependem do tipo de eixo utilizado e da sua dimensão. No caso foi utilizado um eixo quadrangular com 40 mm de lado, sendo que, para esta configuração, a *Intralox* tem anéis de retenção disponíveis em aço

inoxidável. Na Figura 61 encontra-se representada a modelação do modelo dos anéis de retenção utilizados.



Figura 61 - Anéis de retenção da *Intralox*.

Os anéis de retenção são posteriormente colocados em ranhuras existentes nos eixos de forma a fixar a roda dentada central.

Verificação da resistência dos eixos selecionados

Para confirmar se os eixos selecionados se ajustam às condições de operação do tapete rolante é necessário verificar se a deflexão provocada no eixo, devido à tração a que a correia transportadora está sujeita, não ultrapassa os limites recomendados. A deflexão máxima recomendada é de 2,5 mm. Por outro lado, os eixos devem resistir à torção provocada pelo funcionamento do motor (*Intralox*, 2019)

No Anexo VII encontram-se os cálculos necessários para a verificação da resistência dos eixos selecionados, sendo que se chegou à conclusão que estes resistem à tração provocada pela correia transportadora e à torção provocada pelo funcionamento do motor.

6.4 Estrutura do tapete rolante

A estrutura do tapete rolante tem como função suportar todos os componentes necessários ao funcionamento do tapete rolante. Esta estrutura é essencialmente composta por 3 componentes: guias laterais, pernas e guias de segurança.

6.4.1 Guias laterais

Estes componentes têm como função suportar o eixo motor e movido, os roletes, as guias de desgaste e consequentemente a correia transportadora. As guias laterais suportam também a câmara de humidificação.

O material escolhido para as guias laterais foi o aço inoxidável devido a sua resistência à oxidação. As guias laterais projetadas consistem em uma chapa de aço inoxidável quinada de forma a gerar um perfil em U nas medidas convenientes ao projeto.

Na Figura 62 encontra-se representado o perfil gerado e as dimensões do perfil em mm.

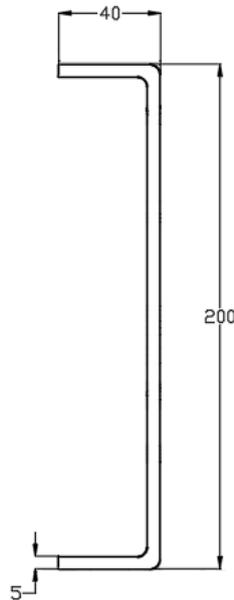


Figura 62 - Perfil das guias laterais e respectivas dimensões.

Ao longo do tapete rolante são utilizadas 4 guias laterais de cada lado com diferentes furações para a fixação dos componentes necessários ao funcionamento do tapete rolante. Na Figura 63 está representada uma das guias laterais.

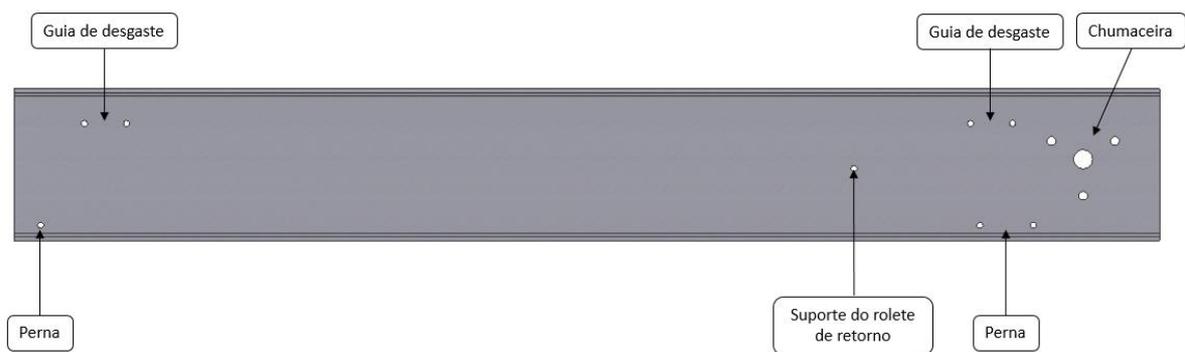


Figura 63 - Guia lateral.

6.4.2 Pernas

As pernas do tapete rolante servem de apoio de toda a estrutura. Ao longo do tapete rolante foram utilizados 5 conjuntos de 2 pernas. Na Figura 64 é representado um dos conjuntos utilizados.

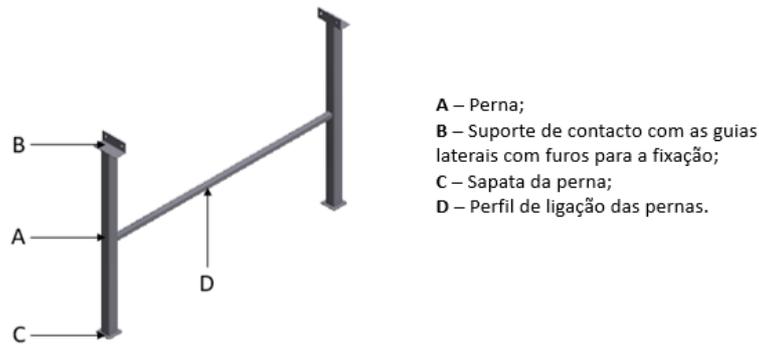


Figura 64 - Conjunto de pernas utilizado.

Os perfis utilizados para o fabrico das pernas são quadrangulares com a dimensão 40 por 40 mm e espessura de 3 mm respeitando a norma ISO 4019-2001⁴. O perfil utilizado para a ligação das pernas é quadrangular com as dimensões de 20 x 20 mm e a espessura de 2 mm respeitando a norma ISO 4019-2001 e foram utilizados com o objetivo de diminuir as oscilações que podem ser provocadas por uma carga externa ou até pelo próprio movimento da correia transportadora. As sapatas das pernas são soldadas às mesmas e têm como objetivo o aumento da área de contacto com o solo permitindo um maior equilíbrio. O suporte para o contacto com as guias laterais é soldado às pernas e permitem a fixação às guias.

Para além de suportarem toda a estrutura do tapete rolante, as pernas são também utilizadas para permitir a união das guias laterais como está explícito na Figura 65.

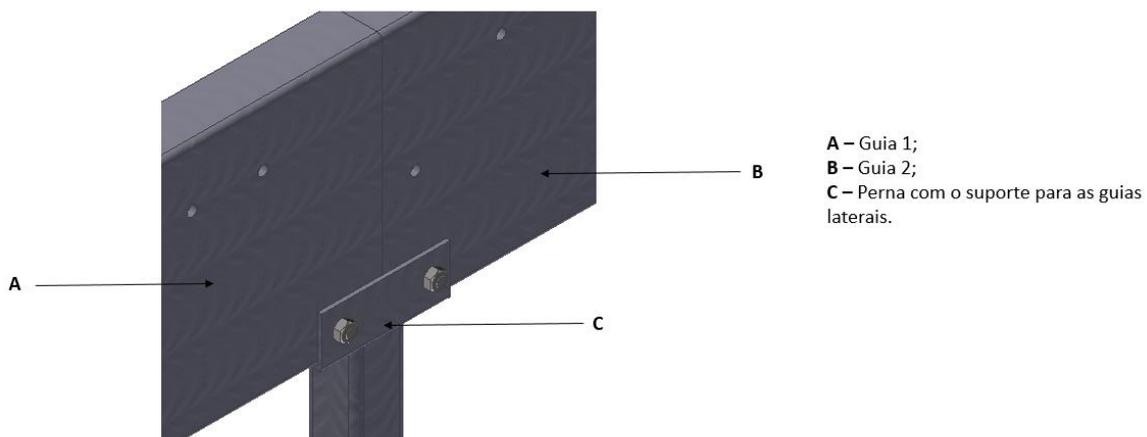


Figura 65 - Montagem das guias laterais nas pernas.

⁴ ISO 4019-2001 – Aços estruturais – Perfis ocios formados a frio, soldados, estruturais – Dimensões e propriedades seccionais (ISO 4019-2001, 2001).

6.4.3 Guias de segurança

Para evitar que os suportes das placas de hóstia possam sair da correia transportadora foram utilizadas guias de segurança. As guias projetadas são constituídas em chapa de aço inoxidável quinada de forma a gerar um perfil em L, com as dimensões pretendidas. Na aba do perfil que se encontra em contacto com os suportes foram adicionadas guias em *nylon* para evitar que surjam ruídos devido ao contacto entre o aço inoxidável das guias de segurança e o aço inoxidável dos suportes. As guias em *nylon* são fixadas por 3 parafusos ao perfil em L em aço inoxidável. Na Figura 66 encontra-se representada a guia de segurança projetada e a sua constituição.

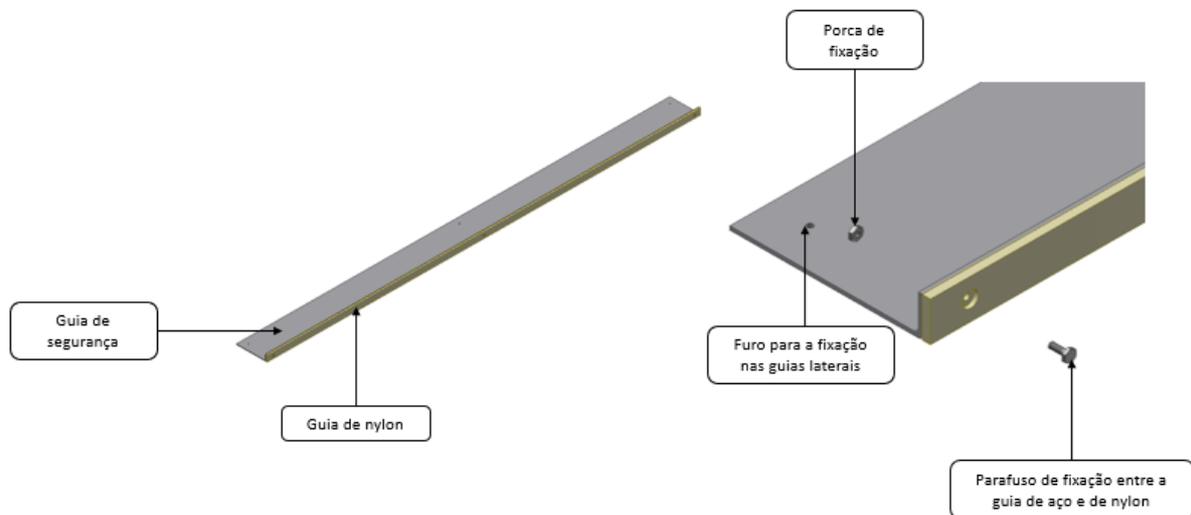


Figura 66 - Guia de segurança e sua constituição.

As guias de segurança são posteriormente fixadas através de 3 parafusos à aba superior das guias laterais. As guias de segurança apresentadas são colocadas ao longo de todo o tapete rolante com exceção do espaço interior da câmara de humidificação.

6.5 Guias de desgaste

As guias de desgaste são componentes que têm a função de permitir o apoio da correia transportadora na porção em que esta é carregada com o material a transportar (*Intralox*, 2019).

Como parte das guias de desgaste permanecem no interior da câmara de humidificação, é importante escolher um material cujo coeficiente de dilatação térmica⁵ seja reduzido para serem evitados problemas oriundos da alteração da dimensão destes componentes.

⁵ Coeficiente de dilatação térmica - Quociente que mede a alteração relativa de comprimento, que se produz quando um corpo experimenta uma alteração de temperatura (*JACS*, 1934).

Os materiais mais utilizados para a produção de guias de desgaste são o Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMW), o polietileno de alta densidade (HDPE), o aço e o aço inoxidável (*Intralox*, 2019). Na Tabela 13 encontram-se os valores de coeficiente de dilatação térmica de cada um dos materiais.

Tabela 13 - Valores de coeficiente de dilatação térmica dos materiais mais utilizados em guias de desgaste. Adaptado de (*Intralox*, 2019).

Material	Coeficiente de dilatação térmica (mm/m°C)
HDPE	0,14
UHMW	0,14
Aço	0,01
Aço Inoxidável	0,01

Como se verifica pela Tabela 13, tanto o aço, como o aço inoxidável, apresentam valores de coeficiente de dilatação térmica bastante inferiores aos 2 polímeros apresentados. Devido ao ambiente húmido existente no interior da câmara de humificação é necessário selecionar um material resistente à oxidação, assim o material selecionado para as guias de desgaste foi o aço inoxidável uma vez que este material apresenta essa propriedade.

O número de guias de desgaste necessárias é essencialmente dependente da largura da correia transportadora. Para uma largura de 870 mm são necessárias 5 guias de desgaste (*Intralox*, 2019).

Para o projeto das guias de desgaste foram utilizados 5 perfis retangulares em aço inoxidável de 40 x 20 mm com 3 mm de espessura com base na norma ISO 4019:2001. Para apoiar as guias de desgaste, são utilizados 2 perfis retangulares em aço inoxidável semelhantes aos anteriores. Os suportes são soldados às guias de desgaste. Na Figura 67 é esquematizada a modelação das guias de desgaste projetadas bem como os diversos componentes que as constituem.

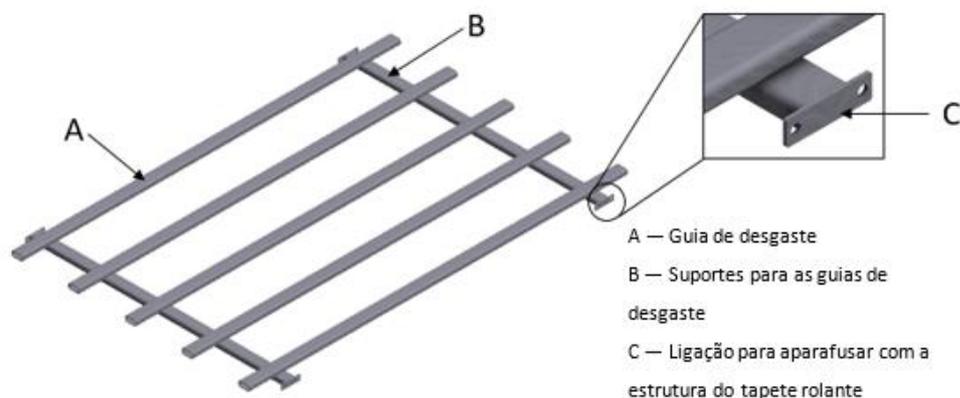


Figura 67 - Guias de desgaste projetadas e seus respectivos componentes.

As guias de desgaste distam 21 cm entre si. Ao longo da estrutura do tapete rolante são colocados 4 módulos semelhantes ao representado na Figura 67, sendo estes aparafusados às guias laterais do tapete rolante.

Na Figura 68 pode-se verificar que as extremidades das guias de desgaste que estão mais próximas dos eixos são cortadas para evitar o contacto entre as rodas dentadas acopladas aos eixos e as guias de desgaste.



Figura 68 - Demonstração do corte nas extremidades das guias de desgaste junto aos eixos de rotação.

Na Figura 69 está representada a montagem dos 4 módulos das guias inseridas na estrutura do tapete rolante.

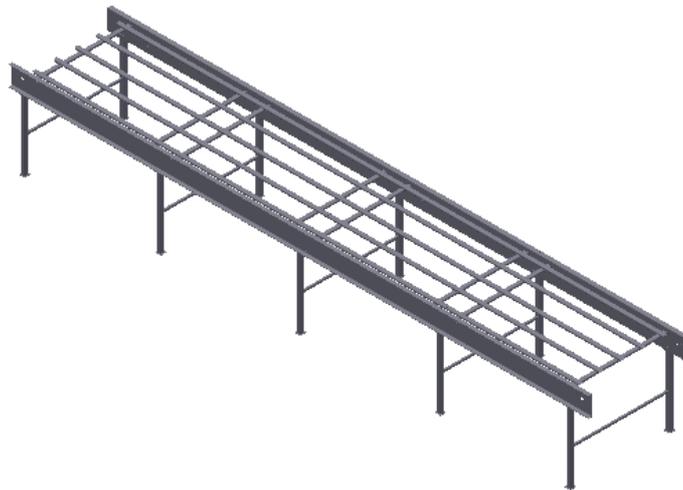


Figura 69 - Montagem dos 4 módulos das guias de desgaste na estrutura do tapete rolante.

6.6 Roletes

Os roletes são componentes utilizados para o apoio da correia transportadora. Estes componentes tem a capacidade de girar acompanhando o movimento da correia transportadora. No projeto em estudo foram utilizados roletes de retorno e roletes tensores.

6.6.1 Roletes de retorno

O retorno da correia transportadora corresponde à zona inferior da correia entre o eixo motor e movido. Este tipo de correias transportadoras são geralmente projetadas com comprimento em excesso gerando-se no retorno uma curva da catenária originada pelo peso próprio da correia. As dimensões da curva da catenária variam consoante a expansão e contração originadas pelas variações térmicas a que

está sujeita a correia transportadora. De forma a não se originar uma curva da catenária com uma dimensão muito elevada, o que provocaria um engrenamento incorreto, é necessária a introdução de roletes de retorno onde se encontra apoiado o retorno da correia (*Intralox, 2019*).

Os roletes de retorno estão sujeitos a um ambiente húmido, pelo que o material que os compõe deve ser resistente à oxidação. Por outro lado, os roletes colocados no interior da câmara de humidificação devem resistir a temperaturas na ordem dos 55 °C. Para além das características mencionadas, os roletes devem permitir a utilização de taliscas na correia transportadora sem interferir com estas. Desta forma optou-se pela seleção de roletes de retorno da marca *Unirons* do modelo 3392 cuja modelação se encontra representada na Figura 70.

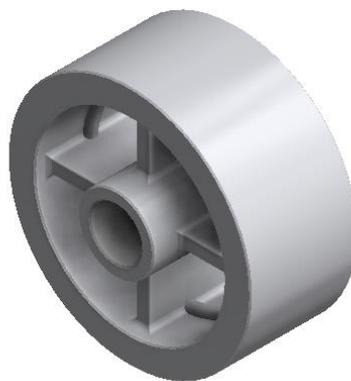


Figura 70 - Roletes de retorno da marca *Unirons* do modelo 3392 (*Unirons, 2019*).

Os roletes de retorno selecionados são constituídos em acetal que, como requerido, é um material que não sofre oxidação e pode ser utilizado até a temperatura de 93 °C (*Intralox, 2019*).

Para que não haja interferência com as taliscas, os roletes de retorno são colocados num veio para que a correia transportadora seja apoiada nas suas extremidades. Tendo em consideração que largura da correia transportadora é superior a 60 cm, a *Intralox (2019)* recomenda a utilização de um apoio central. Desta forma utilizaram-se 3 roletes de retorno apoiados num veio, 2 nas extremidades da correia transportadora e 1 na zona central como se verifica na Figura 71.



Figura 71 - Colocação dos roletes de retorno.

O veio representado na Figura 71 é fixado na estrutura do tapete rolante sendo que, os roletes de retorno giram sobre o veio. Desta forma, para que os roletes não saiam da posição inicial, é necessária a utilização de anéis de retenção que não permitam a saída da posição dos roletes de retorno. Assim, decidiu-se utilizar os anéis de retenção da marca *Unirons* do modelo 3404 cuja sua modelação se encontra representada na Figura 72.



Figura 72 - Anel de retenção da marca *Unirons* modelo 3404 (*Unirons*, 2019).

Cada rolete de retorno é fixado por dois anéis de retenção que não permitem a saída da posição do rolete como está explícito na Figura 73.



Figura 73 - Colocação dos anéis de retenção.

O veio é fixado na estrutura através de um rasgo em cada extremidade sendo colocado em ranhuras existentes nas guias laterais da estrutura do tapete rolante como se verifica na Figura 74.



Figura 74 - Fixação do veio na guia lateral.

6.6.2 Rolete tensor por gravidade

Os roletes tensores têm a função de tencionar a correia transportadora de modo a permitir um engrenamento correto com as rodas dentadas e assim garantir uma correta movimentação da correia. Este tipo de roletes não é necessário em todos os tapetes rolantes, contudo em aplicações onde ocorram grandes variações térmicas e conseqüentes variações na dimensão da correia, estes roletes são utilizados uma vez que permitem que a correia esteja sempre tencionada de forma correta conferindo um correto funcionamento do tapete rolante (*Intralox*, 2019).

Os roletes tensores por gravidade utilizam o peso próprio para tencionar a correia. Assim, devem poder deslocar-se na vertical de modo a responder às variações do comprimento da correia provocadas pela variação da temperatura, garantindo que a correia está sempre tencionada. Este tipo de rolete é aplicado entre 2 roletes para o apoio de carga como representado na Figura 75(*Intralox*, 2019).

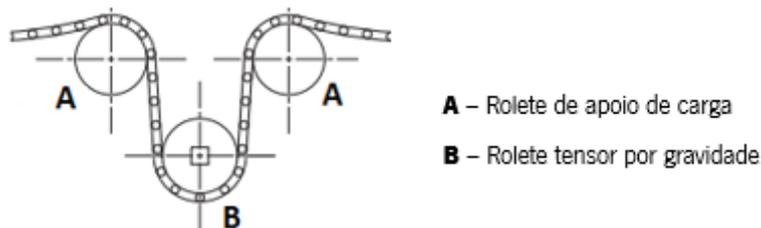


Figura 75 - Esquema representativo do sistema tensor por gravidade normalmente utilizado. Adaptado de (*Intralox*, 2019).

Nas extremidades da correia transportadora decidiu-se utilizar roletes tensores com aba da marca *Unirons* do modelo 3619 cuja sua modelação se encontra representada na Figura 76.

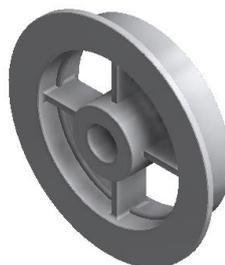


Figura 76 - Rolete tensor com aba da marca *Unirons* do modelo 3619 (*Unirons*, 2019).

O rolete tensor apresentado na Figura 76 utiliza uma aba numa das extremidades que entra em contacto com a lateral da correia transportadora pelo que o rolete tensor utilizado no centro da correia transportadora não pode ter a mesma configuração. Assim decidiu-se utilizar 1 rolete tensor central da marca *Unirons* do modelo 3542 cuja modelação se encontra na Figura 77.



Figura 77 - Rolete tensor central da marca *Unirons* modelo 3542 (*Unirons*, 2019)..

Para que os roletes não saiam da posição em que são colocados, são utilizados anéis de retenção da marca *Unirons* do modelo 3539 cuja modelação se encontra representada na Figura 78.



Figura 78 - Anéis de retenção da marca *Unirons* do modelo 3539 (*Unirons*, 2019).

A montagem dos roletes e dos anéis de retenção no veio encontra-se representada na Figura 79.

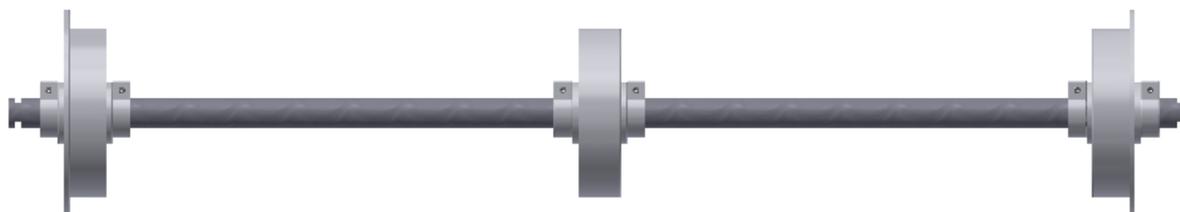


Figura 79 - Montagem dos roletes tensores e respetivos anéis de retenção.

Os roletes de apoio de carga são constituídos da mesma forma que os roletes tensores. A fixação dos veios dos roletes de apoio de carga é executada de forma similar aos roletes de retorno.

No que concerne à fixação do rolete tensor, é necessário utilizar um suporte que é ligado à aba inferior das guias laterais. Na Figura 80 encontra-se representado o suporte utilizado para a fixação do veio de apoio dos roletes tensores e a forma de ligação entre o veio e o suporte.

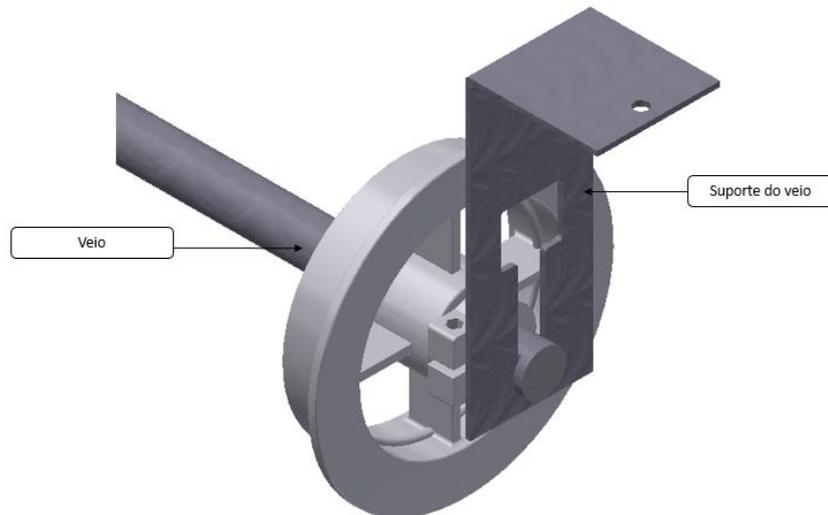


Figura 80 - Suporte para os roletes tensores e ligação do veio.

Como se verifica pela Figura 80 o suporte para os roletes tensores tem um rasgo que permite o deslocamento vertical dos roletes. O comprimento da correia transportadora é alterado com a ocorrência de contrações e dilatações térmicas. Com a alteração do comprimento da correia, os roletes deslocam-se verticalmente permitindo que esta seja sempre tensionada na mesma medida, garantindo que o engrenamento ocorre corretamente. Para permitir o deslizamento no rasgo do suporte, o veio apresenta 2 rasgos verticais como se pode verificar na Figura 79.

6.6.3 Colocação dos roletes

Existem várias regras no que diz respeito à colocação dos roletes, que devem ser respeitadas de forma a conseguir-se um bom funcionamento do tapete rolante (*Intralox*, 2019). No Anexo VIII, são descritos os diversos roletes utilizados, bem como os locais, ao longo do tapete, onde são colocados.

6.7 Chumaceiras de rolamentos

Com o objetivo de efetuar a ligação entre o eixo motor e movido à estrutura do tapete rolante foram utilizadas 4 chumaceiras de rolamentos. A seleção das chumaceiras de rolamentos foi realizada através da consulta do catálogo da marca SKF (2015). A SKF produz chumaceiras de rolamentos de diversos formatos e dimensões que devem ser escolhidos consoante a aplicação e as cargas a que estão sujeitas as chumaceiras (SKF, 2015). Para a aplicação em questão pretende-se que a chumaceira seja acoplada à estrutura de forma perpendicular ao eixo, uma vez que não existe a possibilidade de ligação de forma paralela ao mesmo. Assim, decidiu-se utilizar uma chumaceira de rolamentos flangeada do modelo FNL 505A da marca SKF. As chumaceiras da série FNL têm ainda a vantagem de permitir a vedação total dos eixos de rotação o que evita o contacto direto do operador com os mesmos, evitando-

se possíveis acidentes de trabalho (SKF,2015). Na Figura 81 é apresentada uma modelação do tipo de chumaceira escolhida, disponibilizada pela SKF.



Figura 81 - Chumaceira de rolamentos FNL 505A (SKF, 2015).

No lado do eixo motriz onde é necessário efetuar a ligação entre o eixo e o motor, a chumaceira deve possibilitar a passagem do veio. Assim para o caso descrito foi escolhida a chumaceira de rolamentos do modelo FNL 505B, representada na Figura 82, que prevê a que o veio transponha a mesma.



Figura 82 - Chumaceira de rolamentos FNL 505B (SKF, 2015).

Os eixos a acoplar nas chumaceiras de rolamentos têm o diâmetro de 20 mm. Para o diâmetro em questão estão disponíveis 4 rolamentos. No Anexo IX está representada a seleção dos rolamentos para as chumaceiras escolhidas.

6.8 Sistema de acionamento

Para proceder ao acionamento da correia transportadora optou-se pela utilização de um motor elétrico. Para permitir a ligação entre o veio do motor e o veio motor do tapete rolante, foi necessário utilizar uma união de veios. O motor elétrico e a união de veios são de seguida seleccionados.

6.8.1 Seleção do motorreductor

Os motores elétricos têm velocidades de rotação que variam entre 750 rpm e 3 000 rpm, dependendo do número de polos do motor (NORD, 2015). Como se pretende que a velocidade do veio motor tenha a velocidade de 41 rpm é necessário recorrer a um reductor de velocidade. Para o efeito,

resolveu-se utilizar um motorreductor, que consiste simplificadaamente num motor elétrico acoplado a um reductor de velocidade (*NORD*, 2015).

No Anexo X, é apresentado o procedimento utilizado para o cálculo da potência e binário do motorreductor. Para movimentar a correia transportadora é necessário fornecer 52,20 N.m de binário ao eixo motor. Desta forma, o motor necessita de produzir pelo menos 235,78 W de potência. Tendo em conta que, ao longo dos anos, as condições de operação podem ser alteradas, decidiu-se utilizar um motorreductor com o dobro do binário no eixo de saída e com o dobro da potência, isto é, com um binário de saída de pelo menos 104,40 N.m e com uma potência de no mínimo 471,55 W.

Conhecidos os valores de binário no eixo de saída e de potência pretendidos selecionou-se o motor do modelo SK 9012.1-80S/4 IG1 da marca *NORD*. Na Figura 83 está representada uma modelação fornecida pela *NORD*.

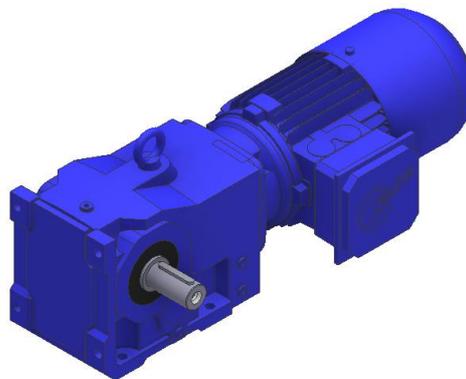


Figura 83 – Motorreductor SK 9012.1-80S/4 IG1 (*NORD*, 2015).

As especificações do motorreductor selecionado podem ser consultadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Especificações do motor SK 9012.1-80S/4. Adaptado de (*NORD*, 2015)

Modelo	Potência do motor (W)	Binário de saída (N.m)	Velocidade de saída (rpm)
SK 9012.1-80S/4	550	120	44

Como é possível verificar pela Tabela 14 a velocidade de saída do motorreductor é superior à pretendida, como consequência, a rotação do eixo motor será superior, pelo que a velocidade de transporte da correia transportadora será ligeiramente superior. No Anexo XI, é calculada a velocidade real da correia transportadora, obtendo-se o valor de 22,53 m/min, sendo este próximo do valor pretendido inicialmente de 21 m/min.

Para a fixação do motorreductor, foi projetado um suporte que consiste numa superfície plana que está soldada a 2 barras, que são posteriormente aparafusadas a 2 pernas da estrutura do tapete

rolante, sendo que uma delas já existe na estrutura original e outra é adicionada para o efeito. Na Figura 84 está representado o suporte do motor.

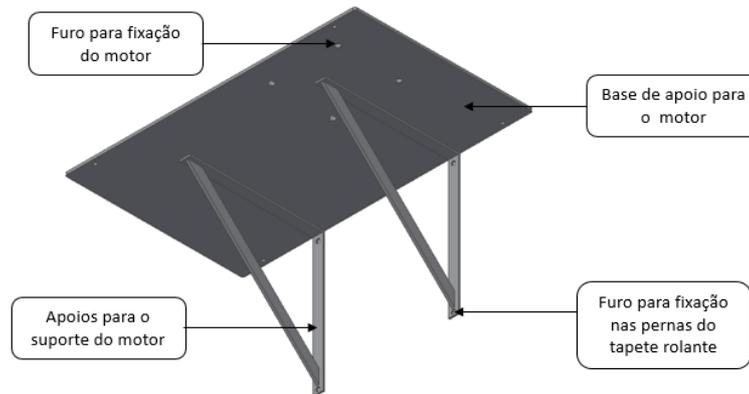


Figura 84 - Suporte do motorredutor.

Para reduzir as vibrações produzidas pelo motorredutor em funcionamento, foram utilizados apoios anti-vibratórios em borracha da marca *Imporseal* do modelo T 20-20. Os apoios anti-vibratórios selecionados têm a capacidade de suportar o peso de 20 kgf (*Imporseal*, 2014). Tendo em conta que, o peso do motor é de 32 kgf e são utilizados 4 apoios, os apoios selecionados suportam o peso do motor, conforme as recomendações do fabricante. Na Figura 85 está representado o apoio anti-vibratório selecionado.



Figura 85 - Suporte anti-vibratório de borracha da marca *Imporseal* do modelo T 20-20.

Como é possível verificar na Figura 85, o apoio anti-vibratório selecionado é composto por 2 fêmeas, que são introduzidas nos furos do suporte do motorredutor e do próprio motorredutor, e posteriormente fixadas por 2 fêmeas.

6.8.2 Seleção da união de veios

Para proceder à ligação do veio do motorredutor ao eixo motor do tapete rolante recorreu-se a uma união de veios.

Na aplicação em questão, esperam-se pequenos níveis de vibração, devido ao funcionamento do motorredutor e ao movimento do tapete, sendo estes reduzidos pela utilização de apoios anti-

vibratórios no apoio do motorreductor. Por outro, é importante que a união de veios selecionada permita um pequeno desalinhamento angular e paralelo, entre os dois veios a unir, que podem ser gerados na fase de montagem do tapete rolante. Desta forma decidiu-se utilizar uma união de veios flexível da marca SKF do tipo “*Jaw couplings*” uma vez que, segundo a SKF, apresenta as características requeridas. Este tipo de união de veios apresenta 2 flanges, onde são fixados os veios, e um elemento móvel, produzido em nitrilo, que se ajusta às flanges face à existência de desalinhamentos entre os veios (SKF, 2018). Na Figura 86 está representada uma união de veios do tipo “*Jaw couplings*”.

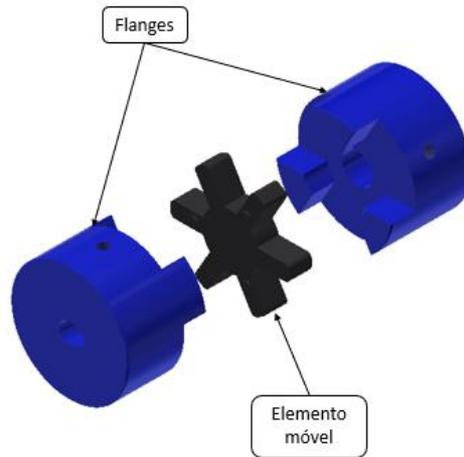


Figura 86 - União de veios "Jaw Coupling".

Para selecionar o modelo da união de veios é necessário ter em conta a potência transmitida pelo veio motor ao veio movido, o binário produzido pelo motorreductor e a velocidade de rotação dos veios a unir (SKF,2018). O processo de dimensionamento da união de veios é apresentado no Anexo XII. Assim, foi selecionada uma união de veios com uma flange do modelo PHE L150-20MM da SKF, uma flange do modelo PHE L150-30MM da SKF e um elemento móvel em nitrilo do modelo PHE L150NR da SKF. Na Figura 87 encontra-se representada a união de veios selecionada.

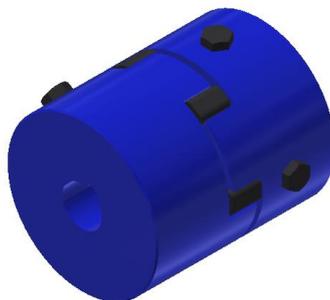


Figura 87 - União de veios selecionada.

6.9 Câmara de humidificação

A câmara de humidificação é uma parte essencial do projeto uma vez que é neste componente onde se vai realizar a humidificação das placas de hóstia. Assim, serão apresentados, de forma detalhada, todos os componentes constituintes da câmara de humidificação.

6.9.1 Estrutura da câmara de humidificação

A estrutura da câmara de humidificação consiste numa parede de chapa dupla com um isolamento térmico pelo interior. No projeto, utilizou-se uma chapa de aço inoxidável com 2 mm de espessura.

Como o ar no interior da câmara se encontra saturado por vapor de água, prevê-se a formação de gotículas, resultantes da condensação do vapor de água, nas paredes. Assim, para o teto da câmara de humidificação, optou-se por uma geometria triangular. Esta geometria, permite que as gotículas de água geradas escorram até às paredes laterais de forma a não atingirem as placas de hóstia, o que provocaria a redução da qualidade do produto. Na Figura 88 está representada uma vista explodida da modelação executada para a estrutura da câmara de humidificação.

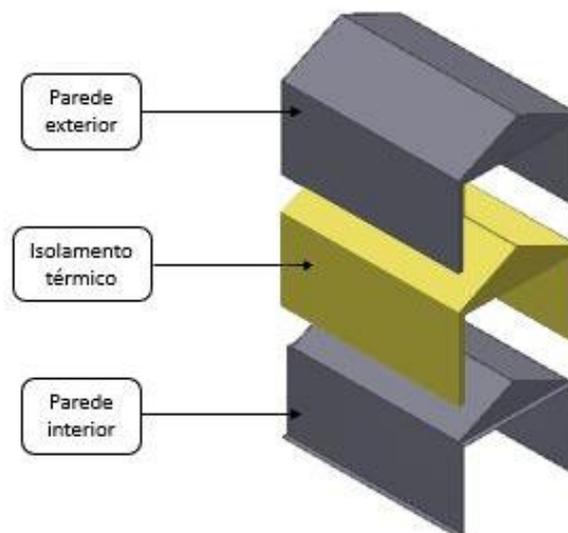


Figura 88 - Estrutura da câmara de humidificação e seus constituintes.

A parede exterior é soldada à parede interior nas extremidades de contacto, formando assim a estrutura da câmara de humidificação.

A fixação da câmara de humidificação à estrutura do tapete rolante é promovida por um suporte de ligação, constituído em chapa de aço inoxidável. Na Figura 89 está representado o suporte que permite a fixação da câmara à estrutura do tapete rolante.

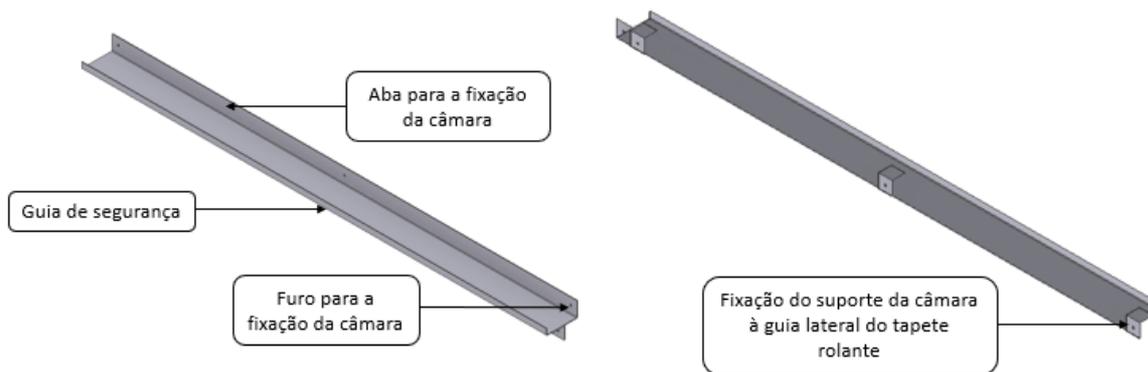


Figura 89 - Suporte para a fixação da câmara à estrutura do tapete rolante.

Como se verifica na Figura 89 o suporte apresenta dupla função. Para além da fixação da câmara ao tapete rolante, tem a função de guia de segurança no interior da câmara.

6.9.2 Isolamento térmico

Com o propósito de evitar a perda de calor pelas paredes da câmara é necessária a implementação de um isolamento térmico. As perdas de calor, pelas paredes da câmara, representam um gasto energético, uma vez que para compensar a saída de calor é necessário despende mais energia no aquecimento da câmara para que a temperatura de humedificação se mantenha constante. No Anexo XIII, é apresentado o material do isolamento térmico, bem como o cálculo da sua espessura, sendo que foi selecionado um isolamento térmico em poliuretano (PU) com 40 mm de espessura.

6.10 Portas da câmara de humedificação

Para permitir a entrada e saída das placas de hóstia e dos respetivos suportes, a câmara de humedificação está provida de 2 portas.

A abertura e fecho das portas têm de ser realizada na vertical para que o movimento da porta não interfira com as placas e suportes que se encontram no tapete rolante imediatamente antes e depois da porta. A porta projetada para a câmara de humedificação é constituída por uma parede dupla de chapa em aço inoxidável e por um isolamento térmico em PU, com a espessura de 40 mm, entre as duas chapas, assemelhando-se a sua construção ao executado para as paredes da câmara de humedificação. Na Figura 90 encontra-se representada a porta projetada, bem como os seus principais componentes.

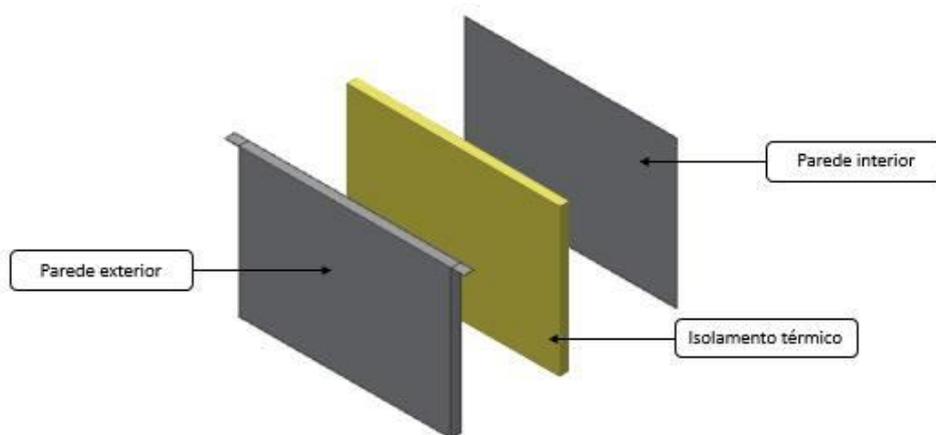


Figura 90 - Porta projetada e seus principais componentes.

As extremidades da parede interior e exterior são soldadas produzindo-se desta forma as portas da câmara de humidificação.

Para permitir o deslizamento das portas no seu movimento de abertura e fecho, foram concebidas guias de deslizamento constituídas numa chapa em aço inoxidável quinada, de forma a formar um perfil em L à medida das portas. Para evitar o deslizamento entre duas superfícies de aço inoxidável, o que provocaria ruídos incomodativos, foram aparafusadas às guias de desgaste perfis em L de *nylon*, maquinadas com as dimensões pretendidas. Para permitir que as guias de *nylon* sejam perfeitamente lisas, os parafusos são colocados em furos com reentrâncias, que permitem que as cabeças dos parafusos de ligação às guias em aço inoxidável não entrem em contacto com a porta. Na Figura 91 encontra-se representada a modelação uma das guias de deslizamento das portas da câmara de humidificação.

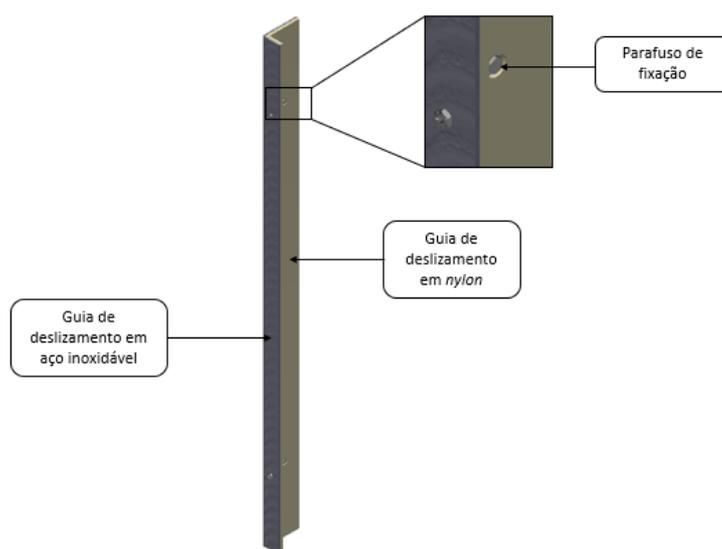


Figura 91 - Guia de deslizamento das portas da câmara de humidificação.

A guia de deslizamento das portas em aço inoxidável é soldada à câmara de humidificação. Na Figura 92 é possível verificar a colocação das guias de deslizamento das portas na câmara de humidificação bem como a forma como é precedido o deslizamento entre a porta e as guias.

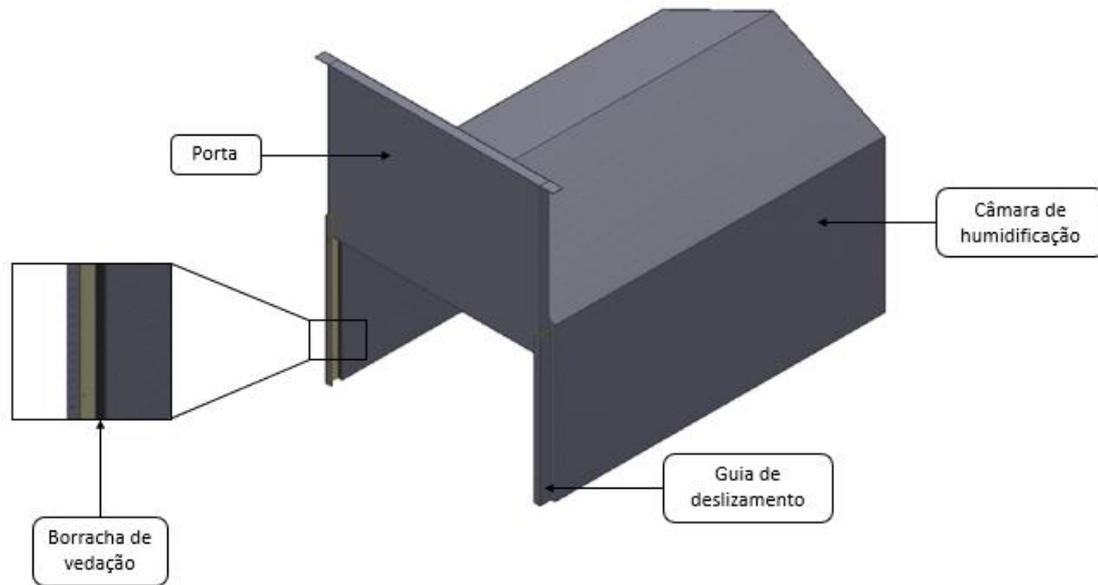


Figura 92 - Montagem das guias de deslizamento na câmara de humidificação.

Como é possível verificar na Figura 92, foi colocada uma borracha de vedação, entre a câmara de humidificação e a porta, com o propósito de reduzir a perda de calor e de vapor de água do interior para o exterior da câmara de humidificação.

6.10.1 Acionamento das portas da câmara de humidificação

Para acionar a abertura e fecho das portas, decidiu-se utilizar cilindros pneumáticos, que elevarão e descerão as portas da câmara de humidificação, no momento de entrada e saída de suportes com placas de hóstia. Cada porta é elevada por 2 cilindros pneumáticos, sendo um colocado do lado direito da porta e outro do lado esquerdo, permitindo assim uma abertura estável da porta.

Na seleção de um cilindro, é necessário ter em consideração diversos aspetos: diâmetro do êmbolo, curso do cilindro e força que o cilindro tem de fornecer. Pretende-se que a abertura da porta permita a passagem do suporte com placas de hóstia que tem a altura de 44 cm, assim, esse valor representa o curso mínimo que o cilindro deve permitir. Por outro lado, cada porta tem um peso aproximado de 24,64 kgf pelo que cada cilindro deve ser capaz de elevar metade desse valor, ou seja, 12,32 kgf. Tendo em conta as exigências anteriormente descritas, falta apenas compreender qual é o diâmetro mínimo do êmbolo que permite a elevação do peso descrito. No Anexo XIV, é apresentado o cálculo do diâmetro mínimo do êmbolo, sendo obtido o valor de 14,83 mm.

Tendo em conta as especificações necessárias, foi selecionado um cilindro pneumático da marca *camozzi* do modelo 24N2A20A500. O cilindro selecionado tem um diâmetro de êmbolo de 20 mm e um curso de 50 cm, pelo que é ajustado à aplicação pretendida. O cilindro pneumático escolhido é de duplo efeito, o que é vantajoso para a aplicação pretendida, pois permite o controlo, tanto do avanço como do recuo. Na Figura 93 está representada a modelação, fornecida pela *camozzi*, do cilindro pneumático escolhido.



Figura 93 - Cilindro pneumático da *camozzi* modelo 24N2A20A500 (*Camozzi*, s.d.).

Para fixar os cilindros pneumáticos à estrutura da câmara de humidificação foram projetados suportes em chapa de aço inoxidável, que são posteriormente soldados à parede exterior da câmara de humidificação. A ligação entre o cilindro pneumático e o suporte é realizada por apoios, fornecidos pela *camozzi*, para o cilindro selecionado sendo estes aparafusados ao suporte do cilindro. Na Figura 94 é possível verificar a ligação entre o cilindro pneumático e o suporte para a ligação à câmara de humidificação.



Figura 94 - Cilindro pneumático fixo ao suporte de ligação à câmara de humidificação.

Como foi referido anteriormente, o suporte do cilindro pneumático é soldado à estrutura da câmara de humificação. Os cilindros pneumáticos são ligados às portas através da fixação da sua haste à face superior da porta, por meio da utilização de porcas que são roscadas à haste do cilindro. Na Figura 95 encontra-se representado o posicionamento dos cilindros pneumáticos na câmara de humificação bem como a ligação dos mesmos à porta.

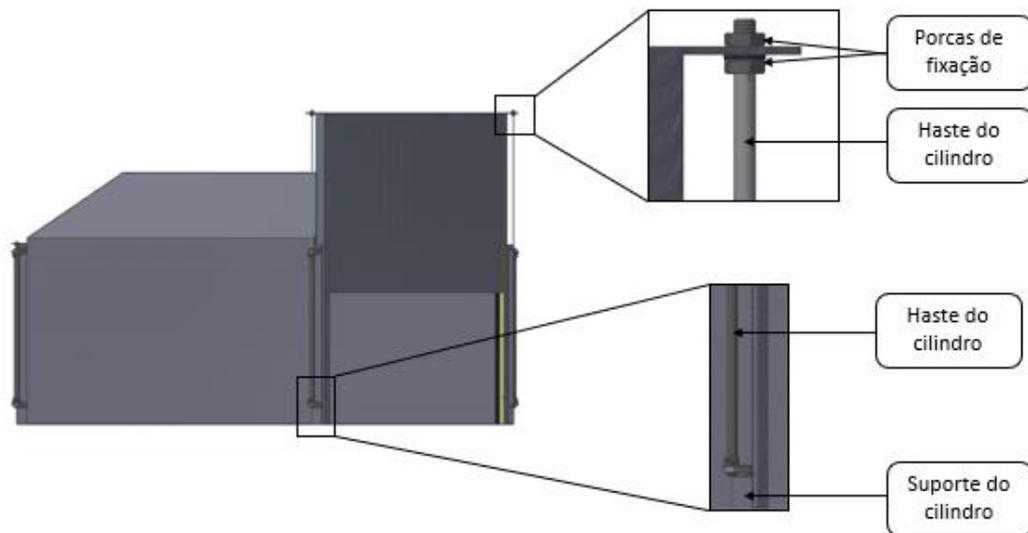


Figura 95 - Localização da fixação dos cilindros na câmara e na porta da câmara.

6.11 Porta para limpeza da câmara de humificação

Para possibilitar a limpeza da câmara de humificação, decidiu-se adicionar 2 portas nas paredes laterais da câmara. Estas portas são introduzidas no centro de cada uma das paredes laterais da câmara, sendo a sua abertura manual. Na Figura 96 é possível visualizar uma das portas para a limpeza da câmara de humificação.

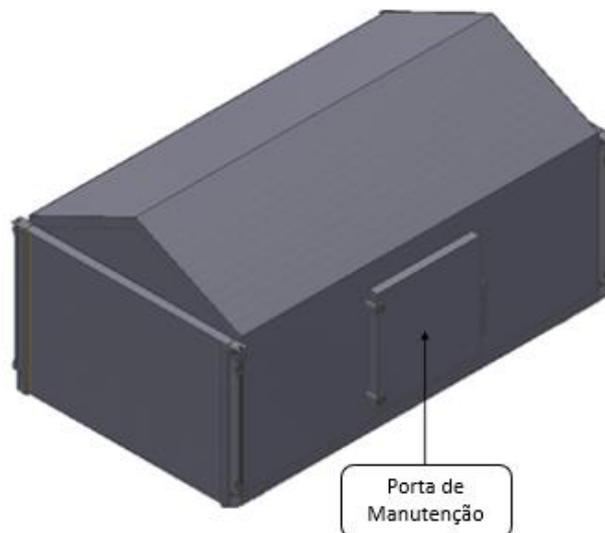


Figura 96 - Porta de limpeza da câmara.

A porta, representada na Figura 96, é composta por chapa dupla de aço inoxidável com isolamento térmico em PU de 40 mm no interior.

6.12 Aquecimento e humidificação do ambiente da câmara

Para proceder ao aquecimento e humidificação do interior da câmara, decidiu-se utilizar uma solução semelhante ao encontrado na câmara de humidificação existente no IMA, isto é, o vapor de água é gerado pela evaporação de água que é aquecida por resistências elétricas submersas em água. Esta solução foi escolhida pela sua simplicidade e por garantir uma humidade relativa no interior próxima dos 100 %. O aquecimento do ambiente interior da câmara é garantido pelo vapor de água gerado.

6.12.1 Depósito

O depósito é constituído por uma parede dupla de chapa de aço inoxidável com um isolamento térmico em PU de 40 mm pelo interior. O isolamento térmico é utilizado com o propósito de reduzir a perda de calor da água do depósito para o ambiente exterior, diminuindo assim o consumo de energia do equipamento. Na Figura 97 é possível verificar a constituição do depósito bem como os componentes que o constituem.

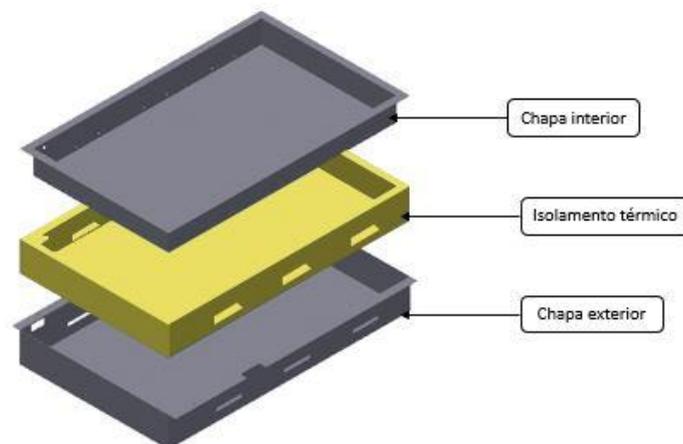


Figura 97 - Depósito e seus constituintes.

A parede exterior do depósito é fixada às guias laterais da estrutura do tapete rolante por meio de 3 parafusos de cada lado como está representado na Figura 98.

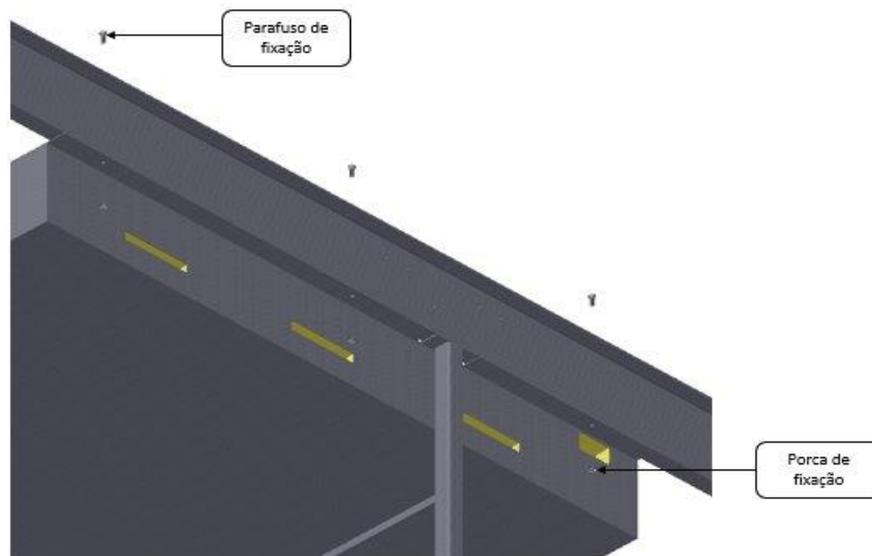


Figura 98 - Fixação do depósito à estrutura do tapete rolante.

6.12.2 Resistências elétricas

Para promover o aquecimento da água do depósito foram utilizadas resistências submersas em água. Com esta solução pretende-se que o aquecimento da água, desde a temperatura ambiente até ao ponto de funcionamento, seja realizada no máximo em 30 minutos e, desta forma, as resistências elétricas têm de ter uma potência suficiente para aquecer a água no tempo pretendido.

A potência necessária às resistências elétricas é calculada no Anexo XV, obtendo-se o valor de 6,418 kW

Na seleção das resistências elétricas, para além da potência, é importante ter em conta a distribuição das resistências no depósito para que o aquecimento da água seja feito de forma uniforme. Desta forma, selecionaram-se 6 resistências da marca *Bosch-Siemens* do modelo S-00684105. O modelo selecionado tem a potência de 1,2 kW sendo que as 6 resistências perfazem uma potência de 7,2 kW (Pigmento, s.d.). As dimensões do modelo selecionado são também adequadas ao projeto, uma vez que o conjunto das resistências elétricas promovem uma distribuição uniforme pelo depósito. A modelação do modelo de resistência elétrica selecionado encontra-se representado na Figura 99.

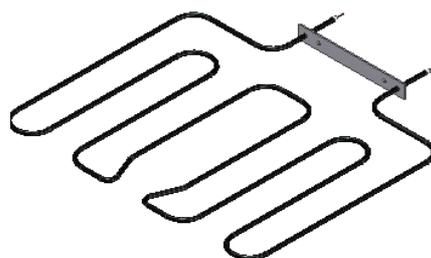


Figura 99 - Modelação da resistência da *Bosch-Siemens* modelo S-00684105.

Nos pontos de fixação das resistências elétricas, não é possível a utilização de isolamento térmico para permitir a fixação da resistência e, para que a mesma não esteja em contacto direto com o isolamento térmico. Posto isto, decidiu-se utilizar um espaço sem isolamento térmico onde é colocada uma peça de ligação, entre a parede interior e exterior do depósito, em chapa de aço inoxidável sendo esta posteriormente soldada à parede interior e à parede exterior. Na Figura 100 é possível visualizar a fixação das resistências elétricas no depósito e a peça de ligação entre a parede interior e exterior.

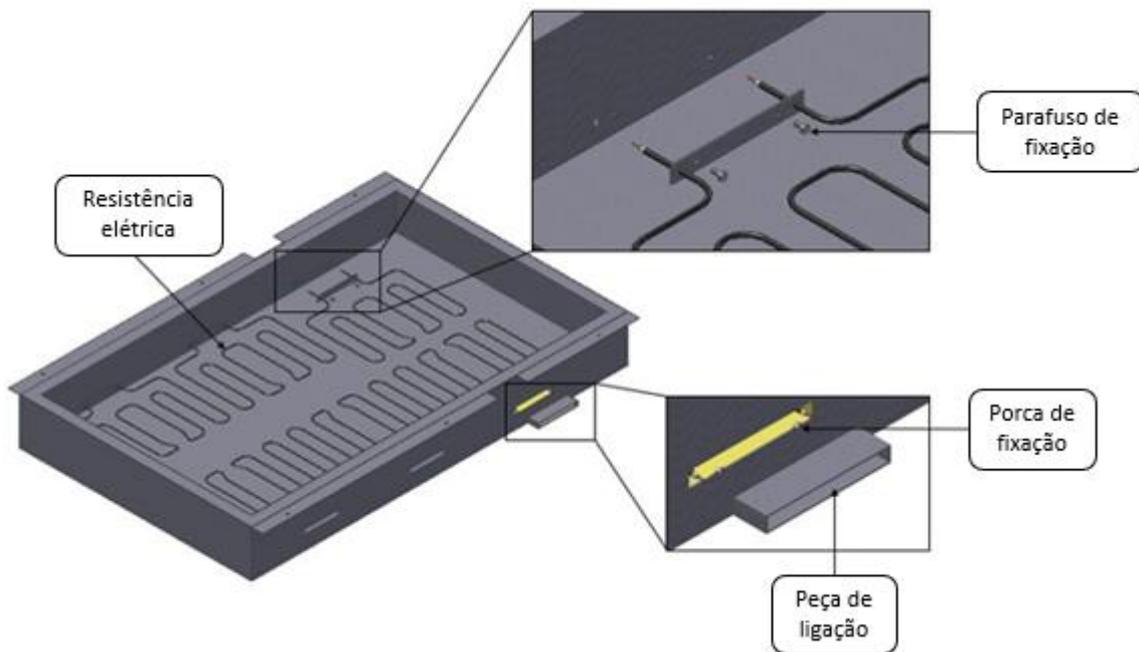


Figura 100 - Fixação das resistências elétricas e da peça de ligação entre parede interior e exterior.

6.12.3 Regulação do nível de água no depósito

Com a evaporação provocada pelo aquecimento da água, o nível da água no depósito diminui. Desta forma, é necessário alimentar o depósito com água para garantir que existe sempre água para evaporar e humidificar as placas de hóstia.

A alimentação é feita, pela ligação da rede de água das instalações, ao depósito da câmara de humidificação. Para que a alimentação seja feita de forma automática é necessário definir um nível para o qual existe a entrada de água no depósito. Assim, decidiu-se utilizar uma válvula boia em aço inoxidável, da marca *Genebre* do modelo 3886 04 + 3887 090, para controlar a entrada de água no depósito (Genebre, 2014). Na Figura 101 é possível visualizar a modelação da válvula de boia selecionada.

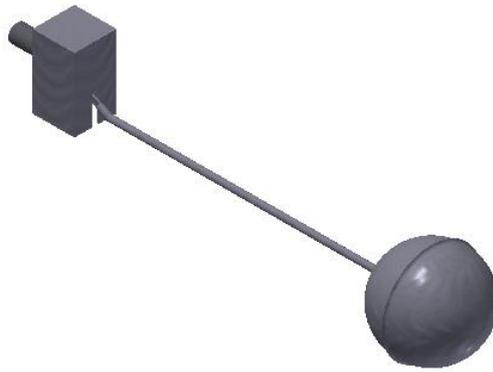


Figura 101 - Modelação da válvula boia selecionada.

A válvula selecionada tem uma posição de fecho que não permite a entrada de água no depósito. Assim, a posição de fecho da válvula define o nível de água que é considerado o ideal. Quando a válvula não se encontra na posição de fecho, permite a entrada de água até ao nível definido como ideal. Para a aplicação em estudo, o nível de água ideal é de aproximadamente 5 cm para garantir que as resistências elétricas estão sempre submersas e a aquecer a água do depósito.

Para permitir a fixação da válvula boia na parede interior do depósito existe um espaço onde não é utilizado isolamento térmico. A ligação entre a parede interior e exterior é promovida por uma peça de ligação produzida em chapa de aço inoxidável que é posteriormente soldada às paredes. Na está representada a estratégia utilizada para a fixação da válvula na parede do depósito e a peça de ligação entre a parede interior e exterior.

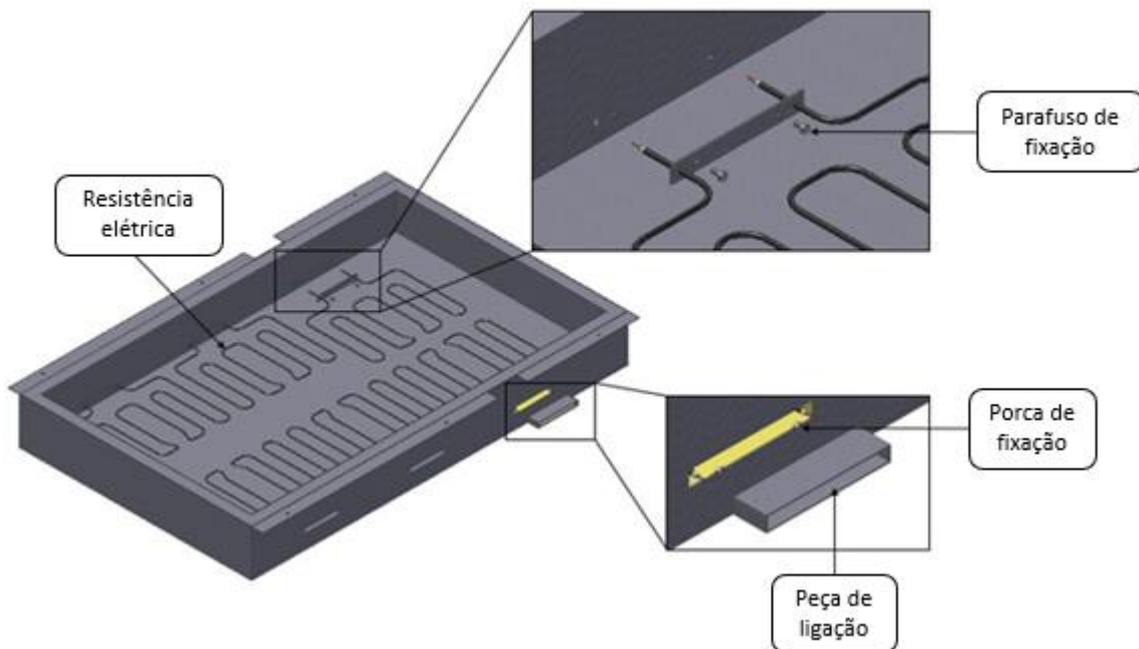


Figura 102 - Fixação das resistências elétricas e da peça de ligação entre parede interior e exterior.

6.13 Identificação de perigos para o operador

Com o objetivo de evitar acidentes de trabalho, realizou-se uma análise aos possíveis perigos da utilização da máquina por parte do operador. Foram identificadas essencialmente 2 situações que, pela utilização da máquina, podem representar um perigo para o operador. Uma das situações é a abertura das portas da câmara de humificação, onde o operador pode estar debruçado sobre a câmara de humificação podendo resultar em dano físico no utilizador. A outra situação identificada foi o sistema de acionamento em funcionamento, onde podem surgir problemas no contacto com os eixos em movimento. Desta forma, decidiu-se proteger os componentes citados de forma a não possibilitar o contacto destes com o operador.

6.13.1 Proteção das portas da câmara de humificação

Para evitar o contacto entre as portas da câmara de humificação e o operador da máquina, utilizou-se uma proteção em rede ondulada em aço inoxidável. A rede é soldada a uma estrutura composta por cantoneiras, da norma DIN 59370⁶, em aço inoxidável. A proteção das portas da câmara de humificação encontra-se representada na Figura 103.

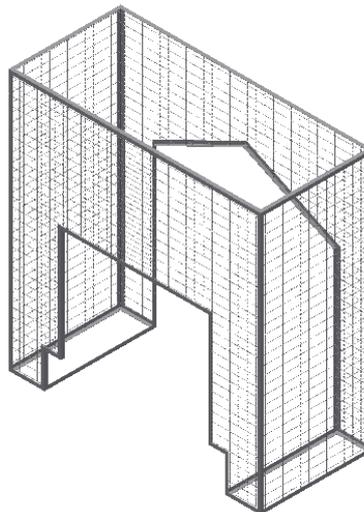


Figura 103 - Proteção das portas da câmara de humificação.

A fixação da proteção das portas é feita através do aparafusamento entre a câmara e as cantoneiras em contacto com a mesma.

⁶ Norma DIN 59370 – Normalização de cantoneiras (DIN 59370, 2008).

6.13.2 Proteção do motorreductor

Com o propósito de evitar o contacto entre o operador e o motorreductor, projetou-se uma proteção composta por rede ondulada em aço inoxidável, sendo que no local onde ocorre a passagem do veio do motorreductor é feito um corte na rede. A rede é soldada a uma estrutura constituída por cantoneiras, da norma DIN 59370, em aço inoxidável.

As dimensões da proteção foram pensadas de forma a que a proteção fique encostada às guias laterais do tapete rolante, evitando-se o possível contacto do operador com os veios ligados pela união de veios.

Na Figura 104 encontra-se representada a modelação da proteção do motorreductor.

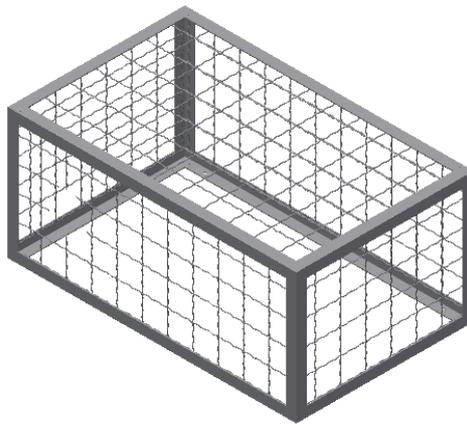


Figura 104 - Proteção do motorreductor.

6.14 Projeto de automação

Com o objetivo de controlar o funcionamento do equipamento projetado, torna-se necessário automatizar o processo. Para tal é necessário identificar o funcionamento do equipamento e posteriormente selecionar todos os componentes eletrónicos necessários à automatização do processo.

6.14.1 Funcionamento do equipamento

Para obter uma correta humedificação, é necessário que as placas de hóstia sejam humedificadas por um período de aproximadamente 15 minutos, num ambiente com a temperatura de aproximadamente 55 °C e com uma humidade relativa de 100%. Por outro lado, para ter a cadência suficiente para dar resposta ao processo de corte, é necessário humedificar 40 placas de hóstia a cada 3 minutos. Desta forma, decidiu-se introduzir 2 suportes, com 20 placas de hóstia cada, simultaneamente na câmara de humedificação. O tapete rolante tem um funcionamento intermitente, avançando em intervalos de 3 minutos, sendo que a câmara de humedificação permite a inclusão de 5

pares de suportes. Desta forma a cada 3 minutos são introduzidas 40 placas na câmara de humidificação, sendo que estas passam por 5 estágios dentro da câmara, ficando assim 15 minutos no interior da câmara. Simultaneamente ocorre a saída de 40 placas da câmara de humidificação, obtendo-se a cadência necessária.

Tendo em conta o processo de funcionamento descrito, é necessário controlar a temperatura do interior da câmara de humidificação, o avanço do tapete rolante e a abertura e fecho de portas da câmara de humidificação. Para melhor precessão das operações necessárias ao processo de funcionamento, procedeu-se à elaboração de um fluxograma, representado na Figura 105, onde estão explicitas as operações necessárias ao processo.

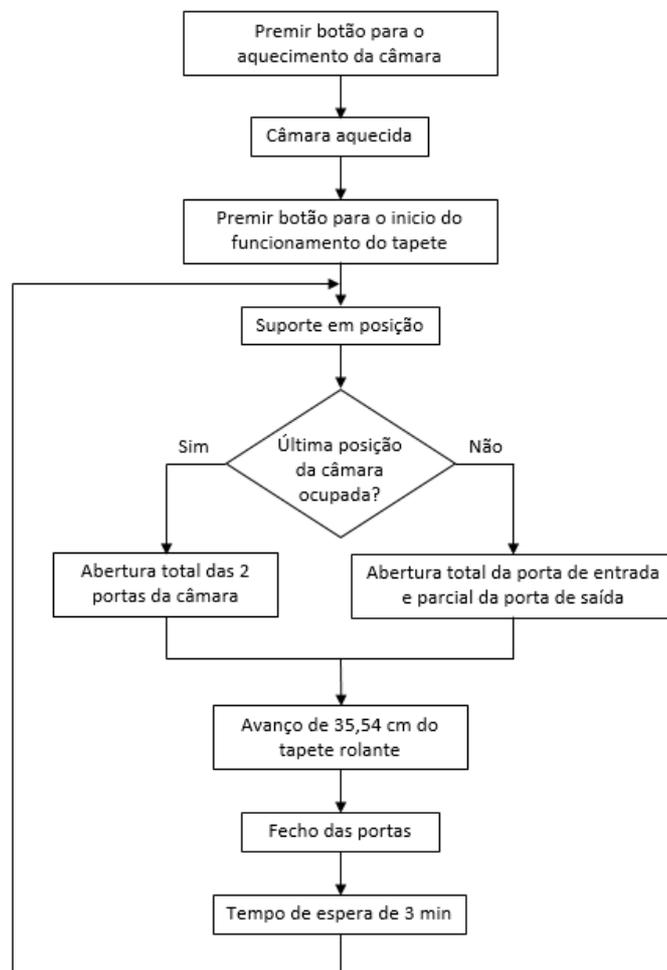


Figura 105 - Fluxograma das operações necessárias ao funcionamento do equipamento.

Como se verifica na Figura 105, o funcionamento da câmara é iniciado pela ordem para o aquecimento da câmara de humidificação. Após ser atingida a temperatura de funcionamento ideal, é dada a ordem para o início do funcionamento do tapete rolante. Com o suporte em posição para a entrada na câmara de humidificação é verificado se a câmara está preenchida na última posição, isto é,

junto à porta de saída da câmara de humidificação. Caso essa posição esteja ocupada, ocorre a abertura total de ambas as portas da câmara, caso isso não aconteça a porta onde ocorre a entrada dos suportes com placas abre completamente, enquanto a porta de saída abre parcialmente, permitindo apenas a passagem das taliscas da correia transportadora. Esta medida visa diminuir a perda de calor pela abertura total da porta de saída, quando isso seria desnecessário. Verificada a situação, ocorre o avanço de 35,54 cm do tapete rolante, sendo esta a distância necessária para a introdução total dos suportes no interior da câmara de humidificação. De seguida ocorre o fecho das portas da câmara e finalmente são esperados 3 min para que o processo se volte a repetir.

Para possibilitar a automatização do processo é necessária a utilização de vários tipos de sensores, duas válvulas pneumáticas e um controlador lógico programável (PLC) para possibilitar o controlo de todos os componentes.

6.14.2 Sensores

Para a automatização do processo de funcionamento do equipamento projetado decidiu-se recorrer a 4 tipos de sensor.

- **Sensor de temperatura:** Com o objetivo de controlar a temperatura interior da câmara de humidificação;
- **Encoder:** Para controlar o avanço do tapete rolante;
- **Sensor indutivo:** Com o propósito de verificar a presença de suportes junto à porta de saída da câmara de humidificação;
- **Sensor magnético de início e fim de curso:** Para controlar o avanço e recuo dos cilindros pneumáticos.

De seguida serão apresentados os sensores selecionados, bem como o posicionamento dos mesmos no equipamento projetado.

Sensor de temperatura

Com o objetivo de controlar a temperatura interior da câmara de humidificação, decidiu-se utilizar um sensor de temperatura da *OMRON* do modelo E52-ELTJ5-100-2-UM. O sensor selecionado utiliza um termopar do tipo J e pode ser utilizado numa gama de temperaturas entre os 0 e os 400 °C (*OMRON*, s.d.). Como se prevê que o ar interior da câmara esteja a uma temperatura em torno dos 55 °C, o sensor selecionado é perfeitamente ajustado. Na Figura 106 é possível visualizar o modelo do sensor selecionado.



Figura 106 - Sensor E52-ELTJ5-100-2-UM da *OMRON* (*OMRON*, 2018).

O sensor de temperatura foi colocado no centro da zona superior da câmara como é possível verificar na Figura 107, onde é representada uma vista em corte da câmara de humificação.

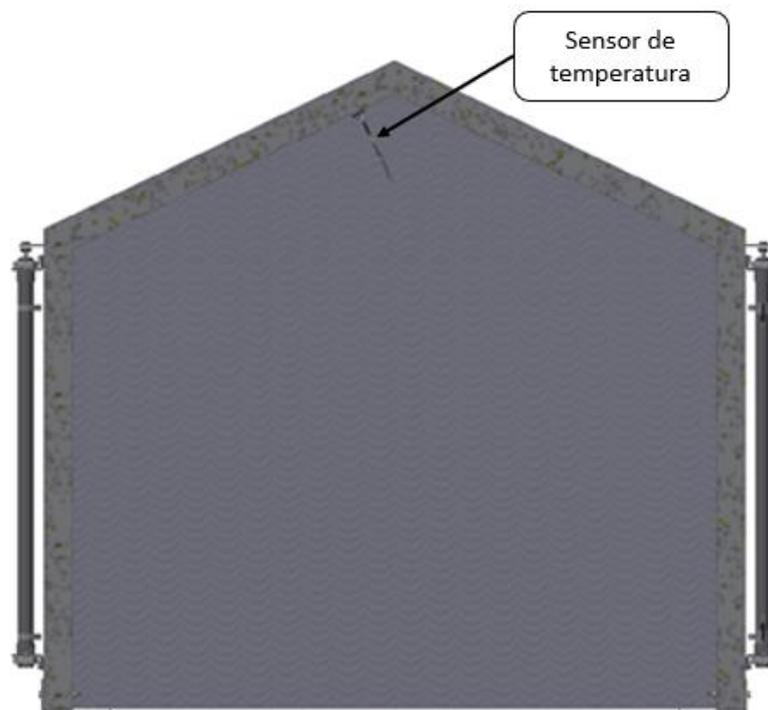


Figura 107 - Introdução do sensor de temperatura na câmara de humificação.

Para definir a temperatura pretendida para o ar interior da câmara de humificação, decidiu-se utilizar um controlador de temperatura da *OMRON* do modelo E5CSV-R1T-500 100-240 VAC. Este controlador permite definir a temperatura pretendida, que no caso é de 55 °C, sendo o sensor de temperatura é ligado ao controlador.

Encoder

Com o objetivo de controlar o avanço do tapete rolante, decidiu-se utilizar um *encoder* rotativo incremental. Este componente é ligado diretamente ao eixo do motor e tem a capacidade de contar as rotações do mesmo. Para tal o *encoder* utiliza um transmissor de luz e um sensor de luz. Entre estes

componentes existe um disco que contém diversas fendas. Desta forma, a luz é recebida no sensor de luz apenas quando o feixe atravessa uma das fendas permitindo assim a medição das interrupções do feixe de luz, o que possibilita calcular o número de rotações do motor (*OMRON*, s.d.).

O motorreductor pode ser adquirido com um *encoder* rotativo incremental, do modelo 1024 PPR, incorporado pelo que não é necessário selecionar um dispositivo de forma independente (*NORD*, 2015).

Conhecendo o avanço pretendido para o tapete rolante e o diâmetro da roda dentada é possível controlar o avanço do tapete pelo número de rotações do motorreductor. Pretende-se que o avanço do tapete seja de 35,56 cm. Sabendo que o diâmetro da roda dentada é de 16,3 cm, para se obter o avanço pretendido é necessário rodar o eixo do motor cerca de 0,6944 voltas.

Sensor indutivo

Para detetar a ocupação da última posição da câmara de humificação, decidiu-se utilizar um sensor indutivo. Este tipo de sensor é capaz de detetar qualquer objeto metálico que entre no seu campo magnético, sendo que, dependendo do sensor, deteta objetos metálicos a maior ou menor distância (*OMRON*, s.d.).

O sensor indutivo será colocado no interior da câmara pelo que deve ser resistente à oxidação. Desta forma, o sensor escolhido foi o modelo E2A-M08KN04-M1-B1 da *OMRON*- representado na Figura 108 - sendo constituído em aço inoxidável. O alcance do sensor é de 4 mm, o que é suficiente para a aplicação pretendida (*OMRON*, 2018.).



Figura 108 - Sensor indutivo E2A-M08KN04-M1-B1 (*OMRON*, 2018).

O objeto a detetar pelo sensor indutivo é o suporte das placas de hóstia, pelo que deve ser colocado numa posição em consiga detetar a parte metálica do suporte. Como já foi referido, o sensor selecionado tem um alcance máximo de 4 mm, pelo que esta é a distância máxima entre o sensor e o suporte. Na Figura 109 é possível verificar a colocação do sensor junto à porta de saída, bem como a sua proximidade em relação ao suporte das placas de hóstia.

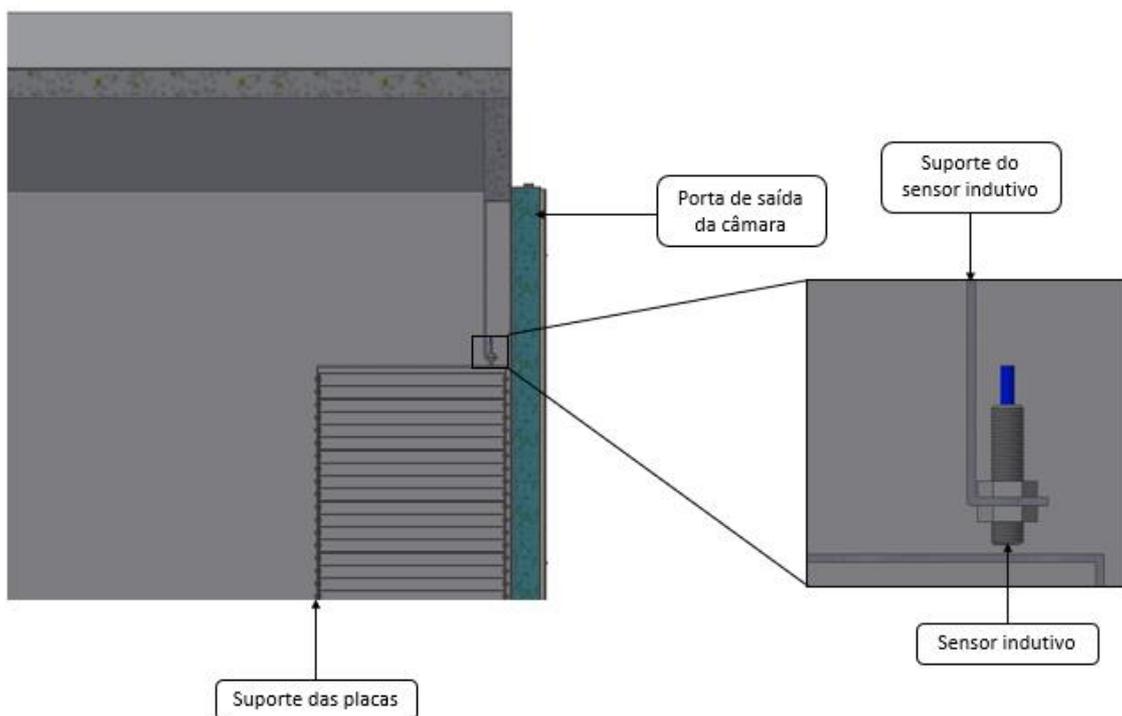


Figura 109 - Colocação do sensor indutivo no interior da câmara.

Sensor magnético de início e fim de curso

Com o objetivo de identificar o início e fim de curso dos cilindros pneumáticos utilizados para a abertura e fecho de portas, decidiu-se utilizar sensores magnéticos. Este tipo de sensores permitem detetar a proximidade do êmbolo do cilindro pneumático, conseguindo-se desta forma detetar o início e fim de curso (*OMRON*, s.d.). Assim, utilizaram-se os sensores magnéticos de início e fim de curso da *camozzi* do modelo CST-220 que se encontram representados na Figura 110.

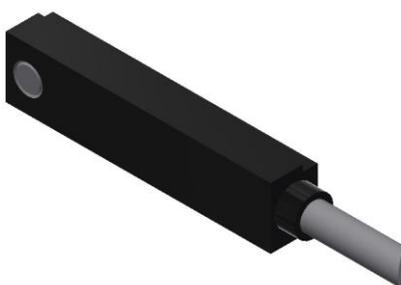


Figura 110 - Sensor CST-220 (*Camozzi*, s.d.)

Para fixar os sensores aos cilindros pneumáticos, foram utilizadas braçadeiras de fixação, da *camozzi* do modelo S-CST-03, com dimensões específicas para o cilindro selecionado. No caso da porta de entrada da câmara de humedificação, os sensores magnéticos devem ser colocados no início e fim de curso de forma a permitir a abertura total da mesma. A fixação dos sensores nos cilindros pneumáticos responsáveis pela abertura da porta de entrada da câmara encontra-se representada na Figura 111.

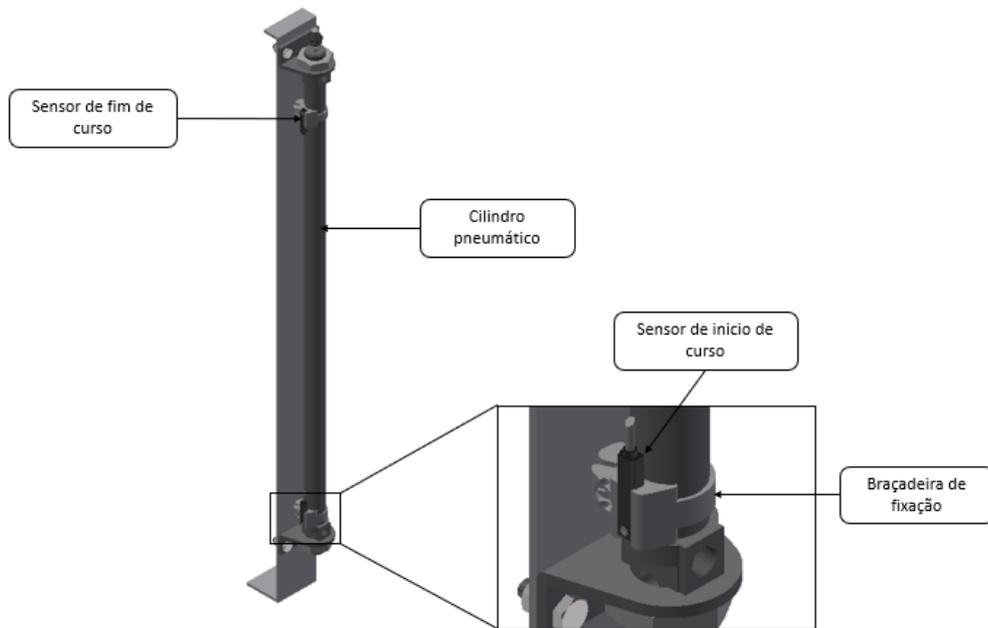


Figura 111 - Fixação do sensor de início e fim de curso para a porta de entrada da câmara.

Por outro lado, nos cilindros da porta de saída da câmara de humidificação, para além da abertura total da porta, pretende-se que a porta abra parcialmente, para permitir a passagem das taliscas da correia transportadora, quando não ocorre a saída de suportes com placas pela mesma. Assim, foram utilizados 3 sensores magnéticos, onde o primeiro representa o início de curso, o segundo identifica o fim de curso para uma abertura parcial da porta, e o terceiro que define o fim de curso para a abertura total da porta. Na Figura 112 encontra-se representado um dos cilindros pneumáticos, que permitem a movimentação da porta de saída da câmara, com a fixação dos 3 cilindros descritos.

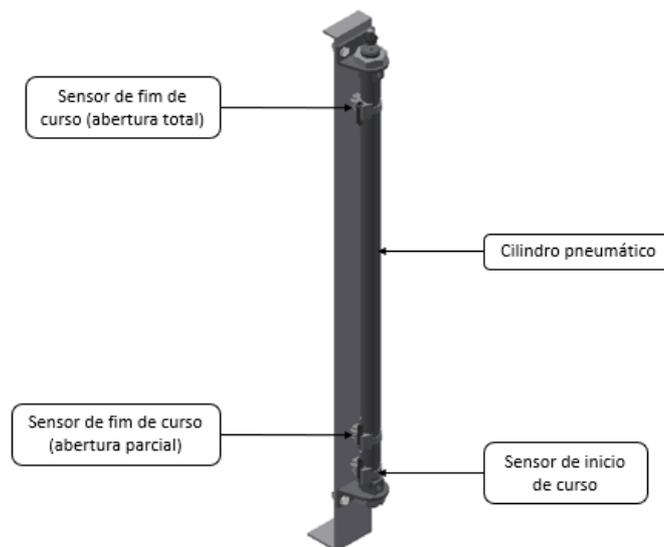


Figura 112 - Fixação dos sensores nos cilindros da porta de saída da câmara.

6.14.3 Electroválvulas

Com o propósito de controlar os movimentos dos cilindros pneumáticos foram utilizadas 2 electroválvulas, uma para cada par de cilindros. Para auxiliar à escolha das electroválvulas a utilizar, foi elaborado um esquema, recorrendo ao *software Automation Studio*, onde se encontra representado um par de cilindros, responsável pela abertura de uma das portas, e a electroválvula que permite o controlo dos mesmos. O esquema encontra-se representado na Figura 113.

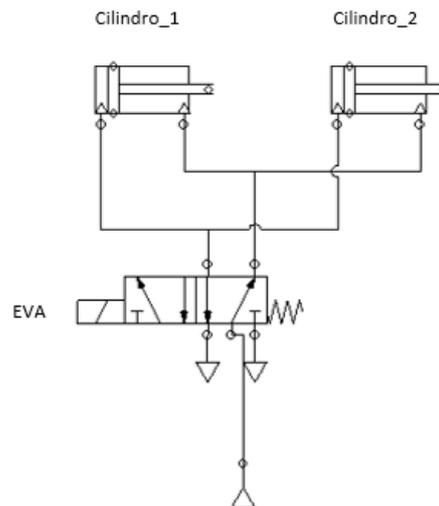


Figura 113 – Esquema do controlo de um par de cilindros por uma electroválvula.

Como o cilindro pneumático é de duplo efeito, torna-se necessário utilizar válvulas de 5/2, isto é, com 5 entradas e 2 estados. Desta forma decidiu-se utilizar 2 válvulas monoestáveis, uma para cada par de cilindros, da *camozzi* do modelo 358-015-02. O tipo de válvula selecionado, muda de estado quando é atuada eletricamente e recua pela ação de uma mola. Na Figura 114 está representada a válvula selecionada.



Figura 114 - Válvula da *Camozzi* do modelo 358-015-02 (*Camozzi*, s.d.)

6.14.4 Controlador lógico programável (PLC)

Para possibilitar o controlo das operações necessárias ao funcionamento do equipamento, decidiu-se utilizar um PLC.

Quando se pretende seleccionar um autómato existem vários fatores a ter em conta: a intensidade de corrente, a tensão, o número de entradas e o número de saídas. Os componentes que necessitam de uma intensidade de corrente e voltagem elevada, como o motor e as resistências elétricas, necessitam de uma fonte de alimentação externa pelo que, o PLC apenas terá de ter uma voltagem e intensidade de corrente suficientes para alimentar o sensor indutivos, os sensores magnéticos, o sensor de temperatura e o *encoder*. Estes componentes têm baixas exigências no que diz respeito à voltagem e intensidade de corrente pelo que, na seleção do PLC, teve-se em conta essencialmente o número de entradas e saídas necessárias.

Às entradas do PLC são ligados 6 sensores magnéticos, 1 sensor de temperatura, 1 sensor indutivo e 1 *encoder* pelo que são necessárias 9 entradas. Às saídas do PLC são ligados o motor, as resistências elétricas, o *LED* e 2 electroválvulas, pelo que são necessárias 5 saídas. Desta forma decidiu-se utilizar o PLC do modelo CP1E-E20SDR-A da *OMRON*, representado na Figura 115.



Figura 115 - PLC do modelo CP1E-E20SDR-A (*OMRON*, 2018).

O PLC seleccionado tem 12 entradas e 8 saídas a relé, pelo que é suficiente para a aplicação em questão (*OMRON*, 2018).

Programação do PLC

Com o propósito de controlar o funcionamento do equipamento, desenvolveu-se um *grafcet*, recorrendo ao *software Automation Studio*, onde estão representadas todas as operações executadas pelo equipamento projetado, bem como todos os componentes necessários para possibilitar o controlo do processo. Na Figura 116 encontra-se representado o *grafcet* desenvolvido.

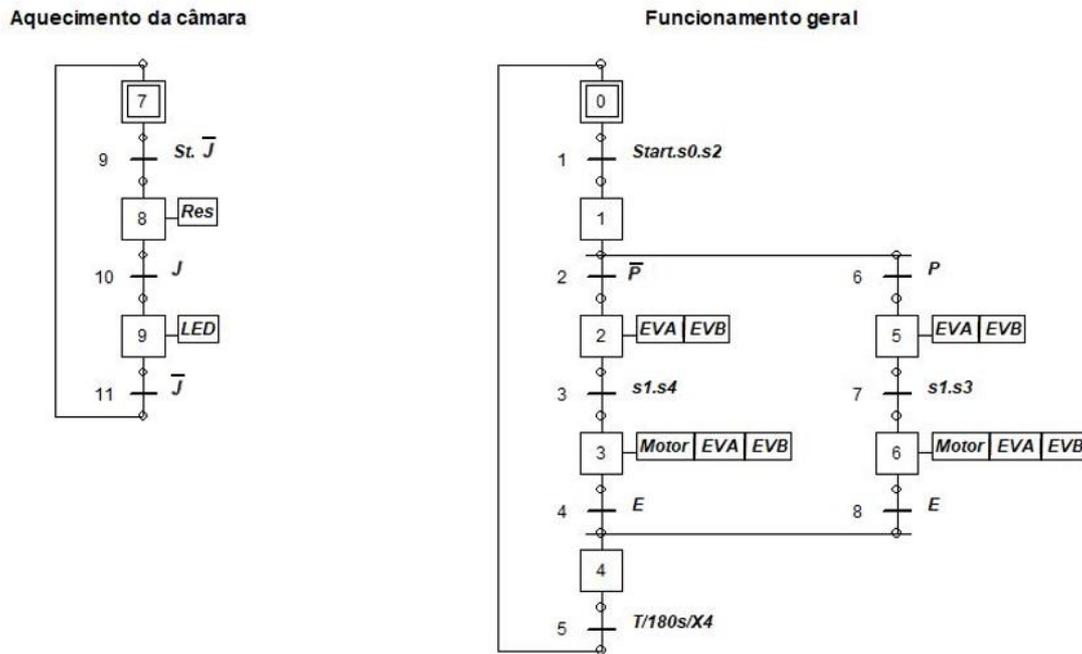


Figura 116 - *Grafcet* desenvolvido para o controlo do equipamento.

Como se verifica na Figura 116, foram utilizados 2 *grafcets* para fazer o controlo do equipamento. O *grafcet* representado à esquerda na imagem diz respeito ao aquecimento da câmara de humificação, que é iniciado pela ativação do botão *St*. Quando o aquecimento da câmara se encontra concluído, é ligada uma luz *LED*, que indica que a câmara de humificação está à temperatura desejada, podendo-se iniciar o processo de humificação das placas de hósta. O funcionamento geral do equipamento está representado no lado direito da imagem e é iniciado pelo acionamento do botão *Start*. Este processo só deve ser iniciado quando a câmara estiver preparada para fazer uma correta humificação das placas de hósta, pelo que operador apenas deve iniciar o seu funcionamento, acionando o botão *Start*, quando a luz *LED* estiver ligada.

De seguida os símbolos utilizados na conceção do *grafcet* são devidamente explicitados:

- **St** – Botão que permite o início do processo de aquecimento da câmara de humificação;
- **Start** – Botão que permite o início do funcionamento geral do equipamento;
- **s0** – Sinal de início de curso do sensor magnético dos cilindros da porta de entrada da câmara;
- **s1** – Sinal de fim de curso do sensor magnético dos cilindros da porta de entrada da câmara;
- **s2** – Sinal de início de curso do sensor magnético dos cilindros da porta de saída da câmara;
- **s3** – Sinal de fim de curso (parcial) do sensor magnético dos cilindros da porta de saída da câmara;

- **s4** – Sinal de fim de curso (total) do sensor magnético dos cilindros da porta de saída da câmara;
- **P** – Sinal de atuação do sensor indutivo presente no interior da câmara de humidificação;
- \bar{P} – Sinal da não atuação do sensor indutivo presente no interior da câmara de humidificação;
- **E** – Sinal enviado pelo *encoder* quando o veio do motor roda as voltas definidas;
- **EVA** – Sinal para a atuação da electroválvula da porta de entrada da câmara;
- **EVB** – Sinal para a atuação da electroválvula da porta de saída da câmara;
- **Motor** – Sinal para a atuação do motorreductor do tapete rolante;
- **Res** – Sinal para a atuação das resistências elétricas da câmara.
- **LED** – Sinal para a atuação da luz *LED*.

Para possibilitar a programação do PLC decidiu-se converter o *grafcet* num diagrama *ladder*. Para tal recorreu-se ao *software CX-Programmer* da *OMRON*. Na Anexo XVI encontra-se representado o diagrama *ladder* desenvolvido.

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões retiradas do trabalho realizado. São ainda abordados os trabalhos futuros, com vista ao aperfeiçoamento do trabalho.

7.1 Conclusões

Concluído o trabalho, é importante comparar os objetivos com o trabalho final. O objetivo primordial da presente dissertação passava pela melhoria do processo de humidificação de placas de hóstia. Tendo em vista a obtenção do objetivo primordial, decidiu-se definir como objetivos: o estudo do material das placas de hóstia, o estudo do processo de humidificação atual, a proposta de melhorias para o processo atual e o projeto de um novo equipamento de humidificação.

No que concerne ao estudo do material das placas de hóstia, realizou-se um trabalho experimental onde se concluiu que uma correta humidificação provoca um aumento de aproximadamente 10% do peso das placas. Conclui-se ainda que para obter valor, e para que o processo seja o mais rápido possível, é necessário proceder a um processo de humidificação com a duração de 15 minutos, a uma temperatura de aproximadamente 55 °C com a humidade relativa de 100 %. Desta forma, e comparando com o processo atual, é possível reduzir o tempo de humidificação para metade, o que é bastante satisfatório.

No que diz respeito ao estudo do processo de humidificação atual, chegou-se à conclusão de que a câmara de humidificação 1 apresenta alguns pontos fracos. Dentro dos defeitos identificados, podem-se destacar: a utilização de uma temperatura de humidificação desadequada, a não compartimentação da câmara, a utilização de suportes para as placas desacuados e uma operacionalização desacuada do equipamento. A utilização de uma temperatura desadequada, provoca um processo de humidificação com uma cadência mais baixa do que o desejável. A não compartimentação da câmara de humidificação, tem como consequência a formação de um gradiente térmico, que provoca uma humidificação desigual entre as diferentes prateleiras da câmara de humidificação. Os suportes atualmente utilizados são desacuados, como consequência gera-se uma alteração geométrica nas placas de hóstia, o que é inconveniente no processo de corte. Para todos estes pontos fracos identificados, foram propostas soluções que permitem a sua remoção. No entanto, tendo em conta a configuração atual do equipamento, torna-se complexo melhorar as condições de operacionalização do equipamento.

Como foi descrito, a operação do equipamento é complexa devido à necessidade de controlo do tempo de humedificação e à necessidade de introdução e retirada manual das placas de hóstia. Desta forma, procedeu-se ao projeto de um novo equipamento de humedificação que possa ser pensado e construído de raiz. De uma forma geral, o equipamento projetado consiste num tapete rolante que introduz e retira as placas de hóstia num túnel de humedificação, conseguindo-se a cadência de humedificação necessária.

De uma forma geral, conclui-se que os objetivos foram cumpridos. No entanto o trabalho realizado encontra-se inacabado, uma vez que o equipamento projetado não foi devidamente testado e validado.

7.2 Trabalhos futuros

O trabalho realizado encontra-se inacabado, uma vez que o equipamento projetado não foi devidamente testado e validado. Desta forma podem-se destacar os seguintes trabalhos futuros:

- Realização de um estudo estrutural ao equipamento projetado, com o propósito de verificar se a estrutura projetada se encontra bem dimensionada;
- Estudo de um sistema que permita reduzir a perda de calor e de vapor na abertura e fecho das portas da câmara de humedificação do equipamento projetado;
- Construção do equipamento projetado e posterior validação.

REFERÊNCIAS

- Arduino. (s.d.). *Arduino*. Obtido em 30 de abril de 2019, de <https://www.arduino.cc/>
- ASHRAE. (2013). *ASHRAE handbook : fundamentals*. Atlanta, GA.
- Botnroll. (s.d.). *Botnroll*. Obtido em 28 de abril de 2019, de <https://www.botnroll.com/>
- Camozzi. (s.d.). *Pneumatic Actuation*. Obtido em 5 de setembro de 2019, de http://www.camozzicataloghi.it/Automation/Documentazione-di-prodotto/cataloghi-Camozzi-Automation-completi-in-bassa/INGLESE/CA-Pneumatic-actuation_ENG_2019.pdf
- Carrier. (s.d.). Obtido em 15 de setembro de 2019, de https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407993358881291/Carta%20psicrometrica_1.pdf
- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods*. Wiley.
- DIN 59370. (2008). *Bright steel sharp-edged equal leg angles - Dimensions, mass, tolerances on dimensions and shape*. Deutsches Institut Fur Normun.
- Flores, P., Gomes, J., Dourado, N., & Marques, F. (2017). *T.03 – Transmissões por Correntes*. Acedido em 16 de agosto de 2019, no Web site da: Universidade do Minho, Escola de Engenharia: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/43019/1/T.03%20-%20Transmissoes%20por%20Correntes.pdf>. Obtido de T.03 – Transmissões por correntes.
- Fritzing. (s.d.). Obtido em 30 de abril de 2019, de Fritzing.
- Genebre. (2014). Obtido em 7 de outubro de 2019, de <https://www.iversen-trading.dk/wp-content/uploads/2015/10/3887-2.pdf>
- Hatami, H. (2013). *Coletânea de fórmulas hidráulicas*. Rexroth Bosch Group. Obtido em 3 de setembro de 2019, de https://www.boschrexroth.com/business_units/bri/de/downloads/hyd_formelsammlung.pdf
- Imperialum. (2019). *Tabela de Preços*. Obtido em 29 de agosto de 2019, de https://www.imperialum.com/cms/livrotabelaprecos/mobile/index.html?fbclid=IwAR3Ldmu1J0dKtwrd3AIZXNNR3D4wx85Fm-QP-E_WI60UBCR5hWkGsmnbnqo#p=1
- Imporseal. (2014). Obtido de Imporseal: <http://www.imporseal.pt/produtos/apoios/apoios-anti-vibratorios/>
- Intralox. (2019). *Esteiras transportadoras modulares plásticas*. Obtido em 20 de junho de 2019, de <https://www.intralox.com/pt/downloads/engineering-manual>
- ISO 4019-2001. (2001). *Aços estruturais - Perfis ocós formados a frio, soldados, estruturais-Dimensões propriedades seccionais*. Organização Internacional de Normalização.

- Lienhard IV, J., & Lienhard V, J. (2019). *A Heat Transfer Textbook* (5ª ed.). Houston: A Heat Transfer Textbook.
- Maq Company. (s.d.). Obtido em 14 de abril de 2019, de Maq Company: <http://www.maqcompany.ind.br/>
- NORD. (2015). Obtido em 30 de julho de 2019, de NORD: https://www.nord.com/cms/pt/home_pt.jsp
- Norma IEC 584-3. (1989). Thermocouple Wire Types and Codes. Comissão Eletrotécnica Internacional, Reino Unido.
- Norma UE 10/2011. (2011). Regulamento da UE relativo aos materiais e objetos de matéria plástica destinados a entrar em contacto com os alimentos. Comissão Europeia, União Europeia.
- OMRON. (2018). *Lista de preços 2018*. Obtido em 5 de novembro de 2019, de industrial.omron.pt
- OMRON. (s.d.). *Technical Explanation for Proximity Sensors*. Obtido em 7 de novembro de 2019, de http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/41/proximity_tg_e_6_2.pdf
- OMRON. (s.d.). *Technical Explanation for Rotary Encoders*. Obtido em 6 de novembro de 2019, de http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/34/rotary_tg_e_7_2.pdf
- OMRON. (s.d.). *Temperature sensors E52-E*. Obtido em 2 de novembro de 2019, de https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v4/h10e_e52-e_1_temperature_sensors_datasheet_en.pdf
- Pigmento. (s.d.). Obtido em 2 de outubro de 2019, de https://www.pigmento.pt/media/catalog/product/cache/1/small_image/170x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/d/s/dscf5441.jpg
- Ramada, A. (2018). Obtido em 26 de agosto de 2019, de Aços Ramada: https://www.ramada.pt/pt/produtos/acos/aa-os-inoxida-a1veis-e-refracta-a1rios/r-304_.html
- Rogers, G., & Mayhew, Y. (1995). *Thermodynamic and Transport Properties of Fluids* (5ª ed.). Blackwell Publishing.
- Silva, F. (2013). *Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Porto.
- SKF. (2015). *SKF bearing housings and roller bearing units*. Obtido em 28 de julho de 2019, de <https://www.skf.com/pt/index.html>
- SKF. (2018). *SKF Couplings*. Obtido em 6 de agosto de 2019, de <https://www.skf.com/pt/index.html>
- Unirons. (2019). *Componentes - Mesoestrutura*. Obtido em 2 de julho de 2019, de <https://www.unirons.com.br/catalogos/>

ANEXOS

ANEXO I – PROGRAMAÇÃO DO *ARDUINO*



```
Dev: Michalis Vasilakis // Date: 1/7/2015 // www.ardumotive.com */

//Libraries
#include <dht.h>
dht DHT;
//Constants
#define DHT22_PIN 3 // DHT 22 (AM2302) - what pin we're connected to
#define DHT22_PIN_1 4 // DHT 22 (AM2302) - what pin we're connected to
#define DHT22_PIN_2 5 // DHT 22 (AM2302) - what pin we're connected to

//Variables
float hum; //Stores humidity value
float temp; //Stores temperature value

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int chk = DHT.read22(DHT22_PIN);
  //Read data and store it to variables hum and temp
  hum = DHT.humidity;
  temp= DHT.temperature;
  //Print temp and humidity values to serial monitor
  Serial.print("Humidity_PIN_3: ");
  Serial.print(hum);
```

Figura 117 - Programação do *arduino*.

```

Serial.print(temp);
Serial.println(" Celsius");

int chk1 = DHT.read22(DHT22_PIN_1);
//Read data and store it to variables hum and temp
hum = DHT.humidity;
temp= DHT.temperature;
//Print temp and humidity values to serial monitor
Serial.print("Humidity_PIN_4: ");
Serial.print(hum);
Serial.print(" % , Temp_PIN_4: ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" Celsius");

int chk2 = DHT.read22(DHT22_PIN_2);
//Read data and store it to variables hum and temp
hum = DHT.humidity;
temp= DHT.temperature;
//Print temp and humidity values to serial monitor
Serial.print("Humidity_PIN_5: ");
Serial.print(hum);
Serial.print(" % , Temp_PIN_5: ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" Celsius");

delay(60000); //Delay 5 sec.

}

```

Figura 118 - Programação do *arduino* (continuação).

ANEXO II – CLASSIFICAÇÕES DE DESEMPENHO DAS SOLUÇÕES CONCEPTUAIS

Tabela 15 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 1.

Solução 1		
Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Correta humedificação das placas	5	A solução foi pensada para permitir uma correta humedificação das placas pelo que obtém a classificação máxima.
Cadência de produção suficiente	5	A solução foi pensada de forma a obter a cadência de produção pretendida pelo que obtém a classificação máxima.
Impedir a deformação das placas	5	Nesta solução as placas são humedificadas na horizontal para que não ocorram deformações. A temperatura utilizada na câmara também não permite a diminuição do tamanho das placas. Desta forma atribui-se a nota máxima.
Repetibilidade	5	A solução foi concebida pensando na uniformização da temperatura e humidade relativa em toda a câmara pra permitir que as placas sejam humedificadas na mesma medida. Assim foi atribuída a nota máxima.
Alimentação e retirada de placas eficaz	2	A colocação do suporte para as placas na câmara é simples, no entanto para se ter a cadência de produção pretendida a utilização dos módulos terá de ser sincronizada onde ocorrerá em intervalos de três minutos o carregamento de um módulo. Isto dificulta muito o processo dai a nota 2.
Fácil limpeza	4	A limpeza da câmara é bastante simples, apenas é dificultada pela existência de cinco módulos que são necessários limpar. Por estas razões foi atribuída a nota 4.
Fácil manutenção	5	A manutenção necessária à câmara é muito reduzida devido à sua construção simples.
Controlo da temperatura de humedificação simples	3	A existência de 5 módulos dificulta o controlo de temperatura uma vez que quando se pretende alterar a temperatura essa alteração terá de ser feita para os 5 módulos. Assim considerou-se a classificação 3.

Tabela 15 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual (Continuação).

Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Baixo consumo de energia	2	A necessidade de aquecimento dos 5 módulos e tendo em conta a sua dimensão o consumo de energia do equipamento será elevado. Foi atribuída a nota 2.

Tabela 16 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 2.

Solução 2		
Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Correta humificação das placas	5	A solução foi pensada para permitir uma correta humificação das placas pelo que obtém a classificação máxima.
Cadência de produção suficiente	5	A solução foi pensada de forma a obter a cadência de produção pretendida pelo que obtém a classificação máxima.
Impedir a deformação das placas	5	Nesta solução as placas são humificadas na horizontal para que não ocorram deformações. A temperatura utilizada na câmara também não permite a diminuição do tamanho das placas. Desta forma atribui-se a nota máxima.
Repetibilidade	5	A solução foi concebida pensando na uniformização da temperatura e humidade relativa em toda a câmara pra permitir que as placas sejam humificadas na mesma medida. Assim foi atribuída a nota máxima.
Alimentação e retirada de placas eficaz	1	A colocação do suporte para as placas na câmara é complicada devido à necessidade de inclusão de duas suportes em cada compartimento. Para complicar a situação, para que se consiga ter a cadência de produção pretendida a utilização dos compartimentos terá de ser sincronizada onde ocorrerá em intervalos de três minutos o carregamento de um compartimento. Assim foi atribuída a pior nota.

Tabela 16 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 2 (Continuação).

Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Fácil limpeza	4	A limpeza da câmara é bastante simples, sendo dificultada pela existência de cinco compartimentos que são necessários limpar. Por estas razões foi atribuída a nota 4.
Fácil manutenção	5	A manutenção necessária à câmara é muito reduzida devido à sua construção simples.
Controlo da temperatura de humidificação simples	3	A existência de 5 compartimentos dificulta o controlo de temperatura uma vez que quando se pretende alterar a temperatura essa alteração terá de ser feita para os 5 compartimentos. Assim considerou-se a classificação 3.
Baixo custo do equipamento	2	A necessidade de construção de um armário com compartimento e a necessidade de construção de pelo menos 10 suportes tornam o equipamento caro. A juntar a isto é necessário que cada compartimento tenha um sistema de aquecimento e humidificação independente. Foi atribuída a nota 2.
Baixo consumo de energia	2	A necessidade de aquecimento dos 5 compartimentos e tendo em conta a sua dimensão o consumo de energia do equipamento será elevado. Foi atribuída a nota 2.

Tabela 17 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 3.

Solução 3		
Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Correta humidificação das placas	5	A solução foi pensada para permitir uma correta humidificação das placas pelo que obtém a classificação máxima.
Cadência de produção suficiente	5	A solução foi pensada de forma a obter a cadência de produção pretendida pelo que obtém a classificação máxima.

Tabela 17 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 3 (Continuação).

Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Impedir a deformação das placas	5	Nesta solução as placas são humidificadas na horizontal para que não ocorram deformações. A temperatura utilizada na câmara também não permite a diminuição do tamanho das placas. Desta forma atribui-se a nota máxima.
Repetibilidade	5	A solução foi concebida pensando na uniformização da temperatura e humidade relativa em toda a câmara pra permitir que as placas sejam humidificadas na mesma medida. Assim foi atribuída a nota máxima.
Alimentação e retirada de placas eficaz	4	A alimentação é feita por um elevador e por cilindros pneumáticos que retiram as placas do suporte alimentando o túnel. O único inconveniente para a eficácia de alimentação desta solução é a necessidade da colocação dos suportes num tapete que alimenta o elevador, assim atribui-se a classificação de 4.
Fácil limpeza	2	A limpeza do túnel é relativamente simples, no entanto a necessidade de limpeza de todo o sistema de alimentação aumenta a complexidade da tarefa. Assim foi atribuída a nota 2.
Fácil manutenção	2	A manutenção necessária é complexa devido à existência de bastantes componentes mecânicos como o elevador, os cilindros pneumáticos de alimentação e aos 2 tapetes do equipamento. Assim atribui-se a nota 2.
Controlo da temperatura de humidificação simples	5	O controlo da temperatura de humidificação é bastante simples porque existe apenas um compartimento onde é necessário fazer esse controlo, assim foi atribuída a nota 5.
Baixo custo do equipamento	1	O equipamento é bastante caro devido à existência do sistema de alimentação e à necessidade do tapete no interior do túnel. Assim atribui-se a nota de 1.

Tabela 17 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 3 (Continuação)

Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Baixo consumo de energia	1	A necessidade de aquecimento de um túnel com um comprimento de mais de quatro metros e a necessidade de movimentação de três tapetes rolantes tornam o consumo de energia bastante elevada. Assim atribui-se a nota 1.

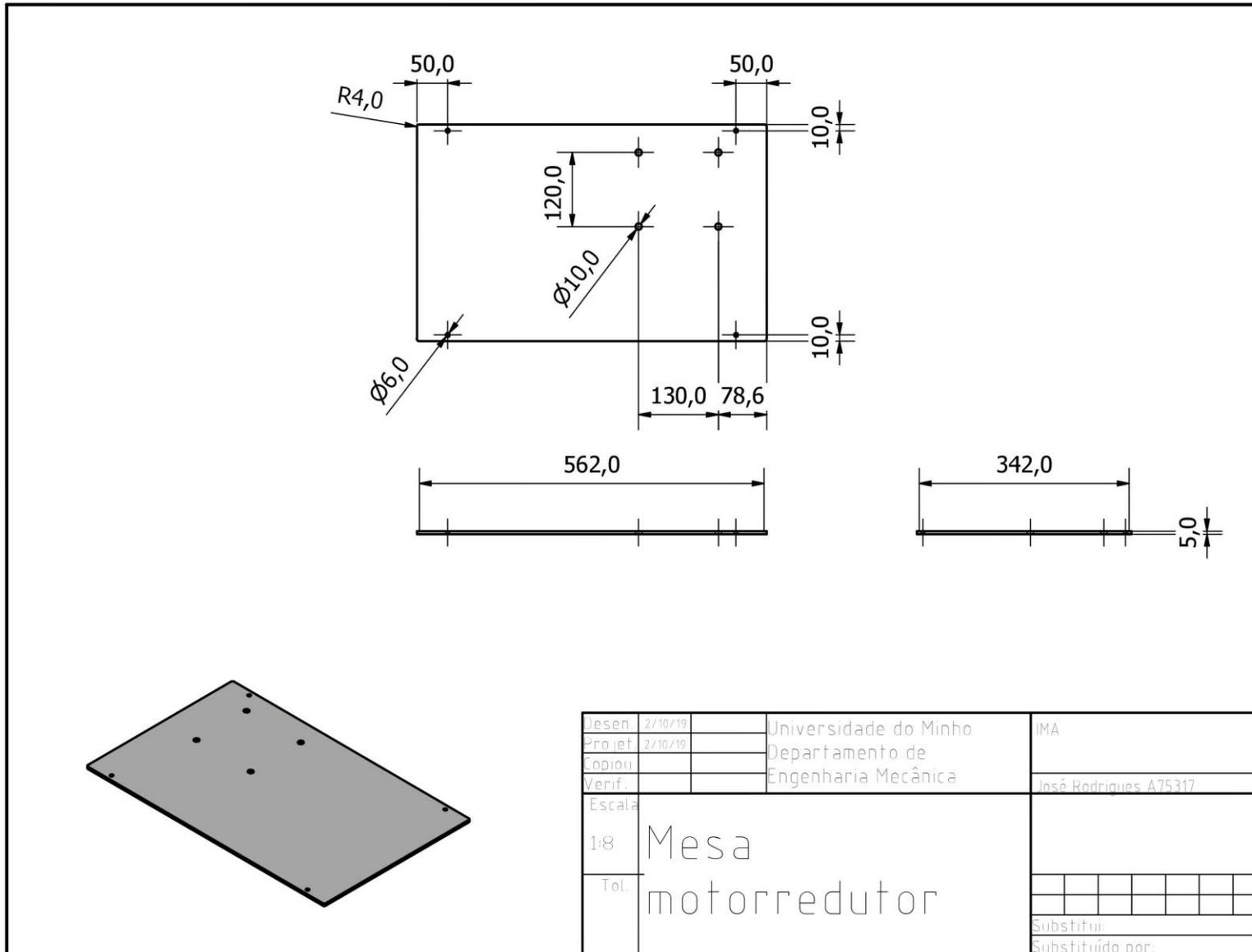
Tabela 18 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual 4.

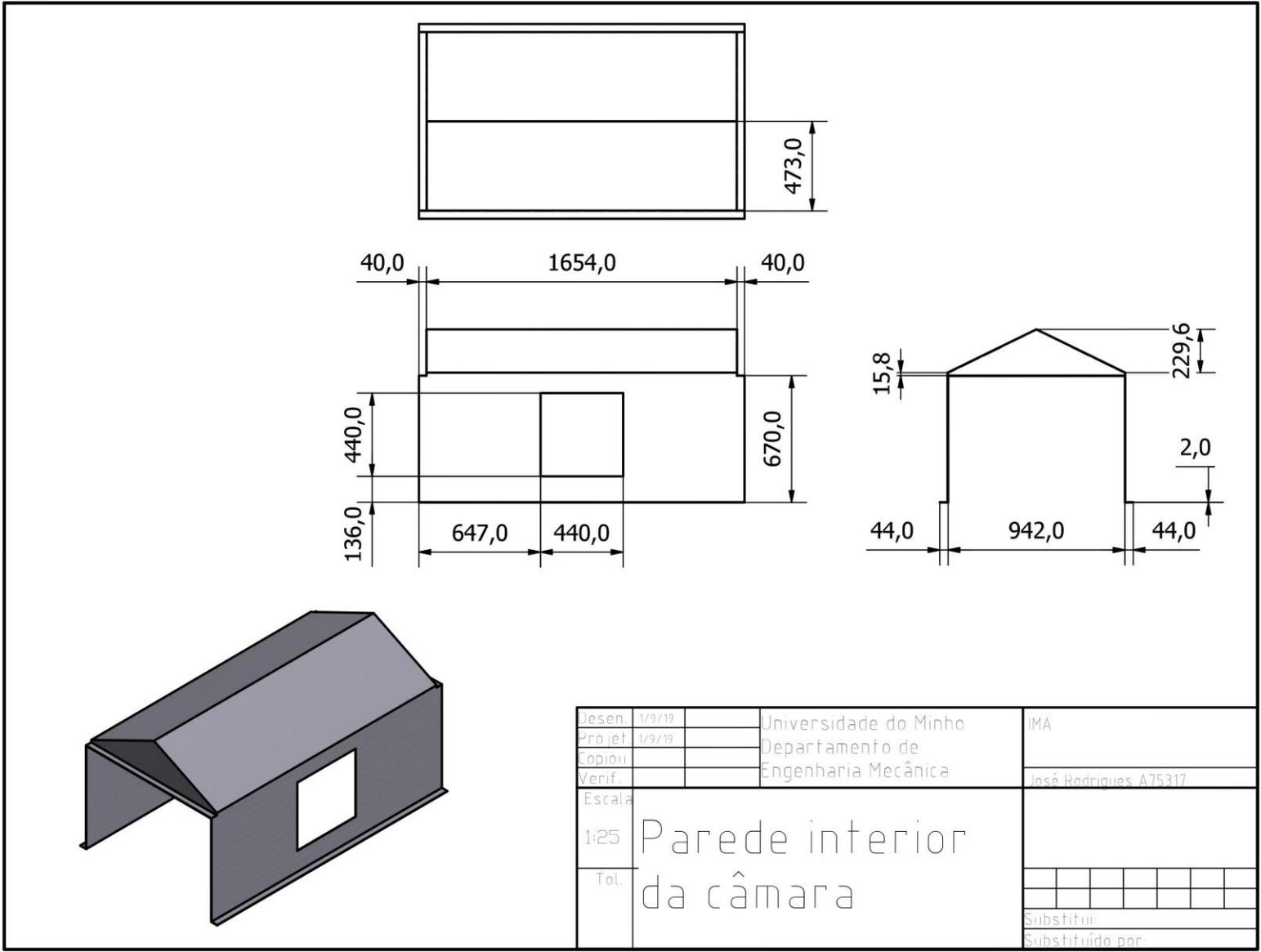
Solução 4		
Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Correta humificação das placas	5	A solução foi pensada para permitir uma correta humificação das placas pelo que obtém a classificação máxima.
Cadência de produção suficiente	5	A solução foi pensada de forma a obter a cadência de produção pretendida pelo que obtém a classificação máxima.
Impedir a deformação das placas	5	Nesta solução as placas são humificadas na horizontal para que não ocorram deformações. A temperatura utilizada na câmara também não permite a diminuição do tamanho das placas. Desta forma atribui-se a nota máxima.
Repetibilidade	5	A solução foi concebida pensando na uniformização da temperatura e humidade relativa em toda a câmara pra permitir que as placas sejam humificadas na mesma medida. Assim foi atribuída a nota máxima.
Alimentação e retirada de placas eficaz	4	A alimentação é feita por um tapete de alimentação onde são colocados os suportes para as placas. O único inconveniente é a colocação manual dos suportes no tapete rolante. Assim foi atribuída a nota 4.

Tabela 18 - Classificações de desempenho atribuídas à solução conceptual (Continuação).

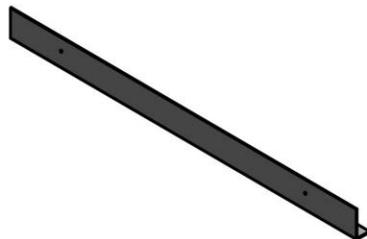
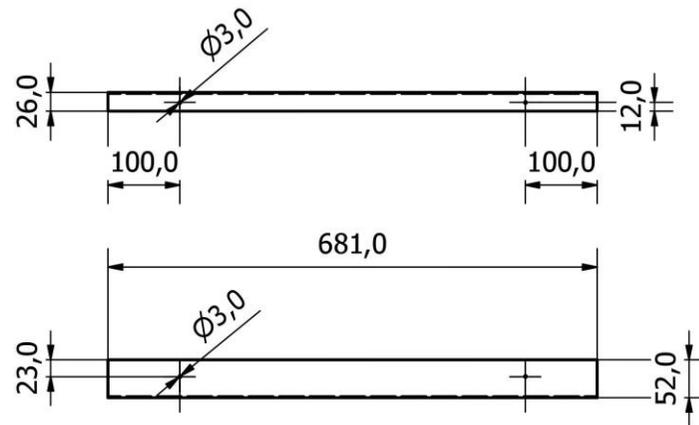
Objetivos	Classificação (C)	Comentário
Fácil limpeza	3	A limpeza do túnel é relativamente simples sendo apenas dificultada pela presença do tapete rolante, atribui-se a nota 3.
Fácil manutenção	4	A manutenção necessária é simples sendo que a maior dificuldade está na manutenção do tapete rolante. Foi atribuída a nota 4.
Controlo da temperatura de humidificação simples	5	O controlo da temperatura de humidificação é bastante simples porque existe apenas um compartimento onde é necessário fazer esse controlo, assim foi atribuída a nota 5.
Baixo custo do equipamento	2	O preço do equipamento é elevado devido à necessidade de um tapete rolante com cerca de 5,60 m, assim considerou-se a classificação de 2.
Baixo consumo de energia	3	A necessidade de aquecimento de um túnel com um comprimento de cerca de 1,75 e com a altura de cerca de 70 cm faz com que o custo de aquecimento não seja muito elevado. A este valor junta-se ainda o consumo energético necessário à movimentação do tapete rolante, no entanto esta parcela não é muito elevada. Assim foi considerada a pontuação de 3.

ANEXO III – DESENHO TÉCNICO

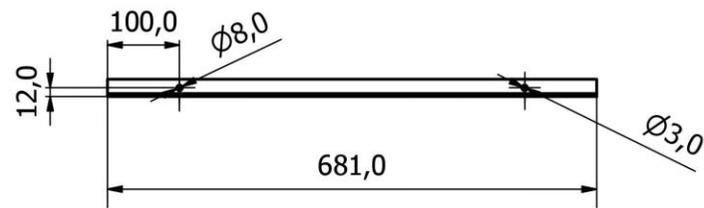




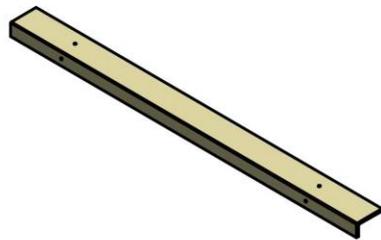
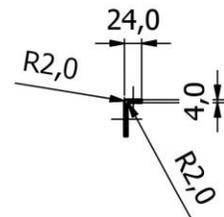
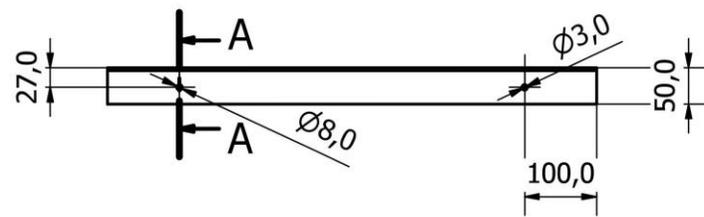
Desen.	1/9/19		Universidade do Minho	IMA
Projet.	1/9/19		Departamento de	
Copiou			Engenharia Mecânica	
Verif.				José Rodrigues A75317
Escala	1:25 Parede interior da câmara			
Tot.				
				Substituído por:
				Substituído por:



Desen	8/9/19		Universidade do Minho	IMA
Projet	8/9/19		Departamento de	
Copiou			Engenharia Mecânica	
Verif.				José Rodrigues A75317
Escala	1:8			Guia de deslizamento
Tot.				
				Substituído por:



A-A (1 : 8)



Desen	9/9/19		Universidade do Minho	IMA
Projet	9/9/19		Departamento de	
Copiou			Engenharia Mecânica	
Verif.				José Rodrigues A75317
Escala	Guia de			
1:8	deslizamento -			
Tot.	Nylon			
				Substitui
				Substituído por:

ANEXO IV – CÁLCULO DA DILATAÇÃO TÉRMICA DA CORREIA TRANSPORTADORA

A dilatação térmica da largura da correia é calculada pela equação (4) (*Intralox*, 2019).

$$\Delta_W = W_1 + e \cdot (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Em que:

Δ_W – Alteração da largura da correia (mm);

W_1 – Largura total da correia (m);

T_2 – Temperatura de operação da câmara (°C);

T_1 – Temperatura ambiente (°C);

e – Coeficiente de expansão térmica (mm/m/°C).

Na Tabela 19 são apresentados os valores considerados para o cálculo da alteração da largura da correia (Δ_W).

Tabela 19 - Valores considerados para o cálculo da Δ_W .

Variáveis	Valor considerado	Comentários
W_1 (m)	0,870	Valor considerado no projeto
T_2 (°C)	55	Valor considerado no projeto
T_1 (°C)	20	Valor considerado no projeto
e (mm/m/°C)	0,15	Coeficiente de dilatação térmica do polipropileno (<i>Intralox</i> , 2019)

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 19 e pela aplicação da equação (4), obteve-se uma Δ_W de 6,12 mm.

A dilatação térmica do comprimento da correia é calculada pela equação (5) (*Intralox*, 2019).

$$\Delta_L = L_1 + e \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Em que:

Δ_L – Alteração do comprimento da correia (mm);

L_1 – Comprimento total da correia no interior da câmara (m);

T_2 – Temperatura de operação da câmara (°C);

T_1 – Temperatura ambiente (°C);

e – Coeficiente de expansão térmica (mm/m/°C).

Na Tabela 20 são apresentados os valores considerados para o cálculo da alteração do comprimento da correia (Δ_L).

Tabela 20 - Valores considerados para o cálculo da Δ_L .

Variáveis	Valor considerado	Comentários
L_1 (m)	3,47	Valor considerado no projeto
T_2 (°C)	55	Valor considerado no projeto
T_1 (°C)	20	Valor considerado no projeto
e (mm/m/°C)	0,15	Coefficiente de dilatação térmica do polipropileno (<i>Intralox</i> , 2015)

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 20 e pela aplicação da equação (5), obteve-se uma Δ_L de 8,72 mm.

ANEXO V – VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA CORREIA TRANSPORTADORA

Para verificar a resistência da correia transportadora, o primeiro passo consiste na determinação da tração aplicada à correia. Para tal é utilizado-se a equação (6) (*Intralox*, 2019).

$$BP = (M + 2 \cdot W_C) \cdot F_W \cdot L \quad (6)$$

Em que:

BP – Tração da correia transportadora na engrenagem de acionamento (kg/m de largura da correia);

M – Carga do produto na correia transportadora (kg/m²);

W_C – Carga da própria correia transportadora (kg/m²);

F_W – Coeficiente de atrito entre a guia de desgaste e a correia transportadora (adimensional);

L – Comprimento entre eixos da correia transportadora (m).

Na Tabela 21 são apresentados os valores considerados para o cálculo da tração da correia transportadora na engrenagem de acionamento (BP).

Tabela 21 - Valores considerados para as variáveis para o cálculo de BP .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
M (kg/m ²)	32,8	Valor aproximado
W_C (kg/m ²)	5,08	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)
F_W	0,26	Coeficiente de atrito entre o polipropileno e o aço inoxidável (<i>Intralox</i> , 2019)
L (m)	5,6	Valor requerido para o projeto

Aplicando a equação (6), obteve-se um valor de BP de 62,55 kg/m de largura da correia.

Conhecido BP é necessário calcular a tração ajustada da correia transportadora (ABP) pela equação (7) (*Intralox*, 2019).

$$ABP = BP \cdot S_F \quad (7)$$

ABP – Tração ajustada da correia transportadora (kg/m de largura da correia);

BP – Tração da correia transportadora na engrenagem de acionamento (kg/m de largura da correia);

S_F – Fator de serviço (adimensional).

Na Tabela 22 são apresentados os valores considerados para a aplicação da equação (7).

Tabela 22 - Valores das variáveis para o cálculo da *ABP*.

Variáveis	Valores considerados	Comentários
<i>BP</i> (kg/m de largura da correia)	62,55	Valor calculado na equação (6)
S_F ⁷	1,2	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)

Aplicando a equação (7), o valor de *ABP* calculado foi de 75,06 kg/m de largura da correia.

De seguida é calculada a resistência admissível da correia transportadora em condições operacionais (*ABS*) pela equação (8) (*Intralox*, 2019).

$$ABS = BS.T.S \quad (8)$$

Em que:

ABS – Resistência admissível da correia transportadora em condições operacionais (kg/m de largura da correia);

BS – Resistência da correia (kg/m);

T – Fator de temperatura (adimensional);

S – Fator de resistência (adimensional).

O fator de temperatura (*T*) é dependente da temperatura de operação da correia transportadora (*Intralox*, 2019). É esperada uma temperatura no interior da câmara de humificação entre os 55 °C e os 65 °C. Assim, considerando o caso extremo, o fator de temperatura pode ser obtido pelo gráfico presente na Figura 119.

⁷ Valor estimado, para o fator de serviço, para tapetes rolantes com paragens frequentes (*Intralox*, 2019).

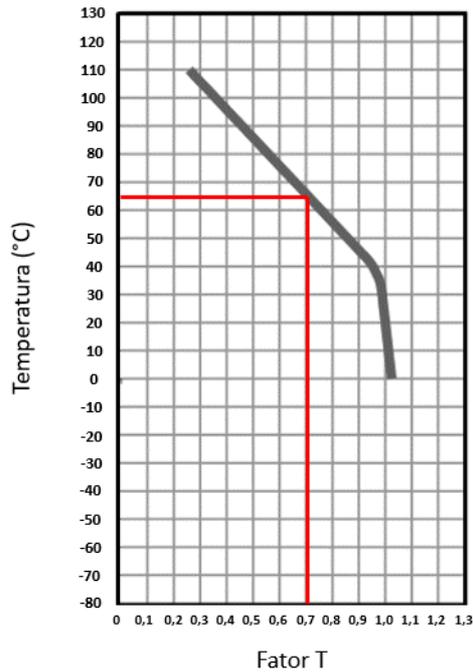


Figura 119 - Fator T em função da temperatura para uma correia em polipropileno. Adaptado de (Intralox, 2019).

No gráfico apresentado na Figura 119, considerando uma temperatura de 65°C e, intersecando a curva do gráfico através de uma linha reta (horizontal a vermelho), obteve-se o valor do “fator T” igual a 0,7.

O fator S é dependente do número de dentes das rodas dentadas e da razão entre a velocidade e comprimento da correia transportadora (Intralox, 2019). No caso as rodas dentadas têm 10 dentes, e a razão entre comprimento e velocidade é de aproximadamente 3,7. O valor do fator S pode ser obtido pelo gráfico representado na Figura 120.



Figura 120 - Fator S em função do número de dentes da engrenagem e da razão entre velocidade e comprimento do tapete rolante. Adaptado de (Intralox, 2019).

As linhas representadas a vermelho no gráfico da Figura 120, mostram a interceção da razão velocidade/comprimento com a curva que representa as rodas dentadas de 10 dentes. Desta forma foi obtido o valor para o fator de resistência de 0,8.

Os valores das variáveis da equação (8) considerados podem ser consultados na Tabela 23.

Tabela 23 - Valores considerados para o cálculo da ABS.

Variáveis	Valores considerados	Comentários
<i>BS</i> (kg/m)	450	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)
<i>T</i>	0,7	Valor obtido pelo gráfico da Figura 119 (<i>Intralox</i> , 2019)
<i>S</i>	0,8	Valor obtido pelo gráfico da Figura 120 (<i>Intralox</i> , 2019)

Utilizando a equação (8) foi um valor para a *ABS* de 248,4 kg/m.

Para a verificação da resistência da correia transportadora à carga que lhe é aplicada, recorre-se à comparação entre os valores de *ABP* e *ABS*, sendo que o valor de *ABP* tem de ser superior (*Intralox*, 2019). Neste caso de estudo, essa condição foi verificada, pelo que se pode concluir que a correia transportadora selecionada é suficientemente resistente para a carga que lhe é aplicada.

ANEXO VI – DIMENSIONAMENTO DAS RODAS DENTADAS

Para conhecer o número de rodas dentadas necessárias em cada eixo, é essencial calcular a resistência admissível da correia transportadora utilizada pela equação (9) (*Intralox*, 2019).

$$ABSU = \left(\frac{ABP}{ABS} \right) \cdot 100 \quad (9)$$

Em que:

ABSU – Resistência admissível da correia transportadora utilizada (%);

ABP – Tração ajustada da correia transportadora (kg/m de largura da correia);

ABS – Resistência admissível da correia transportadora em condições operacionais (kg/m de largura da correia);

Os valores considerados para o cálculo da resistência admissível da correia transportadora utilizada (*ABSU*), são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Valores considerados para o cálculo da *ABSU*.

Variáveis	Valores considerados	Comentários
<i>ABP</i> (kg/m de largura da correia)	75,06	Valor obtido pela equação (7)
<i>ABS</i> (kg/m de largura da correia)	248,4	Valor obtido pela equação (8)

Com os valores considerados e através da equação (9) obteve-se um valor de *ABSU* de 30,22%.

Conhecido o valor de *ABSU*, é possível determinar o espaçamento máximo recomendado entre engrenagens, pelo gráfico apresentado na Figura 121 (*Intralox*, 2019).

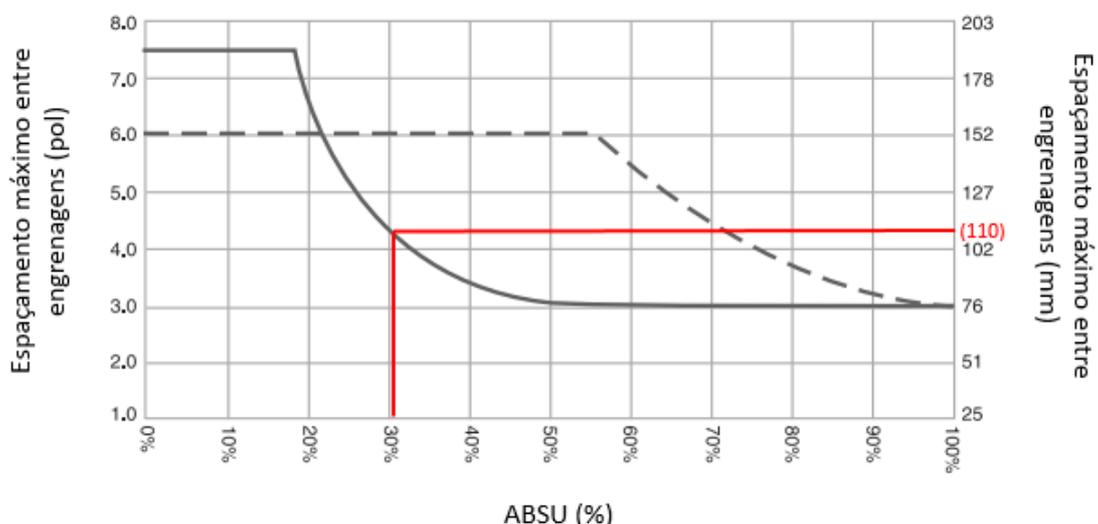


Figura 121 - Espaçamento máximo entre engrenagens em função da *ABSU*. Adaptado de (*Intralox*, 2019).

As linhas representadas a vermelho no gráfico da Figura 121, representam a interceção entre um valor de *ABSU* de 30,22 % com a curva do gráfico obtendo-se um espaçamento máximo entre engrenagens de cerca de 110 mm. A correia transportadora tem a largura de 870 mm e como, segundo a *Intralox* (2019), é recomendada a utilização de um número ímpar de rodas dentadas, são necessárias 9 rodas dentadas no eixo motor.

ANEXO VII – VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS EIXOS SELECIONADOS

Para confirmar se os eixos selecionados se ajustam às condições de operação do tapete rolante, é necessário verificar se a deflexão provocada no eixo, devido à tração a que a correia transportadora está sujeita, não ultrapassa os limites recomendados.

Inicialmente é necessário calcular, pela equação (10), a carga total aplicada ao eixo (*Intralox*, 2019)

$$W_M = (ABP + Q) \cdot B \quad (10)$$

Em que:

W_M – Carga total no eixo motor (kg);

ABP – Tração ajustada da correia transportadora (kg/m de largura da correia);

Q – Peso próprio do eixo (kg/m);

B – Largura da correia transportadora (m).

Na Tabela 25 são apresentados os valores das variáveis necessárias ao cálculo da carga total no eixo motor (W_M).

Tabela 25 - Valores considerados para as variáveis para o cálculo da W.

Variáveis	Valores considerados	Comentários
ABP (kg/m de largura da correia)	75,06	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)
Q (kg/m)	12,55	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019) para o eixo utilizado
B (m)	0,870	Valor requerido para o projeto

Utilizando os valores considerados e a equação (10) obteve-se o valor de 76,22 para W_M .

Conhecido a carga total no eixo motor é possível calcular a deflexão formada no mesmo pela equação (11), utilizada no caso de o eixo ser apoiado por duas chumaceiras (*Intralox*, 2019).

$$D = \frac{5}{384} \cdot \frac{W_M \cdot L_s^3}{E \cdot I} \quad (11)$$

Em que:

D – Deflexão do eixo (mm);

W_M – Carga total no eixo motor (kg);

L_s – Comprimento do eixo entre chumaceiras (mm);

E – Módulo de elasticidade (kg/mm²);

I – Momento de inércia (mm^4).

Na Tabela 26 são apresentados os valores considerados para o cálculo da deflexão do eixo (D).

Tabela 26 - Valores considerados para o cálculo de D .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
W_M (kg)	76,22	Valor calculado na equação (10)
L_S (mm)	950	Valor utilizado no projeto do tapete rolante
E (kg/mm^2)	19 700	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019) para o eixo utilizado
I (mm^4)	213 300	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019) para o eixo utilizado

Com os valores apresentados na Tabela 26 foi possível calcular D , através da equação (11), obtendo-se o valor de 0,2 mm. Este valor é bastante inferior à deflexão máxima recomendada pela *Intralox* (2019), pelo que os eixos selecionados podem ser utilizados sem problemas no que diz respeito à deflexão do eixo.

O eixo motor também deve ser suficientemente robusto para transmitir as forças de torção impostas pelo motor de acionamento, isto é, o veio deve resistir ao binário aplicado pelo motor selecionado (*Intralox*, 2019). Como é explicitado no capítulo 6.8.1, o valor do binário do motor selecionado é de 120 N.m (12,23 kg.m), pelo que este é o valor ao qual o eixo motriz deve resistir.

O binário a que o eixo motor terá de resistir esta relacionado com o diâmetro da manga do eixo pelo gráfico da Figura 122 (*Intralox*, 2019).

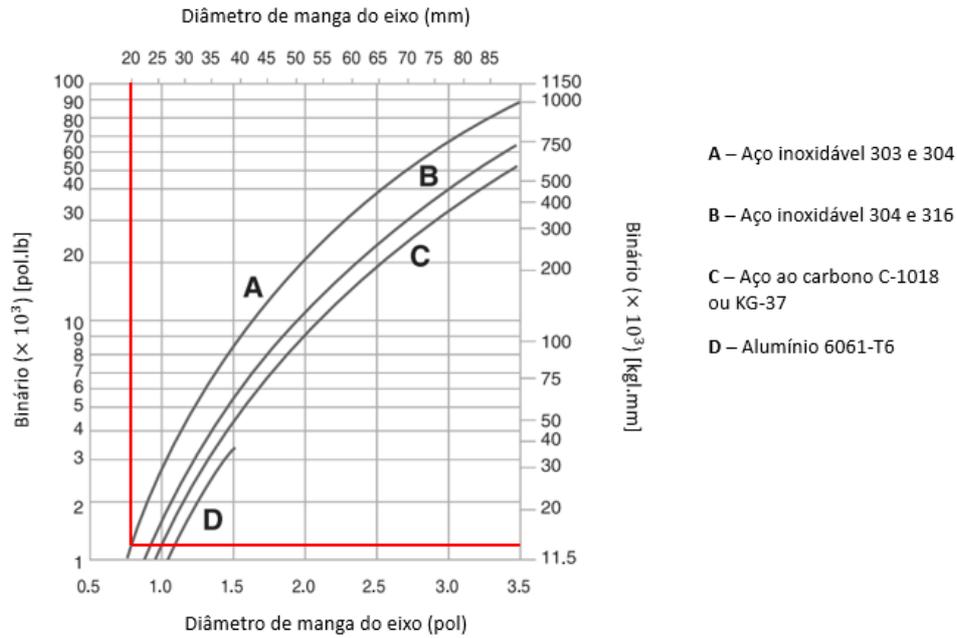


Figura 122 - Diâmetro mínimo da manga em função do Binário que o eixo tem de suportar. Adaptado de (Intralox, 2019).

O gráfico apresentado na Figura 122, contém 4 curvas referentes a 4 materiais de composição do eixo diferentes. Supondo a utilização do material definido pela curva A compreende-se que, através das linhas traçadas a vermelho no gráfico da Figura 122, uma manga de 20 mm de diâmetro é suficiente para resistir ao binário fornecido pelo motor (12,23 kg.m). Desta forma decidiu-se utilizar um diâmetro de manga para os eixos de 20 mm.

ANEXO VIII – COLOCAÇÃO DOS ROLETES NO TAPETE ROLANTE

Para proporcionar um correto funcionamento ao tapete rolante, existem um conjunto de regras que recomendadas para os locais da colocação dos roletes.

Na estão representados os diversos roletes utilizados, bem como as distâncias que devem seguir determinados limites e recomendações segundo a *Intralox* (2019).

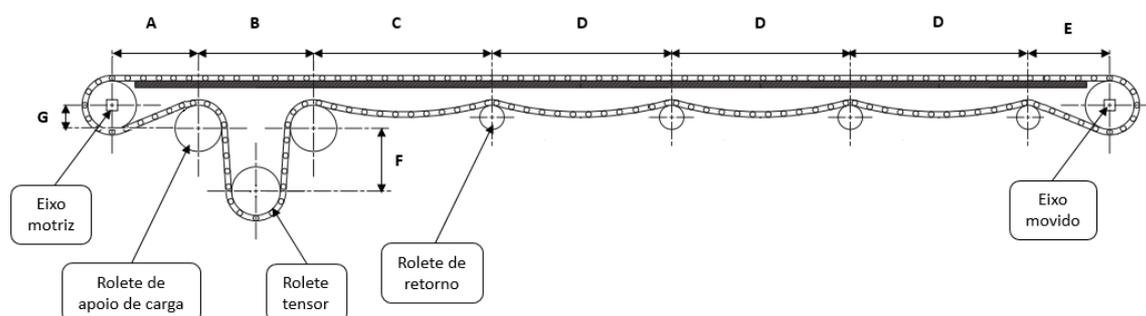


Figura 123 - Esquema da colocação dos roletes ao longo do tapete rolante. Adaptado de (*Intralox*, 2019)

Na Tabela 27 encontram-se descritas as recomendações da *Intralox* (2019) para cada uma das distâncias assinaladas na Figura 123.

Tabela 27 - Valores recomendados e distâncias utilizadas entre roletes.

Distâncias	Descrição	Valores recomendados pela <i>Intralox</i> (2019) [cm]	Valores utilizados no projeto (cm)
A	Distância entre o rolete de apoio de carga e o eixo motor	23 - 46	30,0
B	Distância entre roletes de apoio de carga	Distância suficiente para que a abertura através dos roletes de apoio de carga seja maior do que no rolete tensor	40,0
C	Distância entre o rolete de apoio de carga e o rolete de retorno	122	122,0
D	Distância entre roletes de retorno	90 - 122	112,7
E	Distância entre o rolete de retorno e o eixo movido	23 - 46	30,0

Tabela 27 - Valores recomendados e distâncias utilizadas entre roletes.

Distâncias	Descrição	Valores recomendados pela <i>Intralox</i> (2019) [cm]	Valores utilizados no projeto (cm)
F	Distância entre os roletes de apoio de carga e o rolete tensor	Mínimo de 15,24	19,2
G	Distância vertical entre o eixo motor e o primeiro rolete	Distância que garanta que o engrenamento seja de pelo menos 180° da roda dentada	7,6

ANEXO IX – SELEÇÃO DOS ROLAMENTOS PARA AS CHUMACEIRAS

Os rolamentos disponíveis para as chumaceiras selecionadas encontram-se representados na Tabela 28, onde é apresentado o modelo, o tipo de rolamento e capacidade de carga equivalente⁸ (C) suportada pelo rolamento (SKF, 2015).

Tabela 28 - Rolamentos disponíveis para as chumaceiras FNL 505A e FNL 505B. Adaptado de (SKF, 2015).

Modelo	Tipo de rolamento	C suportada (kN)
1205 EKTN9	Autocompensador de esferas	14,3
2205 EKTN9	Autocompensador de esferas	16,8
22205 EK	Autocompensador de rolos	49,9
C2205 KTN9	Autocompensador de rolos	40

Para selecionar o rolamento é necessário calcular a carga dinâmica equivalente⁹ (P) que o rolamento tem de suportar. Desta forma, o valor de P foi calculado pela equação (12) (SKF, 2015).

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (12)$$

Em que:

P – Carga dinâmica equivalente (N);

X – Fator de carga radial (adimensional);

F_r – Carga radial (N);

Y – Fator de carga axial (adimensional);

F_a – Carga axial (N).

No caso em estudo apenas é aplicada carga radial sobre os rolamentos sendo que, a carga radial aplicada consiste na soma do valor do peso próprio do veio, do peso das rodas dentadas acopladas ao veio, da porção de correia que se encontra a ser suportadas pelas rodas dentadas e no caso extremo do peso de dois suportes com placas. Desta forma o valor de carga radial aplicada é de 98,1 N.

Como a força radial é nula, o valor do fator de carga radial (X) assume o valor de 1 (SKF, 2015). Assim o valor de P é de 98,1 N.

A vida nominal básica, em milhões de revoluções, é expressa pela equação (13) (SKF, 2015).

$$L_{10h} = \frac{1\ 000\ 000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (13)$$

⁸ Capacidade de carga equivalente – Carga suportada pelo rolamento (SKF, 2015).

⁹ Carga dinâmica equivalente – Carga aplicada num rolamento com o movimento de rotação (SKF, 2015).

Em que:

L_{10h} – Vida nominal básica (horas de trabalho);

n – Velocidade de rotação (rpm);

C - Capacidade de carga equivalente (N);

P - Carga dinâmica equivalente (N);

p – Expoente da fórmula da vida nominal básica (adimensional).

O valor da vida nominal básica necessária é dependente da aplicação dos rolamentos. Na Tabela 29 são apresentados os valores de vida nominal básica consoante o tipo de máquina.

Tabela 29 - Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina (SKF, 2015).

Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina	
Tipo de máquina	Especificação da vida útil Horas operacionais
Máquinas domésticas, máquinas agrícolas, instrumentos, equipamento técnico para uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente: ferramentas elétricas manuais, guincho de elevação em oficinas, equipamentos e máquinas de construção	3 000 ... 8 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente, onde é necessária uma alta confiabilidade operacional: elevadores, guindastes para mercadorias embaladas ou cabos de suspensão de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia, mas nem sempre totalmente utilizadas: transmissões de engrenagens para finalidades gerais, motores elétricos para uso industrial, trituradores rotativos	10 000 ... 25 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia e utilizadas por completo: máquinas-ferramenta, máquinas para trabalho em madeira, máquinas para o setor de engenharia, guindastes para material a granel, ventiladores, esteiras transportadoras, equipamentos de impressão, separadores e centrífugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para uso contínuo durante 24 horas: unidades de engrenagens de laminadores, máquinas elétricas de médio porte, compressores, elevadores de minas, bombas, máquinas têxteis	40 000 ... 50 000
Máquinas de energia eólica, que incluem eixo principal, guinada, redutores de engrenagens de afastamento, rolamentos de geradores	30 000 ... 100 000
Máquinas para trabalhos com água, formilhas rotativas, máquinas de estiramento de cabos, máquinas de propulsão para embarcações oceânicas	60 000 ... 100 000
Grandes máquinas elétricas, usina de geração de energia, bombas de minas, ventiladores de minas, rolamentos de túneis de eixos para navios oceânicos	> 100 000

Na Tabela 29 encontra-se selecionado, a cor vermelha, o tipo de máquina que melhor se enquadra na máquina que está a ser projetada, pois, prevê-se um tempo de funcionamento de aproximadamente 8 horas diárias ininterruptas. Considerando o caso extremo, o valor de vida nominal básica foi de 30 000 horas.

Na Tabela 30 é possível consultar os valores considerados para as variáveis da equação (13).

Tabela 30 - Valores das variáveis necessárias ao cálculo da C .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
L_{10h} (horas de trabalho)	300 000	Valor obtido pela Tabela 29
n (rpm)	41	Valor requerido pelo projeto
P (N)	19 700	Valor calculado pela equação (12)
p	213 300	Valor fornecido pela SKF para rolamentos de esferas

Tendo em conta os valores considerados anteriormente, o valor calculado para C foi de 411,5 N. Como se verifica pela Tabela 28 qualquer um dos rolamentos disponíveis, para a chumaceira de rolamentos selecionada, apresentam valores de C muito superiores ao necessário. Assim, e considerando um critério económico, optou-se pelo rolamento com valor de C - rolamento autocompensador de esferas 1205 EKTN9 – uma vez que é mais barato.

ANEXO X – CÁLCULO DA POTÊNCIA DO MOTORREDUTOR

Para que a correia transportadora se movimente é necessário fornecer uma determinada potência de acionamento. Para tal foi necessário calcular, pela equação (14), o binário a aplicar ao eixo motor de forma a movimentar a correia transportadora (*Intralox*, 2019).

$$T_0 = ABP \cdot B \cdot \frac{PD}{2} \quad (14)$$

Em que:

T_0 – Binário no eixo motor (kg.m);

ABP – Tração ajustada da correia transportadora (kg/m de largura da correia);

B – Largura da correia transportadora (m);

PD – Diâmetro do passo da roda dentada (m).

Na Tabela 31 é possível verificar os valores de cada variável, considerados para o cálculo do binário no eixo motor (T_0).

Tabela 31 – Valores das variáveis necessárias para o cálculo do T_0 .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
ABP (kg/m de largura da correia)	75,06	Valor calculado na equação (7)
B (m)	0,87	Largura da correia pretendida para o projeto
PD (m)	0,163	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)

Através dos valores apresentados na Tabela 31 foi aplicada a equação (14) obtendo-se o valor de 5,32 kg.m para o T_0 .

Conhecido T_0 é possível calcular a potência de acionamento da correia transportadora pela equação (15) (*Intralox*, 2019).

$$P_t = \frac{T_0 \cdot V}{3,06 \cdot PD} \quad (15)$$

Em que:

P_t – Potência de acionamento da correia transportadora (W);

T_0 – Binário no eixo motor (kg.m);

V – Velocidade da correia transportadora (m/min);

PD – Diâmetro do passo da roda dentada (m).

Na Tabela 32 é possível verificar os valores considerados para cada variável para o cálculo da potência de acionamento da correia transportadora (P_t).

Tabela 32 – Valores das variáveis necessárias ao cálculo de P_t .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
T_0 (kg.m)	5,32	Valor calculado na equação (14)
V (m/min)	21	Velocidade pretendida para o projeto
PD (m)	0,163	Valor fornecido pela <i>Intralox</i> (2019)

Com os valores apresentados na Tabela 32 obteve-se o valor de P_t de 223,99 W através da equação (15).

A potência de acionamento, necessária para a movimentação da correia transportadora, é ligeiramente diferente da potência que o motor elétrico deve gerar. Isto deve-se a perdas de eficiência que ocorrem em componentes como as chumaceiras e o redutor. A potência do motor elétrico pode ser calculada pela equação (16) (*Intralox*, 2019).

$$P_M = \frac{P_t}{100 - p_e} \quad (16)$$

Em que:

P_M – Potência do motor de acionamento (W);

P_t – Potência de acionamento da correia transportadora (W);

p_e – Somatório das perdas de eficiência (%).

O valor das perdas mecânicas, pode ser obtido pelo somatório das perdas de cada um dos componentes utilizados que tem influência na transmissão de movimento (*Intralox*, 2019). Os componentes utilizados, bem como as perdas de eficiência que cada um representa, estão representados na Tabela 33.

Tabela 33 - Perdas de eficiência dos componentes utilizados. Adaptado de (*Intralox*, 2015).

Componente	Perda de eficiência (%)
Chumaceiras de rolamentos	1
Redutor	4

Considerando uma perda de eficiência na ordem dos 5% e aplicando a equação (16), obteve-se um valor de potência do motor de acionamento (P_M) de 235,78 W.

ANEXO XI – CÁLCULO DA VELOCIDADE REAL DA CORREIA TRANSPORTADORA

A velocidade de saída do motorreductor é superior à pretendida, como consequência, a rotação do eixo motor será superior, pelo que a velocidade de transporte da correia transportadora será ligeiramente superior. Desta forma, procedeu-se ao cálculo da velocidade real da correia transportadora.

Pela equação (17) é possível calcular a velocidade angular do veio motor.

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n \quad (17)$$

Em que:

ω – Velocidade angular das rodas dentadas acopladas ao eixo motor (rad/s);

n – Velocidade de rotação do eixo motor (rpm).

A velocidade de rotação (n) do eixo motor é de 44 rpm, uma vez que o motor selecionado trabalha com essa velocidade de rotação à saída. Desta forma, o valor da velocidade angular das rodas dentadas acopladas ao eixo motor (ω), calculado pela equação (17), foi de 4,61 rad/s.

Conhecido o valor de ω calculou-se a velocidade real a que se movimenta a correia transportadora pela equação (18).

$$V = \omega \cdot \frac{PD}{2} \quad (18)$$

Em que:

V – Velocidade da correia transportadora (m/s);

ω – Velocidade angular das rodas dentadas acopladas ao eixo motor (rad/s);

PD – Diâmetro do passo da roda dentada (m).

Na Tabela 34 são apresentados os valores considerados para o cálculo da velocidade da correia transportadora (V).

Tabela 34 - Valores necessários para o cálculo de ω .

Variáveis	Valores considerados	Comentário
PD (m)	0,163	Disponibilizado pela <i>Intralox</i> (2019)
n (rpm)	44,00	Velocidade de saída do motor reductor selecionado
ω (rad/s)	4,61	Valor calculado pela equação (17)

Aplicando a equação (18) obtém-se a V de 0,38 m/s (22,53 m/min). Pretendia-se que a velocidade da correia transportadora fosse de 21 m/min pelo que o valor real é ligeiramente superior, mas aceitável.

ANEXO XII – DIMENSIONAMENTO DA UNIÃO DE VEIOS SELECIONADA

O processo de seleção da união de veios é iniciado pelo cálculo do fator de serviço, que, no caso de um tapete rolante, é igual a 1. De seguida é necessário calcular a potência de projeto que é calculada através da multiplicação do valor do fator de serviço pelo valor da potência a transmitir, sendo que, no caso, a potência de projeto¹⁰ é igual à potência a transmitir devido ao fator de serviço ser igual a 1. Assim a potência de projeto é igual a 0,55 kW. Conhecida a potência de projeto e a velocidade de rotação do veio foi possível selecionar o tamanho do elemento móvel da união de veios pela Tabela 35 (SKF, 2018).

Tabela 35 - Seleção do tamanho da união de veios. Adaptado de (SKF, 2018).

Potência – Elementos em Nitrilo										
Velocidade	Tamanhos de acoplamento									
	50	70	75	90	95	100	110	150	190	225
r/min	kW									
50	0,018	0,030	0,06	0,10	0,14	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5
100	0,037	0,060	0,12	0,20	0,27	0,6	1,1	1,6	2,1	2,9
200	0,074	0,121	0,25	0,40	0,54	1,2	2,2	3,1	4,2	5,9
300	0,110	0,181	0,37	0,60	0,81	1,7	3,3	4,7	6,3	8,8
400	0,147	0,242	0,50	0,80	1,08	2,3	4,4	6,3	8,4	11,7
500	0,184	0,302	0,62	1,01	1,35	2,9	5,5	7,9	10,5	14,7
600	0,221	0,363	0,75	1,21	1,62	3,5	6,6	9,4	12,6	17,6
700	0,257	0,423	0,87	1,41	1,89	4,1	7,7	11,0	14,7	20,5
720	0,265	0,435	0,90	1,45	1,95	4,2	7,9	11,3	15,1	21,1
800	0,294	0,483	1,00	1,61	2,16	4,6	8,8	12,6	16,8	23,5
900	0,331	0,544	1,12	1,81	2,43	5,2	9,9	14,1	18,8	26,4
960	0,353	0,580	1,20	1,93	2,59	5,6	10,6	15,1	20,1	28,1
1000	0,368	0,604	1,25	2,01	2,70	5,8	11,0	15,7	20,9	29,3
1200	0,441	0,725	1,50	2,41	3,24	7,0	13,2	18,8	25,1	35,2
1400	0,515	0,846	1,74	2,81	3,78	8,1	15,4	22,0	29,3	41,1
1440	0,529	0,870	1,79	2,90	3,89	8,4	15,8	22,6	30,2	42,2
1600	0,588	0,967	1,99	3,22	4,32	9,3	17,6	25,1	33,5	46,9
1800	0,662	1,088	2,24	3,62	4,86	10,4	19,8	28,3	37,7	52,8
2000	0,735	1,208	2,49	4,02	5,40	11,6	22,0	31,4	41,9	58,6
2200	0,809	1,329	2,74	4,42	5,94	12,8	24,2	34,6	46,1	64,5
2400	0,882	1,450	2,99	4,83	6,48	13,9	26,4	37,7	50,3	70,4
2600	0,956	1,571	3,24	5,23	7,02	15,1	28,6	40,8	54,5	76,2
2800	1,029	1,692	3,49	5,63	7,56	16,2	30,8	44,0	58,6	82,1
2880	1,059	1,740	3,59	5,79	7,78	16,7	31,7	45,2	60,3	84,4
3000	1,103	1,813	3,74	6,03	8,10	17,4	33,0	47,1	62,8	88,0
3600	1,323	2,175	4,49	7,24	9,73	20,9	39,6	56,5	75,4	105,5
Binário nominal	3,51	5,77	11,9	19,2	25,8	55,4	105	150	200	280
Nm										

Pela Tabela 35, percebe-se que o tamanho da união de veios, para uma velocidade de rotação de 44 rpm e para uma potência de 0,55 kW, que melhor se ajusta é de 150 mm. Este tamanho permite a aplicação de um binário de até 150 N.m, o que para o presente caso - 120 N.m - é ajustado.

Após a seleção do tamanho da união de veios, é necessário verificar se o tamanho selecionado é compatível com os diâmetros dos veios utilizados. O veio do motorreductor tem o diâmetro de 30 mm e o diâmetro do veio a movimentar têm o diâmetro de 20 mm. Os dois diâmetros são compatíveis com o tamanho da união de veios selecionada, pelo que o tamanho de 150 mm pode ser utilizado (SKF, 2018).

¹⁰ Potência de projeto - Potência a que a união de veios deve ser capaz de resistir (SKF,2018).

Executado o dimensionamento da união de veios é necessário verificar a forma como será feita a fixação dos 2 veios às flanges. Para tal, decidiu-se utilizar uma união por chavetas em ambos os veios. Para um veio de 20 mm de diâmetro, a chaveta utilizada pelas flanges tem a largura de 6 mm e a altura de 2,8 mm. Para um veio de 30 mm a chaveta a ser utilizada têm a largura 8 mm e a altura de 3,3 mm.

Desta forma foi selecionada uma união de veios com uma flange do modelo PHE L150-20MM da SKF, uma flange do modelo PHE L150-30MM da SKF e um elemento móvel em nitrilo do modelo PHE L150NR da SKF.

ANEXO XIII – ESCOLHA E DIMENSIONAMENTO DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Material do isolamento térmico

A definição do material do isolamento térmico é bastante revelante uma vez que os diferentes materiais apresentam diferentes propriedades. O isolamento térmico, a aplicar na câmara de humidificação, deve apresentar uma condutividade térmica reduzida para que o fluxo de calor através da parede seja o mais baixo possível. Pela possibilidade de pequenas fugas de vapor de água para o isolamento térmico, é necessário que este apresente um bom comportamento na presença de vapor de água, isto é, o material escolhido não deve perder as suas propriedades na presença de vapor de água. Outro fator a ter em consideração é o custo do isolamento.

Com o objetivo de auxiliar e proceder a uma escolha pensada e sustentada do material a utilizar como isolamento térmico, é apresentada a Tabela 36 onde é possível verificar algumas propriedades de alguns dos materiais mais utilizados como isolamento térmico.

Tabela 36 - Exemplos de materiais utilizados para o isolamento térmico (Silva, 2013)

Isolamento	Condutividade térmica (W/m.K)	Preço¹¹ (€/m²)	Configuração	Estabilidade perante o vapor de água
Poliuretano (PU)	0,023	29	Espuma	Sim
Poliestireno extrudido (XPS)	0,035	16	Painel	Sim
Poliestireno expandido (EPS)	0,040	9	Painel	Não
Lã de rocha	0,037	7	Manta	Não

A lã de rocha absorve o vapor de água e como não é um material rígido, o volume de água absorvida pode levar à sua deformação. O EPS é permeável ao vapor de água, ficando acumulado nos espaços livres entre a sua estrutura celular, o que leva a um aumento da sua condutividade térmica, constituindo-se um fator indesejável. Desta forma, estes materiais não foram escolhidos para o isolamento térmico da câmara de humidificação. Tanto o PU, como o XPS, apresentam uma boa relação com o vapor de água uma vez que são impermeáveis ao mesmo. O PU tem uma condutividade térmica mais baixa do que o XPS, por outro lado o seu custo é superior. No entanto, o PU apresenta a vantagem

¹¹ - Preços aproximados para uma espessura de 100 mm.

de ser introduzido na forma de espuma, permitindo uma melhor ocupação do espaço entre as 2 chapas de aço inoxidável, desta forma decidiu-se utilizar o PU como isolamento térmico.

Cálculo da espessura ideal para o isolamento térmico

Selecionado o material do isolamento térmico, torna-se necessário selecionar a espessura de isolamento mais conveniente. Assim, foi realizado um estudo de transferência de calor, em estado estacionário, entre o interior e o exterior da câmara, para comparar a perda térmica existente com as diferentes espessuras de isolamento e o respetivo custo energético que representa essa perda. O recurso ao isolamento térmico representa um aumento de custo, não só devido ao custo do próprio isolamento mas, também pela necessidade de utilização de uma parede dupla que representa um aumento de custo devido à utilização de uma maior quantidade de chapa de aço inoxidável. Assim, procedeu-se ao cálculo do custo da câmara, incrementado pelo custo da perda energética ao longo de 10 anos. No final dos 10 anos, será escolhida a opção que apresentar uma melhor relação entre o investimento inicial e o custo total (custo da perda térmica adicionada ao custo total da câmara).

Para calcular a transferência de calor entre o interior e o exterior da câmara, aproximou-se a forma da câmara de humidificação a 2 paredes verticais e a 2 paredes inclinadas. Desta forma, o fluxo de calor que atravessa as paredes da câmara de humidificação é dado pela soma do fluxo de calor que atravessa cada uma das paredes, conforme a equação (19).

$$\dot{Q}_{cam} = (2\dot{Q}_{p. inclinada}) + (2\dot{Q}_{p. vertical}) \quad (19)$$

Em que:

\dot{Q}_{cam} – Fluxo de calor entre a câmara de humidificação e o exterior (W);

$\dot{Q}_{p. inclinada}$ – Fluxo de calor que atravessa a parede inclinada da câmara de humidificação (W);

$\dot{Q}_{p. vertical}$ – Fluxo de calor que atravessa a parede vertical da câmara de humidificação (W).

A temperatura ambiente considerada foi de 20 °C e, considerou-se que a temperatura na face interior da parede interior da câmara de humidificação se encontra a 55 °C, pois é a temperatura esperada para o funcionamento da câmara de humidificação.

Na Figura 124 está representado o esquema das resistências térmicas para cada uma das paredes da câmara de humidificação.

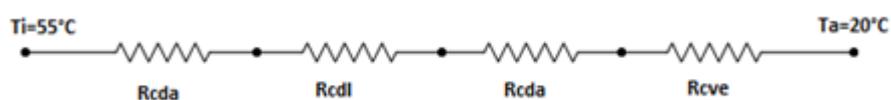


Figura 124 - Sistema das resistências térmicas da parede da câmara de humidificação.

Em que:

T_i – Temperatura na parede interior da câmara (°C);

R_{cda} – Resistência térmica de condução da chapa da parede (K/W);

R_{cdI} – Resistência térmica de condução no isolamento térmico (K/W);

R_{cve} – Resistência térmica de convecção exterior (K/W);

T_a – Temperatura ambiente (°C).

O fluxo de calor é calculado através da equação (20) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{Total}} \quad (20)$$

Em que:

\dot{Q} – Fluxo de calor que atravessa o sistema (W);

ΔT – Diferença de temperatura entre os extremos do sistema (K);

R_{Total} – Resistência térmica total do sistema (K/W).

Como foi descrito na equação (20), para calcular o fluxo de calor é necessário conhecer a resistência total do sistema. Como as resistências térmicas se encontram em série, a resistência térmica total do sistema é calculada pela soma de todas resistências térmicas que fazem parte do mesmo (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

A resistência térmica total do sistema é calculada pela equação (21).

$$R_{Total} = R_{cda} + R_{cdI} + R_{cda} + R_{cve} \quad (21)$$

Em que:

R_{Total} – Resistência térmica total do sistema (K/W);

R_{cda} – Resistência térmica de condução da chapa da parede (K/W);

R_{cdI} – Resistência térmica de condução no isolamento térmico (K/W);

R_{cve} – Resistência térmica de convecção exterior (K/W).

A resistência térmica de condução através de uma superfície plana é dada pela equação (22) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$R_{cd} = \frac{\Delta x}{k A} \quad (22)$$

Em que:

R_{cd} – Resistência térmica de condução (K/W);

Δx – Espessura da superfície onde ocorre o fluxo de calor (m);

k – Condutividade térmica do material da superfície onde ocorre o fluxo de calor (W/m.K);

A – Área de transferência de calor (m²).

A resistência térmica de convecção através de uma superfície plana é dada pela equação (23) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$R_{cv} = \frac{1}{h A} \quad (23)$$

Em que:

R_{cv} – Resistência térmica de convecção (K/W);

h – Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m².K);

A – Área de transferência de calor (m²).

Completando a equação (21), obtém-se a equação (24).

$$R_{Total} = \frac{\Delta x_a}{A \cdot k_a} + \frac{\Delta x_i}{A \cdot k_i} + \frac{\Delta x_a}{A \cdot k_a} + \frac{1}{h_{ext} \cdot A} \quad (24)$$

Em que:

R_{Total} – Resistência térmica total do sistema (K/W);

Δx_a – Espessura da chapa de aço inoxidável (m);

Δx_i – Espessura do isolamento térmico (m);

A – Área de transferência de calor (m²);

k_a – Condutividade térmica do aço inoxidável (W/m.K);

k_i – Condutividade térmica do aço inoxidável do XPS (W/m.K);

h_{ext} – Coeficiente de transferência de calor por convecção exterior (W/m².K).

Das variáveis representadas na equação (24), a única que é desconhecida é o coeficiente de transferência de calor por convecção exterior (h_{ext}) pelo que o seu valor terá de ser calculado.

O h_{ext} pode ser calculado através da equação (25) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$h = \frac{Nu \cdot k}{x} \quad (25)$$

Em que:

h – Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m².K);

Nu – Número de *Nusselt* (adimensional);

k – Condutividade térmica do material da superfície onde ocorre o fluxo de calor (W/m.K);

x – Espessura da superfície onde ocorre a transferência de calor (m).

Inicialmente é necessário verificar se ao fenómeno de transferência de calor por convecção natural ocorre no regime laminar ou no regime turbulento. Para tal é necessário calcular o número de *Rayleigh* (Ra) pela equação (26) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (26)$$

Em que:

Ra – Número de *Rayleigh* (adimensional);

Gr – Número de *Grashof* (adimensional);

Pr – Número de *Prandtl* (adimensional).

Para calcular o Ra é necessário calcular o número de *Grashof* (Gr). O Gr pode ser calculado pela equação (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$Gr_x = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x_L^3}{\nu^2} \quad (27)$$

Em que:

Gr_x – Número de *Grashof* (adimensional);

g – Aceleração gravítica (m/s²);

β – Coeficiente de expansão térmica do ar (K⁻¹);

T_w – Temperatura da superfície onde ocorre a convecção natural (°C);

T_∞ – Temperatura do fluido em contacto com a superfície de transferência de calor (°C);

x_L – Comprimento da parede (m);

ν – Viscosidade cinemática do ar (m²/s).

O valor da temperatura da superfície onde ocorre a convecção natural (T_w) não é conhecido, pelo que para o calcular é necessário recorrer a um processo iterativo onde se considera um valor de h_{ext} . O processo iterativo fica concluído quando o valor de h_{ext} calculado for igual ao h_{ext} considerado.

O primeiro passo do processo iterativo é calcular a resistência térmica total (R_{Total}) da parede através da equação (24).

Na Tabela 37 são descritos os valores das variáveis necessárias ao cálculo da R_{Total} para uma parede vertical.

Tabela 37 - Valores das variáveis considerados para o cálculo da R_{Total} .

Variáveis	Valores considerados	Comentário
Δx_a (m)	0,002	Dimensão de projeto
Δx_i (m)	0,03	Dimensão de projeto
A (m ²)	1,23	Dimensão de projeto
k_a (W/m.K)	15,00	(Ramada, 2018)
k_i (W/m.K)	0,023	(Silva, 2013)
h_{ext} (W/m ² .K)	3,00	Valor considerado

Desta forma, o valor da R_{Total} , calculado para a parede vertical, foi de 1,32 K/W. Desta forma é possível calcular o fluxo de calor total que atravessa o sistema (\dot{Q}) de uma parede vertical pela equação (20) obtendo-se o valor de 26,34 W.

Num sistema onde as resistências térmicas estejam despostas em série, o fluxo de calor total é igual ao fluxo de calor de uma parcela do sistema. Assim pela equação (28) é possível determinar o valor da temperatura da superfície onde ocorre a convecção natural (T_w) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$\dot{Q} = \frac{T_w - T_\infty}{\frac{1}{h_{ext} \cdot A}} \quad (28)$$

Em que:

\dot{Q} – Fluxo de calor que atravessa o sistema (W);

T_w – Temperatura da superfície onde ocorre a convecção natural (°C);

T_∞ – Temperatura do fluido em contacto com a superfície de transferência de calor (°C);

A – Área de transferência de calor (m²);

h_{ext} – Coeficiente de transferência de calor por convecção exterior (W/m².K).

Na Tabela 38 é possível consultar os valores das variáveis que foram considerados para o cálculo da T_w .

Tabela 38 - Valores considerados para o cálculo de T_w .

Variáveis	Valores considerados	Comentário
\dot{Q} (W)	26,34	Valor obtido pela equação (20)
T_∞ (°C)	20	Temperatura do ar ambiente considerada
A (m²)	1,23	Dimensão de projeto
h_{ext} (W/m².K)	3	Valor considerado

Desta forma obtém-se o valor de T_w de 27,06°C, podendo-se proceder-se ao cálculo do Gr_x pela equação (27). Para aplicar a equação (27) foram considerados os valores apresentados na Tabela 39. É de referir que os valores das propriedades do ar foram estimados para uma temperatura do filme¹² (T_f) de 22,00 °C.

Tabela 39 - Valores considerados para as variáveis necessárias ao cálculo de Gr_x .

Variáveis	Valores considerados	Comentário
g (m/s²)	9,81	—
β (K ⁻¹)	$3,36 \times 10^{-3}$	Valor calculado para a T_f
T_w (°C)	27,06	Valor calculado pela equação
T_∞ (°C)	20,00	Valor considerado
x_L (m)	0,71	Dimensão de projeto
ν (m²/s)	$1,55 \times 10^{-5}$	Valor retirado para a T_f (Rogers & Mayhew, 1995)

Utilizando a equação (27) obteve-se o valor de $3,50 \times 10^8$ para o Gr_x . Conhecido o valor de Gr_x é necessário determinar o valor do número de *Prandtl* (Pr) para calcular o Ra . Para uma T_f de 22 °C, o Pr assume o valor de 0,708. Assim, é possível calcular o Ra pela equação (26), apresentando o valor de $2,48 \times 10^8$, pelo que o regime é laminar (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

¹² Temperatura do filme (T_f) – Corresponde à temperatura média entre a temperatura da superfície exterior (T_w) e a temperatura ambiente (T_∞) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

Para a transferência de calor, por convecção natural, numa parede vertical em regime laminar o número de *Nusselt* (Nu) é dado pela equação (29) (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

$$Nu_x = \left(\frac{Gr_x}{4}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \frac{0,75 \cdot Pr^{0,5}}{(0,609 + 1,221 \cdot Pr^{0,5} + 1,238 \cdot Pr)^{0,25}} \quad (29)$$

Em que:

Nu_x – Número de *Nusselt* (adimensional);

Gr_x – Número de *Grashof* (adimensional);

Pr – Número de *Prandtl* (adimensional).

Com os valores de Gr_x e de Pr já calculados, pela equação (29), obteve-se um valor de Nu_x de 55,14. Desta forma é possível calcular o h_{ext} pela equação (25), obtendo-se o valor de 2,01 W/m².K. O valor calculado é diferente do considerado (3,00 W/m².K), pelo que é necessário repetir o processo de cálculo até que o resultado obtido convirja para o resultado considerado. O resultado converge com um valor de h_{ext} de 2,15 W/m².K, concluindo-se que o calor perdido pela câmara de humificação, por cada uma das paredes verticais, com 30 mm de espessura de isolamento, é de 24,33 W.

O processo de cálculo do h_{ext} , para uma parede inclinada, é semelhante ao processo utilizado na parede vertical, tendo em conta que a única diferença é a expressão utilizada no cálculo do valor de Nu_x . Contudo, as expressões existentes são apenas válidas para um ângulo entre a parede inclinada e a vertical num intervalo entre 0 e 60 °, sendo que o ângulo utilizado no projeto da câmara é superior. Assim, a expressão a ser utilizada é a mesma utilizada no cálculo do h_{ext} numa parede vertical, isto é, a equação (29). Como tal, o processo descrito para o cálculo do h_{ext} utilizado para as paredes verticais é repetido para as paredes inclinadas (Lienhard IV & Lienhard V, 2019).

Conhecidos os valores de calor transferido pelas paredes vertical e pelas paredes inclinadas, é possível calcular a perda térmica pelas paredes da câmara de humificação pela equação (19), obtendo-se o valor de 88,2 W utilizando um isolamento de 30 mm.

O processo anteriormente descrito é repetido para diferentes espessuras de isolamento térmico. Os resultados obtidos estão representados no gráfico da Figura 125.

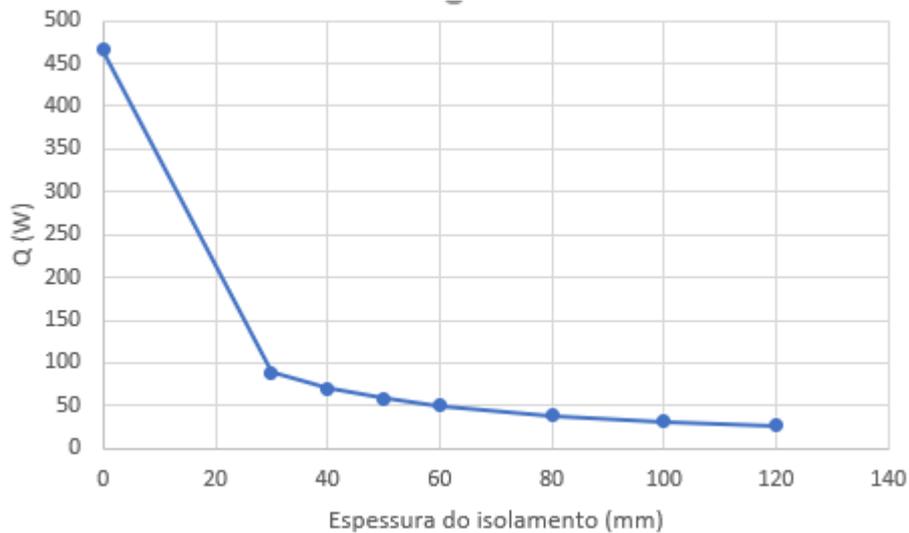


Figura 125 - Fluxo de calor em função da espessura de isolamento térmico.

Pela gráfico da Figura 125, percebe-se que a não utilização de isolamento térmico representa uma perda de calor elevada, mas com a utilização de um isolamento e com o aumento da sua espessura, obtém-se a diminuição do fluxo de calor entre o interior e o exterior da câmara de humidificação e, portanto, uma menor perda térmica.

Na Figura 126 é apresentado um gráfico que representa o custo da perda energética anual para cada espessura do isolamento térmico, considerando 1960 horas de trabalho anual e um preço da eletricidade de 0,19 €/kWh.

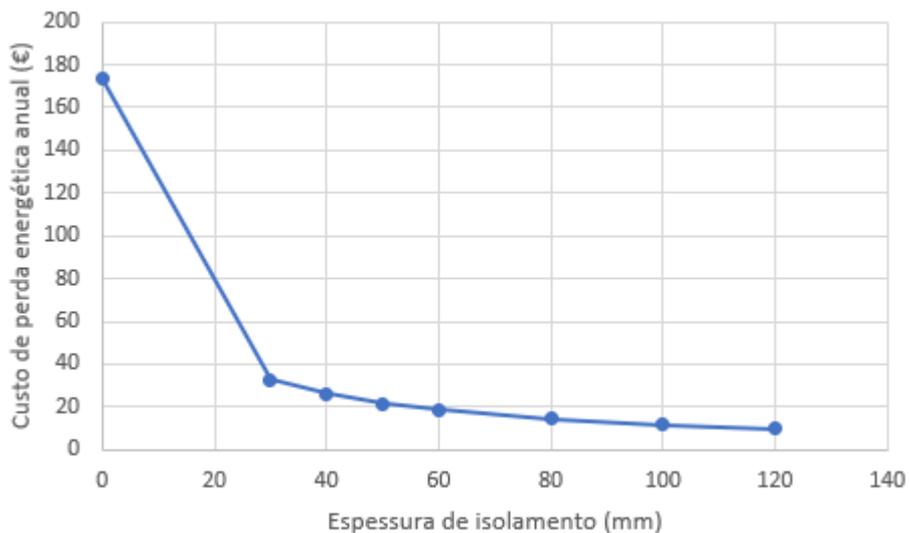


Figura 126 - Custo da perda anual em função da espessura de isolamento térmico.

O custo do isolamento térmico em relação à espessura utilizada está representado no gráfico apresentado na Figura 127.

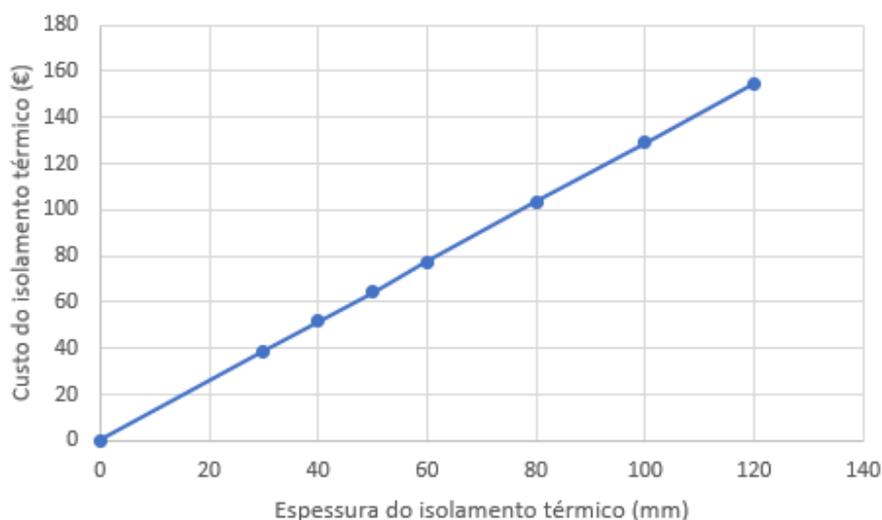


Figura 127 - Custo do isolamento térmico em função da espessura do isolamento térmico.

O custo total da estrutura da câmara de humificação é resultante da soma do preço do isolamento térmico com o custo da chapa em aço inoxidável que compõe as paredes da câmara de humificação. Na Figura 128 está representado um gráfico que relaciona o custo total da estrutura da câmara de humificação com a espessura do isolamento térmico, sendo que foi considerado um preço da chapa de aço inoxidável de 116,90 €/m², sendo este o custo praticado pela empresa *Fremefel*.

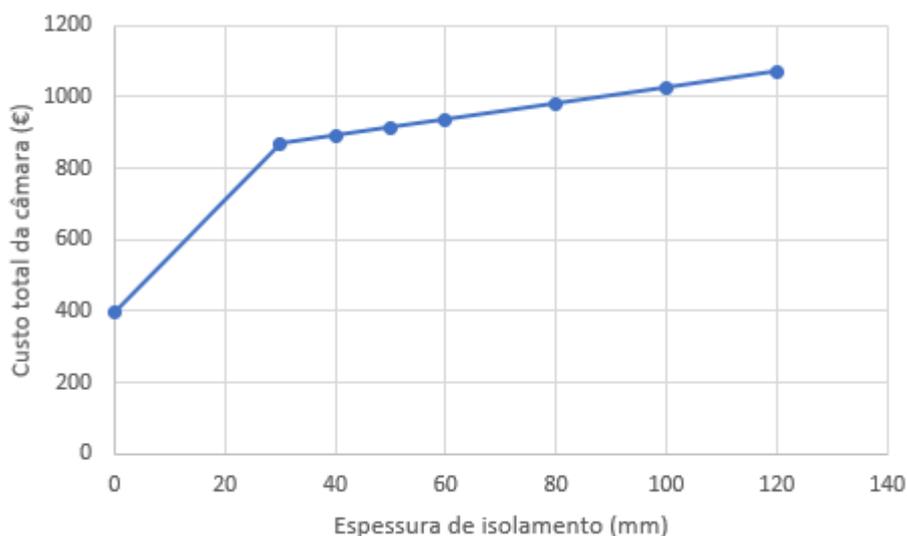


Figura 128 - Custo total da câmara em função da espessura do isolamento térmico.

Pelo gráfico da Figura 128, verifica-se que o custo da câmara sem isolamento térmico é bastante mais reduzido que as restantes opções. Isto deve-se à não utilização de isolamento e, principalmente, à utilização de uma parede única de chapa de aço inoxidável, ao passo que, quando é utilizado um isolamento térmico há a necessidade de utilizar uma parede com dupla chapa.

Conhecendo o custo da câmara de humidificação e o custo da perda térmica para cada espessura de isolamento térmico, é possível calcular o custo global – representado pela soma do custo da câmara de humidificação e do custo da perda energética – de cada uma das opções. Realizou-se um estudo num intervalo de 10 anos para compreender qual a opção que representa um custo global mais reduzido no final dos anos de estudo. No gráfico representado na Figura 129 é possível observar a evolução do custo global de cada uma das opções.

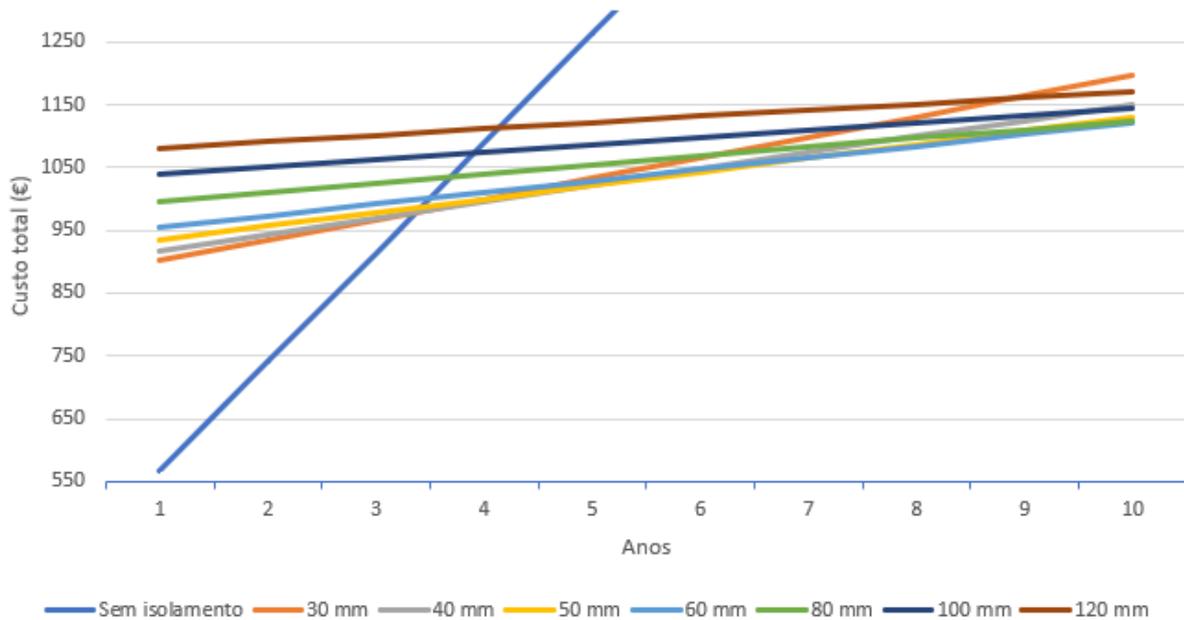


Figura 129 - Custo total (custo da perda energética somado ao custo total da câmara) ao longo dos 10 anos de estudo.

No gráfico representado na Figura 129, é possível observar que um maior investimento na câmara de humidificação, com a introdução de um isolamento térmico, apenas é compensado economicamente a partir do 4º ano de utilização da máquina. No entanto, a partir do 4º ano, com a elevada perda térmica que advém da não utilização de isolamento térmico, esta opção torna-se a pior economicamente ao fim dos 10 anos de estudo. No 10º ano as espessuras de 50, 60 e 80 mm apresentam o custo total mais reduzido. No entanto as espessuras de 40 mm e 100 mm apresentam valores de custo total bastante próximos. Desta forma decidiu-se escolher uma espessura de isolamento 40 mm uma vez que representa um investimento inicial mais reduzido e, pelo facto de facilitar o acoplamento da câmara de humidificação à estrutura do tapete rolante, visto que, as abas das guias laterais da estrutura do tapete têm 40 mm de largura.

ANEXO XIV – CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS CILINDROS PARA A MOVIMENTAÇÃO DAS PORTAS

Para possibilitar a correta seleção dos cilindros pneumáticos para a movimentação das portas da câmara de humidificação, é necessário calcular o diâmetro do êmbolo.

Conhecida a força a aplicar pelo cilindro pneumático e a pressão do ar fornecido é possível calcular o raio mínimo do êmbolo pela equação (30) (Hatami, 2013).

$$P_C = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad (30)$$

Em que:

P_C – Pressão do ar de alimentação do cilindro pneumático (Pa);

F – Força que o cilindro exerce (N);

r – Raio do êmbolo do cilindro pneumático (m²).

Sabendo que a pressão da rede pneumática existente no IMA é de 7×10^5 Pa e que o cilindro deve exercer 120,86 N para que 2 cilindros elevem a porta, pela equação (30) obteve-se um raio mínimo do êmbolo de $7,41 \times 10^{-3}$ m, isto é, o diâmetro mínimo do êmbolo para que o cilindro exerça a força necessária é de 14,83 mm.

Tendo em conta as especificações necessárias, foi selecionado um cilindro pneumático da marca *camozzi* do modelo 24N2A20A500 cujo o diâmetro do êmbolo é de 20 mm.

Aplicando novamente a equação (30) e, conhecendo a pressão de alimentação do cilindro e o diâmetro do êmbolo, é possível calcular a força que o cilindro vai aplicar para abrir a porta, obtendo-se o valor de 219,91 N (Hatami, 2013). O valor obtido é superior ao pretendido, no entanto, por uma questão de segurança, é preferível que tal aconteça.

ANEXO XV – CÁLCULO DA POTÊNCIA DAS RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DO DEPÓSITO

Para o cálculo da potência necessária às resistências elétricas, procedeu-se ao cálculo da energia necessária ao aquecimento da água do depósito. A energia de aquecimento da água é calculada pela equação (31).

$$E_{aq} = m \cdot C_p \cdot (T_{H2O} - T_{\infty}) \quad (31)$$

Em que:

E_{aq} – Energia necessária para o aquecimento da água (kJ);

m – Massa de água que se pretende aquecer (kg);

C_p – Calor específico a pressão constante (kJ/kg.K);

T_{H2O} – Temperatura final da água do depósito (°C);

T_{∞} – Temperatura ambiente (°C).

Na Tabela 40 são apresentados os valores considerados para o cálculo da energia necessária para o aquecimento da água (E_{aq}).

Tabela 40 – Valores considerados para o cálculo da E_{aq} .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
m (kg)	61,170	Valor de projeto
C_p (kJ/kg.K)	4,182	(Rogers & Mayhew, 1995).
T_{H2O} (°C)	20	Valor de projeto
T_{∞} (°C)	65	Valor considerado

Considerando os valores da Tabela 40, pela equação (31) obtém-se o valor de 11512,13 kJ para a E_{aq} .

Outra parcela a considerar para o cálculo da energia, que é necessária utilizar para o aquecimento da água do depósito, diz respeito à energia consumida pela a evaporação da água, sendo necessário conhecer a massa de água evaporada. Considerou-se que a massa de água evaporada corresponde à diferença entre a quantidade de água existente entre estado inicial e o estado final do ar interior da câmara de humidificação. Na Tabela 41 são apresentados os valores de humidade relativa e temperatura considerados no estado inicial e final.

Tabela 41 - Estado inicial e final considerados para o ar interior da câmara de humidificação.

	Temperatura (°C)	Humidade relativa (%)
Estado inicial	20	55
Estado final	55	100

Para conhecer a massa de água existente no interior da câmara, no estado inicial, recorreu-se a um gráfico psicrométrico. Na Figura 130, está representado o gráfico psicrométrico, disponibilizado pela *Carrier*, onde está representado o ponto do estado inicial.

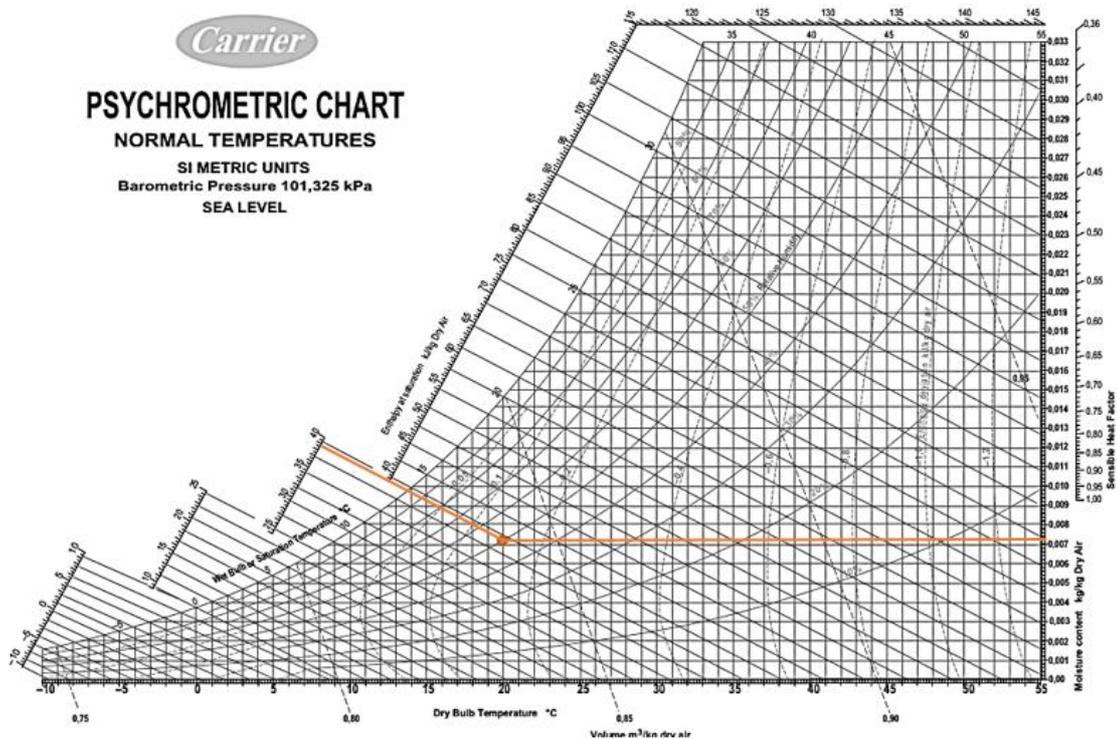


Figura 130 - Estado inicial representado no gráfico psicrométrico. Adaptado de (*Carrier*, s.d.).

O estado inicial, está representado no gráfico da Figura 130, pelo ponto a cor laranja. Para este ponto a humidade específica é de $7,200 \times 10^{-3} \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$.

Para obter a massa de água no estado final recorreu-se a uma tabela de propriedades do ar saturado, obtendo-se uma humidade específica de $0,115 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$ (ASHRAE, 2013).

Conhecidos os valores de humidade específica no ponto inicial e final é possível calcular a massa de água evaporada pela equação (32).

$$m_e = m_{ar} \cdot \Delta W_w \quad (32)$$

Em que:

m_e – Massa de água evaporada (kg);

m_{ar} – Massa de ar no interior da câmara de humidificação (kg);

ΔW_w – Ganho de humidade específica desde o estado inicial até ao final ($\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$).

Tendo em conta as dimensões da câmara de humidificação, a massa de ar da câmara de humidificação é de 1,175 kg, pelo que, utilizando a equação (32), obteve-se um valor de massa de água evaporada (m_e) de 0,127 kg.

Conhecido o valor de m_e é possível calcular a energia gasta na evaporação da água pela equação (33).

$$E_e = m_e \cdot (h_f - h_i) \quad (33)$$

Em que:

E_e – Energia de evaporação da água (kJ);

m_e – Massa de água evaporada (kg);

h_f – Entalpia inicial da água (kJ/kg);

h_i – Entalpia final do vapor de água (kJ/kg).

Na Tabela 42 são apresentados os valores considerados para o cálculo da energia de evaporação da água (E_e).

Tabela 42 - Valores considerados para o cálculo de E_e .

Variáveis	Valores considerados	Comentários
m_e (kg)	0,127	Valor de projeto
h_f (kJ/kg)	355,140	(Rogers & Mayhew, 1995)
h_i (kJ/kg)	39	Valor obtido pelo gráfico psicométrico apresentado no gráfico da Figura 130

Utilizando os valores apresentados na Tabela 42 obtém-se o valor de 40,150 kJ para a E_e pela equação (33).

Conhecidos os valores de E_{aq} e E_e calcula-se a energia total necessária ao aquecimento da câmara de humidificação pela soma das duas parcelas. Assim a energia total que as resistências devem fornecer à água do depósito é de 11552,280 kJ.

A potência das resistências elétricas é calculada pela equação (34).

$$P_{res} = \frac{E_{total}}{\Delta t} \quad (34)$$

Em que:

P_{res} – Potência das resistências elétricas (kW);

E_{total} – Energia despendida para o aquecimento da água do depósito (kJ);

Δt – Tempo de aquecimento da água do depósito (s).

Conhecido o valor de energia despendida para o aquecimento da água do depósito (E_{total}) e considerando que o aquecimento da água deve ser executado em 30 minutos, a potência das resistências elétricas (P_{res}) assume o valor de 6,418 kW.

ANEXO XVI – DIAGRAMA *LADDER*

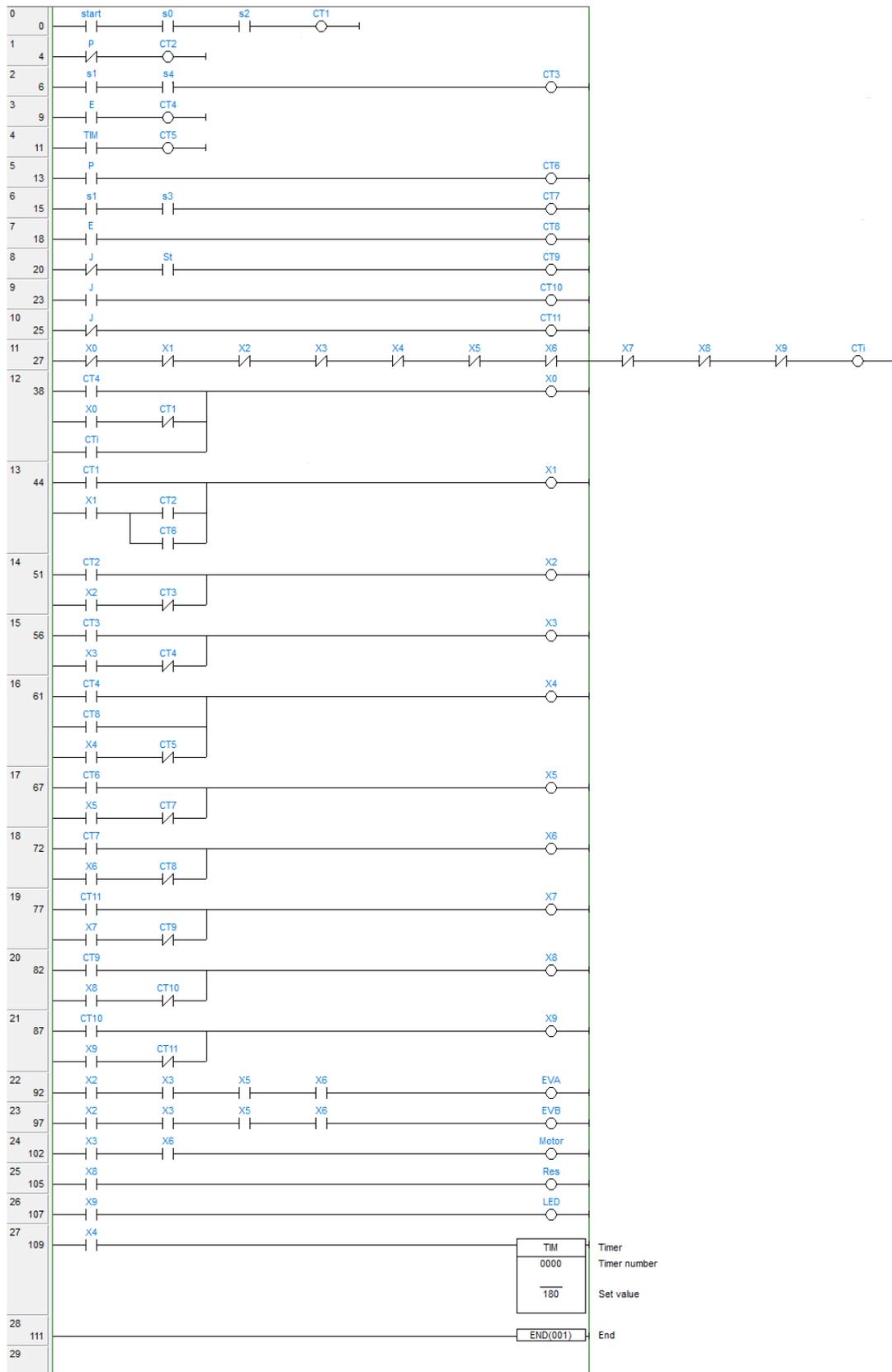


Figura 131 - Diagrama *ladder* para a programação do PLC.